

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ЧАСТЬ II**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
13 – 15 июня 2018 г.*

**выпуск 22**

Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева

**Новокузнецк  
2018**

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор М.В. Темлянецв,  
д-р хим. наук, профессор В.Ф. Горюшкин,  
д-р физ.- мат. наук, профессор В.Е. Громов,  
д-р геол. - минерал. наук, профессор Я.М. Гутак,  
д-р техн. наук, профессор В.Н. Фрянов,  
канд. техн. наук, доцент В.В. Чаплыгин,  
д-р техн. наук, профессор Г.В. Галевский,  
канд. техн. наук, доцент С.В. Фейлер,  
д-р техн. наук, доцент А.Р. Фастыковский,  
д-р техн. наук, профессор Н.А. Козырев,  
канд. техн. наук, доцент С.Г. Коротков  
канд. техн. наук, доцент И.В. Зоря

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - Вып. 22. - Ч. II. Естественные и технические науки. – 460 с., ил.- 170, таб.- 74.

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Вторая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных и технических наук: химии, физики, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых, металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования, экологии, безопасности, рационального использования природных ресурсов, актуальным проблемам строительства.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

# I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 622.6

## ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД31 и МЕДИ М1 ПОСЛЕ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

**Панфилов А.О., Гришанков А.А., Черемнов А.М.**

**Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Коваленко В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: panf-o@mail.ru*

Несмотря на широкое применение традиционных методов сварки их возможность сваривать сплав алюминия АД31 и меди М1 связано с некоторыми проблемами, которых метод сварки трением с перемешиванием почти полностью лишён [1].

В 1991 году сотрудниками Британский Институт Сварки был запатентован новый метод сварки, названный сваркой трением с перемешиванием (СТП). Основной принцип метода предельно прост: сварка трением с перемешиванием использует вращающийся цилиндрический инструмент специальной формы с заплечиком (бурт) и пином (наконечником) в центре, который погружается в линию соединения деталей, подлежащих сварке. За счет вращения инструмента, прижимного усилия и поступательного движения образуется сварное соединение, которое дополнительно формируется заплечиками [4].

На станке для сварки трением с перемешиванием (СТП) был соединён внахлест и сварен алюминиевый сплав АД31 и медь М1 (рисунок 1). Для проведения микроскопических исследований из определенной части материала с помощью абразивной пилы был вырезан образец.

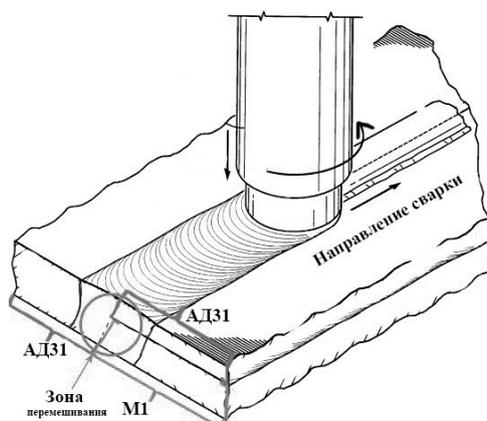


Рисунок 1 – Схема СТП соединения пластин разнородных металлов: алюминиевого сплава АД31 и меди марки М1

Поверхность образца была зачищена наждачной бумагой зернистости (P400-P2000), оставшиеся после шлифования мелкие риски были удалены полированием образца алмазной пастой. Подготовленный для травления границ зерен образец алюминиевого сплава использовался реагент Келлера, 1 %-ный раствор NaOH и 0,5 %-ный раствор плавиковой кислоты. Для вытравливания зерен в медной пластине использовался 30% раствор азотной кислоты [3].

На заключительном этапе материал был подвержен исследованию на микротвёрдость по методу Виккерса при помощи микротвёрдомера «ПМТ-3М». Микротвёрдость измерялась при нагрузке на индентор  $P = 50$  гр. (0,49 Н), времени выдержки  $t = 12$  с. и с шагом  $x = 1$  мм.

На рисунке 2 показано составное макроскопическое изображение неразъёмного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД31 и меди М1, полученного сваркой трением с перемешиванием. Пунктирными линиями показаны характерные структурные зоны СТП соединения. Зона А – основной металл (ОМ), к ней примыкает зона В, где металл остается недеформированным и изменяет свою структуру только под воздействием нагрева – зона термического влияния (ЗТВ). Зона С, где металл подвергается значительным пластическим деформациям и нагреву, названа зоной термомеханического влияния (ЗТМВ). Зона D- зона перемешивания (ЗП) или ядро соединения, где происходит динамическая рекристаллизация.

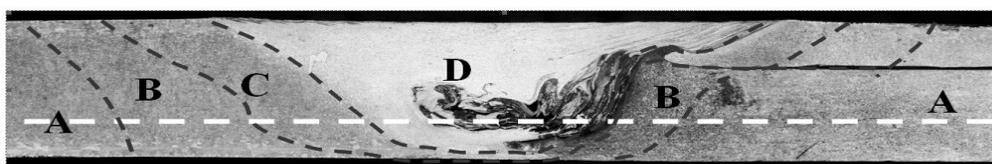


Рисунок 2 – Составное макроскопическое изображение неразъёмного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД31 и меди марки М1, полученного сваркой трением с перемешиванием

А- основной металл (ОМ), В - зона термического влияния (ЗТВ). С - зона термомеханического (ЗТМВ), D - зона перемешивания (ЗП). Микротвёрдость измерялась вдоль белой пунктирной линии.

В ходе исследования микротвёрдости по методу Виккерса СТП соединения, индентор с нагрузкой 0,49 Н погружался в соединение по всей длине с шагом 1 мм. Результаты измерения микротвёрдости представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения микротвёрдости в образце неразъёмного биметаллического СТП соединения АД31 и меди М1

х, мм	HV, кгс/см <sup>2</sup>	х, мм	HV, кгс/см <sup>2</sup>
1	52,8	-1	55,212
2	46,892	-2	52,8
3	69,29	-3	41,352

Продолжение таблицы 1

х, мм	HV, кгс/см <sup>2</sup>	х, мм	HV, кгс/см <sup>2</sup>
4	63,936	-4	46,892
5	94,36	-5	52
6	75,6968	-6	47,564
7	67,28	-7	41,28
8	53,6	-8	44,92
9	58,86	-9	44,28
10	55,212	-10	40,776
11	56,108	-11	45,56
12	57,004	-12	45,56
13	58,86	-13	39,688
14	59,82	-14	46,22
15	59,82	-15	41,352

На рисунке 3 представлено распределение микротвердости в СТП соединении алюминиевого сплава АД31 и меди М1. Анализ распределения микротвердости показал, что перемешивание алюминиевого сплава происходило неоднородно. Скачкообразное изменение микротвердости в зоне перемешивания указывает на то, что индентор находился в зоне интерметаллидного соединения. Характер изменения микротвердости в медной пластине указывает на то, что теплопроводность у меди больше, чем у алюминия, так как ЗТМВ и ЗТВ очень малы по сравнению с аналогичными зонами в алюминиевом сплаве АД31.

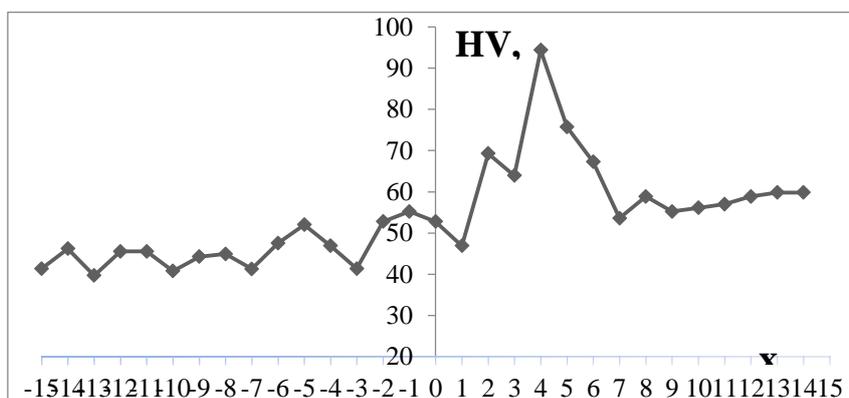


Рисунок 3 – Распределение микротвердости в поперечном сечении неразъемного биметаллического СТП соединения алюминиевого сплава АД31 и меди М1

На рисунке 4 представлено изображение микроструктуры меди марки М1 и ОМ алюминиевого сплава АД31. Из анализа рисунка 4 А и Б следует, что структура алюминия меняется при переходе от зоны ОМ к ЗП. В ОМ зерна имеют четкую форму, однако в ЗП зернистая структура становится из-

мельченной, много меньше, чем в ОМ. При этом средний размер зерна в ОМ примерно в 20-30 раз больше, чем в ЗП.

На микрофотографиях (рисунок 4) показано изображение зерна в ОМ пластины АД31. Видно, что зерно имеет объемную форму, средний размер зерна составляет 66,425 мкм.

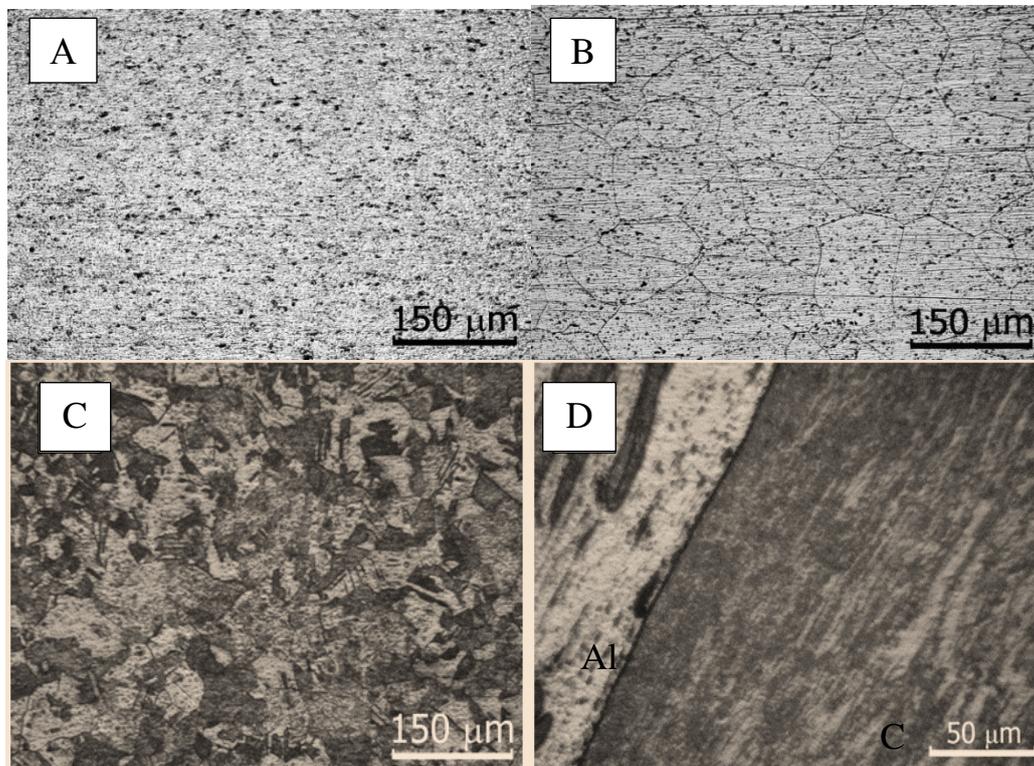


Рисунок 4 – Микроскопическое изображение характерных зов в СТП соединении разнородных металлов: А – ЗП алюминиевого сплава АД31 x500; В – ОМ алюминиевого сплава АД31 при увеличении в x200; С – ОМ меди при увеличении в x200; D – ЗТМВ и ЗТВ при увеличении в x500

Методом просвечивающей электронной дифракционной микроскопии были получены изображения ЗП. Из анализа полученного изображения было установлен размер зерна в ЗП колеблется в интервале 1,5-2,5 мкм (рисунок 5).

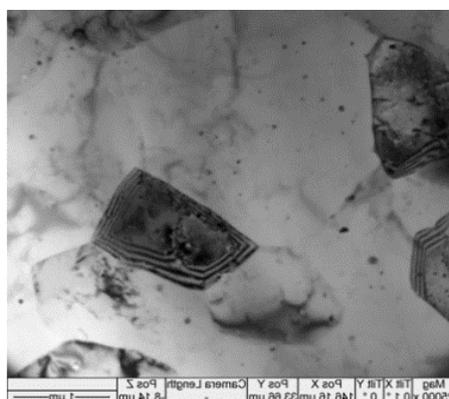


Рисунок 5 – Светлопольное ПЭМ изображение ЗП в сплаве АД31

Результаты экспериментальных исследований образца алюминиевого сплава АД31 и меди марки М1 позволили установить немонотонный (скачкообразный) характер изменения микротвердости в различных зонах сварного соединения. Показанная тенденция изменения микротвердости может свидетельствовать о влиянии градиента температур при переходе от зоны к зоне и об образовании в ЗП интерметаллидных соединений меди и алюминия.

#### Библиографический список

1. Цветной металлопрокат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cu-prim.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Алюминиевые сплавы в РФ (деформируемые = под мехобработку). Подробная классификация, физические свойства, коррозионные свойства, механические свойства, круглый и профильный алюминиевый прокат, плоский алюминиевый прокат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tehtab.ru/Guide/GuideMaterials/Metalls/Aluminium/AluminiumAlloysRF/>, свободный. – Загл. с экрана.

3. Металлография алюминия: подготовка микрошлифов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://aluminium-guide.ru/metallografiya-alyuminiya-podgotovka-mikroshlifov/>, свободный. – Загл. с экрана.

4. Сварка трением с перемешиванием [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://promsvarka.by/stati/vsyo-o-svarke/svarka-treniem-s-peremeshivanem/>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 622.6

## ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЙ – МЕДЬ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СТП

**Черемнов А.М., Лугинин, Н.А, Княжев Е.О.**

**Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Коваленко В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, w.w.w.acheremnov@gmail.com*

Традиционные методы сваривания изделий из сплава АМг5, несмотря на широкое их применение, связаны с некоторым количеством проблем, которых лишён метод сварки трением с перемешиванием. В этой связи требуются дополнительные исследования особенностей применения СТП для соединений сплава АМг5.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием (СТП), АМг5, алюминий, медь, микротвёрдость, размер зерна, световая микроскопия

Сварка трением с перемешиванием (СТП) – новый метод получения сварных соединений. Для сварки используют инструмент в виде стержня,

состоящий из утолщённого заплечника (бурта) и выступающего тонкого наконечника – пина. Длину наконечника устанавливают приблизительно равной толщине свариваемой детали, диаметр заплечника – от 1,2 до 25 мм. Сварка трением с перемешиванием позволяет получать нахлесточные соединения сплавов толщиной от 0,2 до 75 мм за один проход, скорость сварки сплава толщиной в 5 мм может достигать до  $6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$ . Основными параметрами инструмента, влияющими на свойства шва при СТП, являются скорость перемещения, частота вращения, геометрические размеры, угол его наклона.

Вращающийся с высокой скоростью инструмент в месте стыка свариваемых материалов приводится в соприкосновение с поверхностью заготовок так, чтобы наконечник внедрился в них на глубину, примерно равную их толщине, а заплечник коснулся их поверхности. Далее инструмент перемещается по линии соединения со скоростью сварки (рис.1). В результате работы сил трения, происходит нагрев металла до пластического состояния, его перемешивание вращающимся инструментом и вытеснение в освобождающееся пространство позади инструмента. По окончании сварки инструмент выводят из стыка.

Из-за асимметрии структуры, полученных методом СТП, в поперечном сечении принято различать сторону набегания, где направление вращения инструмента совпадает с направлением сварки, и противоположную сторону отхода (рисунок 1).

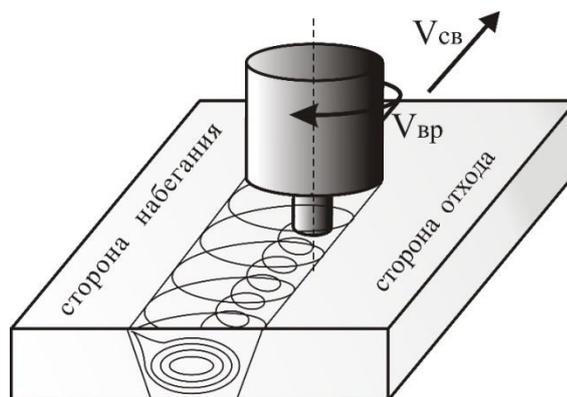


Рисунок 1 – Схема сварки трением с перемешиванием, где  $V_{вр}$  – скорость вращения сварочного стержня,  $V_{св}$  – скорость движения стержня

Полученный методом СТП материал делится на несколько отличающихся друг от друга по свойствам зон: основной металл (ОМ), зона термического влияния (ЗТВ), зона термомеханического влияния (ЗТМВ) и зона перемешивания (ЗП). К зоне ОМ примыкает ЗТВ, где металл остаётся недеформированным и изменяет структуру лишь под воздействием нагрева. В ЗТМВ металл подвергается и пластическим деформациям, и нагреву. Зона перемешивания – это центр обработки, где происходит динамическая рекристаллизация. Твёрдость металла уменьшается в направлении от ОМ к ЗП. Минимальное значение достигается в ЗТВ за счёт перестраивания, уменьшения плотности дислокаций, либо за счёт обоих механизмов.

Сварка трением с перемешиванием имеет следующие преимущества перед другими методами:

- лучшее сохранение свойств основного металла по сравнению со способами сварки плавлением;
- отсутствие ультрафиолетового излучения и вредных испарений в процессе сварки;
- возможность получения прочных бездефектных швов на сплавах вместо склонных к образованию пористости и горячих трещин швам при сварки плавлением;
- отсутствие необходимости в удалении поверхностных оксидов на кромках перед сваркой, шлака и брызг после сварки, использовании присадочного материала и защитного газа, дополнительной термической обработки шва;
- низкое потребление электроэнергии (10% от энергии дуговой сварки, 2,5 % от лазерной сварки);
- отсутствие потери легирующих элементов металлов [1].

Однако метод СТП имеет и недостатки, к которым следует отнести:

- наличие крупных металлических подложек с возможностью крепления заготовки в различных пространственных положениях;
- возможность образования канавки в форме наконечника штыря диаметрально шву в случае, если вовремя не остановить статор;
- порча сварных заготовок при поломке механической части привода вращений или статора [1].

Затруднения могут возникать при соединении заготовок толщиной 0,5 – 3 мм, а также более 40 мм, в связи, с чем были проведены исследования процесса СТП на специальной экспериментальной установке. Хотя сварка трением с перемешиванием применяется в основном для стыковых и нахлесточных швов, возможно также получение угловых, тавровых, точечных швов [3].

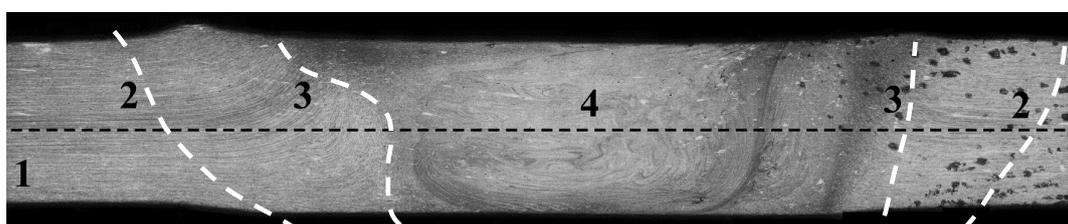
Обработка трением с перемешиванием (ОТП) представляет собой технологию, родственную методу СТП. Микроструктуры, формируемые в результате ОТП, часто демонстрируют однородное распределение измельченных недеформируемых составляющих, а также сильно измельченную зёрненную структуру. Измельчение зерен является результатом рекристаллизации при быстром термомеханическом цикле обработки, механизмы, определяющие однородное распределение частиц, ещё предстоит выяснить. Технология обработки трением с перемешиванием позволяет увеличить прочность и пластичность материала через уменьшение размера его зёрен, что важно для материалов в экстремальных условиях [2].

В лабораторных условиях была произведена обработка трением с перемешиванием образца листового проката из алюминиевого сплава АМг5 толщиной 5 мм с двумя проходами в противоположных направлениях.

Вырезанный в поперечном сечении образец АМг5 после ОТП подвергли шлифовке наждачной бумагой различной зернистости (Р400 – Р2000), после образец был подвергнут полировке алмазной пастой. Далее произведено

травление обработанного материала реактивом Келлера (HF – 1 %, HCl – 1,5 %, HNO<sub>3</sub> – 2,5 %, H<sub>2</sub>O – 95 %). После проведены исследования под оптическим микроскопом «АЛЬТАМИ МЕТ 1С». С помощью микротвердомера ПМТ-3М по методу Викерса была измерена твёрдость образца с нагрузкой на индентор P = 50 г, временем выдержки t = 12 с, с шагом x = 1 мм.

На рисунке 2 представлено составное макроскопическое изображение образца АМг5 после обработки трением с перемешиванием (ОТП), полученное с помощью оптического микроскопа. Белой пунктирной линией показаны характерные для сварки трением с перемешиванием зоны. Результаты исследования микроструктуры позволили обнаружить ярко выраженные полосы («луковые кольца») и характерные границы зон влияния, перемешивания и обычного металла.



1 – основной металл (ОМ), 2 – зона термического влияния (ЗТВ), 3 – зона термомеханического влияния (ЗТМВ), 4 – зона перемешивания (ЗП).

Микротвердость измерялась вдоль черной пунктирной линии

Рисунок 2 – Составное макроскопическое изображение образца АМг5 после обработки трением с перемешиванием (ОТП)

В результате обработки трением с перемешиванием в ЗП происходит разрушение исходной структуры сплава с образованием ультрамелкозернистой структуры. При этом, независимо от толщины исходных листов, размер зерна в зоне перемешивания находится на уровне 4 – 6 мкм. Средний размер зерна в ОМ был найден через непосредственное измерение размера 50 зёрен на изображениях микроструктуры ОМ (рис.3) и составил  $d = 20,38$  мкм.

Установлено, что при обработке трением с перемешиванием размер зёрен уменьшается от ОМ к ЗП примерно в 5 раз, что может свидетельствовать об упрочнении материала в месте обработки.

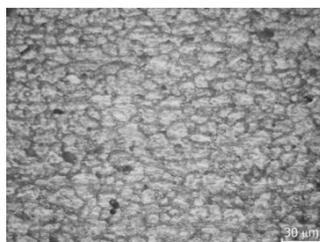


Рисунок 3 – Микроструктура ОМ алюминиевого сплава АМг5

Микротвердость в образце АМг5 после ОТП измерялась вдоль черной пунктирной линии (рисунок 3) при нагрузке на индентор 50 г с шагом 1 мм

от ЗП к ОМ в обе стороны от оси. По результатам измерений построен график распределения микротвёрдости в образце алюминиевого сплава АМг5 после обработки трением с перемешиванием (рисунок 3).

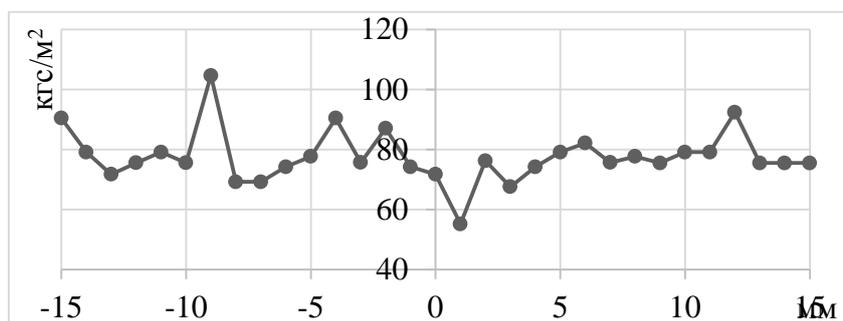


Рисунок 4 – График распределения микротвёрдости в образце алюминиевого сплава АМг5 после обработки трением с перемешиванием

Из рисунка 4 видно, что, несмотря на измельчение зерна, значения микротвёрдости в ЗП скачкообразные, что связано с неравномерным перемешиванием металла ввиду двойного прохода. При этом в ЗТВ наблюдается увеличение микротвердости.

#### Библиографический список

1. Сварка трением с перемешиванием [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://promsvarka.by/stati/vsyo-o-svarke/svarka-treniem-s-peremesivaniem/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. McNelley, Friction stir processing (fsp) and superplasticity / McNelley // Letters of materials, Volume 5: T.R., 2015 – 246 – 252.
3. В.И. Лукин, Сварка трением с перемешиванием высокопрочного алюминиево-литиевого сплава В-1469 / В.И. Лукин, И.П. Жегина, В.В. Овчинников и другие // Сварочное производство. – 2012. – №4.

УДК 669.112:539.4

## МЕХАНИЗМЫ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ С БЕЙНИТНОЙ И МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРАМИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Аксёнова К.В.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: 19krestik91@mail.ru*

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выполнен анализ деформационного упрочнения стали 38ХН3МФА с мартенситной и 30Х2Н2МФА с бейнитной структурами при активной пластической

деформации сжатием до 26 % и 36 %, соответственно. Рассмотрены вклады, обусловленные внутрифазными границами, дислокационной субструктурой, карбидными фазами, атомами легирующих элементов, дальнедействующими полями напряжений.

Ключевые слова: сталь, механизмы, упрочнение, деформация, микродвойникование.

Высокий уровень физико-механических свойств конструкционных сталей, широко применяемых в промышленности, обусловлен мартенситной или бейнитной структурой. В успешном использовании, характерной для сталей прочности и в то же время получении оптимального сочетания свойств, необходимых для их применения, большую роль играет понимание механизма упрочнения в сталях. Кроме того, необходимо знать факторы, которые контролируют этот механизм, и его влияние на многие другие свойства, особенно вязкость и пластичность. Целью настоящей работы является оценка и анализ эволюции механизмов упрочнения сталей с бейнитной и мартенситной структурами на различных стадиях пластической деформации.

Материалом исследования являлись конструкционные стали марки 38ХНЗМФА и 30Х2Н2МФА. Обе стали аустенизировали при температуре 950 °С, 1,5 часа и охлаждали в воде (сталь 38ХНЗМФА) или на воздухе (сталь 30Х2Н2МФА). Деформацию стали с мартенситной и бейнитной структурами проводили при комнатной температуре одноосным сжатием со скоростью  $\sim 7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  столбиков размерами 4x4x6 мм<sup>3</sup> на испытательной машине типа «Инстрон-1185» при автоматической записи нагрузки и удлинения. Исследования структуры и фазового состава стали осуществляли методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг.

Выполненные исследования показали, что после указанной выше термической обработки в результате сдвигового механизма  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения в стали 38ХНЗМФА была сформирована структура пакетного (реечного) мартенсита; в стали 30Х2Н2МФА – структура нижнего бейнита. В объеме реек присутствуют частицы цементита (более крупные в стали 30Х2Н2МФА с бейнитной структурой) и дислокационная субструктура сетчатого типа, скалярная плотность дислокаций которой выше в стали 38ХНЗМФА –  $\sim 1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  ( $\sim 0,7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  для стали 30Х2Н2МФА).

На основании результатов исследований структуры сталей [1, 2] были проведены оценки величин вкладов следующих механизмов торможения движущихся дислокаций – торможение на дислокациях «леса», частицах цементита, внутрифазных границах, торможение путем взаимодействия с внутренними полями напряжений. Оценки вкладов различных механизмов упрочнения и суммарной прочности сталей проводили для состояний, формирующихся на различных стадиях деформационного упрочнения по формулам, представленным в [3]. Это позволило провести анализ эволюции механизмов упрочнения и прочности сталей в целом в зависимости от степени

деформации (таблица 1).

В таблице 1 представлены значения величины *вклада от внутрифазных границ* (границ зерен, пакетов, кристаллов мартенсита и фрагментов) в деформационное упрочнение сталей с мартенситной и бейнитной структурами в зависимости от степени деформации. Отчетливо видно, что с увеличением степени деформации сталей величина упрочнения границами фрагментов возрастает, причем для бейнитной стали интенсивнее чем для мартенситной, что обусловлено уменьшением средних размеров фрагментов.

Таблица 1- Величины вкладов в напряжение течения от степени деформации сталей с мартенситной и бейнитной структурами

Тип стали Вклад в напряжение	Сталь с мартенситной структурой			Сталь с бейнитной структурой			
	Степень деформации стали, $\epsilon$ , %						
	0	10	26	0	10	26	36
$\Delta\sigma(L)$ , МПа	440	450	480	300	320	600	800
$\Delta\sigma(\rho)$ , МПа	290	340	360	275	320	350	360
$\Delta\sigma(h)$ , МПа	280	700	900	425	554	660	733
$\Delta\sigma(\chi)$ , МПа	200	300	280	260	220	250	210
$\Delta\sigma(C)$ , МПа	660	790	800	490	570	630	740

Примечание:  $\Delta\sigma(L)$  – вклад, обусловленный внутрифазными границами,  $\Delta\sigma(\rho)$  – вклад, обусловленный дислокационной субструктурой,  $\Delta\sigma(h)$  – вклад, обусловленный дальнедействующими полями напряжений,  $\Delta\sigma(\chi)$  – вклад, обусловленный присутствием частиц карбидных фаз,  $\Delta\sigma(C)$  – вклад, обусловленный атомами легирующих элементов.

Пластическая деформация сталей приводит к увеличению скалярной плотности дислокаций до  $\sim 1,3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , тип дислокационной структуры при этом не меняется. С увеличением степени деформации исследуемых сталей величина *вклада, определяемого скалярной плотностью дислокаций*, в деформационное упрочнение увеличивается пропорционально росту скалярной плотности дислокаций, изменяясь аналогичным образом в пределах от 275÷290 до 360 МПа (таблица 1).

Важную роль в формировании предела текучести, деформационном упрочнении и разрушении кристаллических материалов играют дальнедействующие поля внутренних напряжений, формируемые совокупностью дефектов материала [4]. Выполненные в работах [1, 2] исследования показали, что средние поперечные размеры контуров уменьшаются с ростом степени деформации сталей. *Величина дальнедействующих полей внутренних*

*напряжений* будет увеличиваться, что обусловлено ростом кривизны-кручения кристаллической решетки сталей вследствие несовместности деформации кристаллов бейнита и мартенсита, зерен и частиц карбидной фазы. Из табл. 1 видно, что величина данного вклада значительно увеличивается, изменяясь в пределах от 280 до 900 МПа для мартенситной стали и от 425 до 733 МПа для бейнитной стали.

Как отмечалось выше, в сталях перед деформированием присутствуют частицы карбида железа (цементит) пластинчатой (игольчатой) морфологии, которые являются препятствием движению дислокаций, что приводит к упрочнению материала. По данным табл. 1 можно сделать вывод, что с увеличением степени деформации 38ХНЗМФА стали до  $\varepsilon = 10\%$  величина вклада, *учитывающего присутствие частиц цементита*, увеличивается, изменяясь в пределах от 200 до 300 МПа. При дальнейшей деформации стали вклад в упрочнение материала от частиц цементита снижается, что обусловлено их растворением. Для стали 30Х2Н2МФА величина данного вклада изменяется сложным образом, колеблясь в пределах от 260 до 210 МПа, что может быть обусловлено процессами растворения и повторного выделения частиц цементита при деформации стали.

Присутствие в сталях атомов углерода и внедрение их в кристаллическую решетку приводит к ее асимметричному искажению, что способствует существенному упрочнению материала. Для закаленной стали 38ХНЗМФА величина *вклада в напряжение течения от наличия атомов внедрения (углерод) и замещения* (никель, хром, молибден, ванадий) с увеличением степени деформации увеличивается, изменяясь в пределах от 660 до 800 МПа, а для бейнитной стали – также увеличивается с 490 до 740 МПа (таблица 1). Это обусловлено растворением частиц цементита и внедрением части атомов углерода в кристаллическую решетку железа и осаждении на дислокациях.

Сопоставляя величину вкладов в деформационное упрочнение сталей (таблица 1), можно сделать вывод, что наибольший вклад в упрочнение для мартенситной стали вносят далекодействующие поля напряжений и твердо-растворное упрочнение. При этом вклад от далекодействующих полей напряжений увеличивается с ростом степени деформации стали, а вклад от твердо-растворного упрочнения резко возрастает на начальном этапе деформации стали, выходя на насыщение после  $\varepsilon \approx 10\%$ . Остальные вклады с ростом степени деформации изменяются незначительно и заметно уступают по величине первым двум. Для бейнитной стали примерно одинаковый вклад также вносят далекодействующие поля напряжений, твердо-растворное упрочнение и, кроме того, на заключительной стадии деформирования ( $> 26\%$ ), субструктурное упрочнение (упрочнение внутрифазными границами).

Таким образом, анализ природы деформационного упрочнения сталей показал, что упрочнение исследуемых сталей носит многофакторный характер. Наибольший вклад в величину деформационного упрочнения исследуе-

мых сталей дает упрочнение, обусловленное дальнедействующими внутренними полями напряжений и твердорастворное упрочнение, обусловленное внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку феррита. Для бейнитной стали при больших степенях деформации увеличивается доля вклада упрочнения, обусловленного внутрифазными границами.

*Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов (проект СП 1335.2016.1).*

#### Библиографический список

1. Иванов Ю.Ф., Корнет Е.В., Громов В.Е., Коновалов С.В. Структурно-фазовые превращения в закаленной конструкционной стали при деформации // Успехи физики металлов. 2009. Т. 10. № 4. С. 391-416.

2. Громов В.Е., Никитина Е.Н., Иванов Ю.Ф. Эволюция карбидной и дефектной подсистем стали с бейнитной структурой при деформации // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2015. №3. С. 74-80.

3. Громов В.Е., Никитина Е.Н., Иванов Ю.Ф., Аксёнова К.В. Анализ механизмов деформационного упрочнения стали с бейнитной структурой // Металлург. 2017. № 4. С. 59-65.

4. Конева Н.А., Козлов Э.В. Физика субструктурного упрочнения // Вестник ТГАСУ. 1999. №1. С. 21-35.

УДК 622.6

### **СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (СТП) НА ПРИМЕРЕ НЕРАЗЪЕМНОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЙ – МЕДЬ**

**Гришанков А.А., Черемнов А.М., Княжев Е.О.**

**Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Коваленко В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Domian844@gmail.com*

Основным требованием, предъявляемым к любой конструкции, применяемой в различных отраслях промышленности, является обеспечение высокого уровня работоспособности в течение определенного срока при заданных условиях эксплуатации. В настоящее время одним из эффективных способов выполнения указанных требований получения высококачественных соединений является сварка трением с перемешиванием (СТП).

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием (СТП), биметаллическое соединение, алюминий, медь, микротвердость, размер зерна, световая микроскопия.

Метод сварки трением с перемешиванием был разработан в Британском институте сварки в 1991 году. Он относится к твердофазным способам образования соединений материалов с использованием трения. Этот способ соединения разрабатывался для алюминиевых сплавов с целью решения многих проблем, связанных со сваркой плавлением. Дальнейшее развитие метода показал возможность его применения для широкого круга материалов [1].

СТП может быть признан универсальной технологией, имеющей большие перспективы в различных отраслях производства. По мнению ведущих мировых экспертов, технология СТП является революционной в области сварки листовых материалов из легких сплавов (алюминиевых и магниевых), она оценивается как ключевая для создания авиационной техники пятого поколения. Толщины свариваемых СТП листовых материалов достигли для алюминиевых сплавов 110 мм, а для сталей и никелевых сплавов 45 мм [2].

Выполненные в последние годы исследования показали, что СТП является эффективным способом получения высококачественных соединений конструкций различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции, трубы, восстановления изношенных деталей, модифицирования и улучшения структуры материалов, залечивания трещин и литейных дефектов.

Целью работы является исследование микроструктуры и механических свойств неразъемного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД0 и меди марки М1, полученного сваркой трением с перемешиванием.

В качестве материала исследования выбрано неразъемное биметаллическое СТП соединение из алюминиевого сплава АД0 и меди марки М1.

Для подготовки образца к исследованию использовалась шлифовальная бумага различной зернистости (Р400-Р2000). Для полирования использовалась алмазная паста. Далее происходило травление в два этапа. Сначала сторона Al – реактивом Келлера (HCl, HF, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O), затем вторая сторона Cu – FeCl<sub>3</sub>, HCl, H<sub>2</sub>O.

Для исследования поверхности сварного соединения использовался оптический микроскоп АЛЬГАМИ МЕТ-1С. С помощью оптического микроскопа были получены изображения алюминиевой и медной поверхностей образца, которые затем объединены в одно изображение всей поверхности.

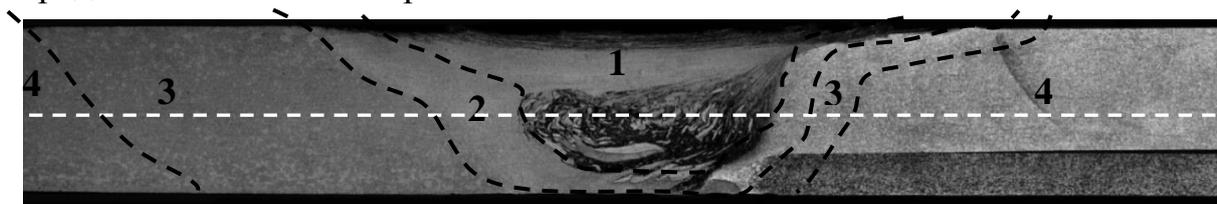
Замеры микротвердости проводились микротвердометром ПМТЗ по методу Виккерса по всей длине образца с нагрузкой Р=50 г., шагом 1мм и временем выдержки 12 секунд.

На рисунке 1 показано составное макроскопическое изображение неразъемного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД0 и меди марки М1, полученного сваркой трением с перемешиванием. Красными пунктирными линиями показаны характерные структурные зоны СТП соединения.

1) Зона перемешивания (ЗП) – зона, в которой происходит деформация и образуется ядро шва.

2) Зона термомеханического влияния или ЗТМВ – зона вблизи свароч-

ного шва. Характерна небольшая деформация. В данной зоне происходит передача тепла с зоны перемешивания.



1 – зона перемешивания (ЗП), 2 – зона термомеханического влияния (ЗТМВ),  
3 – зона термического влияния (ЗТВ), 4 – основной металл (ОМ).

Микротвердость измерялась вдоль белой пунктирной линии

Рисунок 1 – Составное макроскопическое изображение неразъемного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД 0 и меди марки М1 полученного сваркой трением с перемешиванием

3) Зона термического влияния или ЗТВ – зона, в которой зерна почти не отличаются от зерен основного металла, но обладают большей твердостью.

4) Основной металл (ОМ) – зона, которая не подвергается никаким воздействиям.

Микротвердость измерялась вдоль белой пунктирной линии (см. рис.3) равноудаленно от поверхностей с шагом 1 мм. Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений микротвердости образца

х, мм	HV, кгс/м <sup>2</sup>	х, мм	HV, кгс/м <sup>2</sup>
-12	39,688	1	43,08
-11	41,352	2	43,08
-10	48	3	31,704
-9	37,22	4	96,26
-8	37,7	5	62,66
-7	41,928	6	61,824
-6	40,776	7	69,26
-5	30,936	8	49,66
-4	35,34	9	60,78
-3	29,248	10	51,2
-2	34,924	11	62,88
-1	32,472	12	57,004
0	44,28		

На рисунке 3 показан график распределения микротвердости, из которого следует, что в пластине меди ЗТВ и ЗТМВ она существенно меньше, чем в аналогичных зонах в алюминиевой пластине. Температура плавления и теплопроводность у меди выше, чем у алюминия, а метод СПП подразумевает асимметрию при соединении пластин. Инструмент периферийно захватывает

вает медь, вследствие чего разогрев меди происходит в меньшей степени, а скорость теплоотдачи увеличивается.

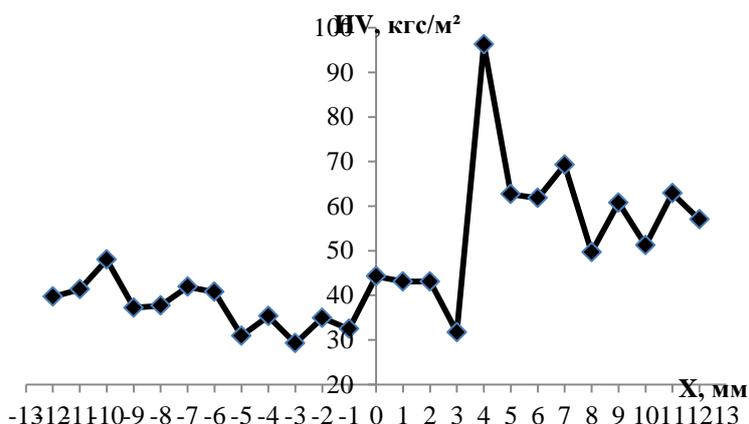


Рисунок 3 – Распределение микротвердости в неразъемном биметаллическом СТП соединении сплава АД0 и меди М1

На рисунке 4а показано увеличенное изображение ОМ меди марки М1. Средний размер зерна  $d=34.75\pm 25.19$  мкм. На рисунке 4б виден резкий переход от ЗТМВ к ОМ, что подтверждает ранее описанные предположения о теплопроводности меди.

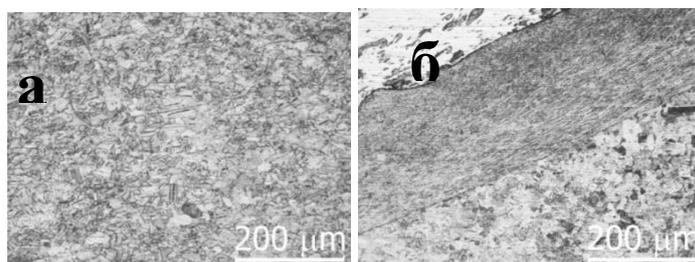


Рисунок 4 – Увеличенное в 200 крат изображение микроструктуры меди марки М1 в биметаллическом СТП соединении: а) ОМ, б) ЗТМВ и ЗТВ

В пластине алюминия размер зерна значительно уменьшается от ОМ к ЗП. Средний размер зерна в ОМ составляет  $d=211.36\pm 67.019$  мкм, что в 84.5 раз превышает средний размер зерна в ЗП (1,5-2,5 мкм), это можно заметить на рисунке 5.

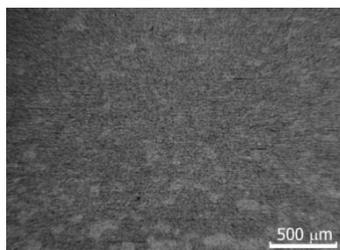


Рисунок 5 – Увеличенное в 50 крат изображение микроструктуры алюминия АД0 в биметаллическом СТП соединении в зоне ОМ

В ходе эксперимента было выявлено, что микротвердость материала в зоне перемешивания выше, чем в зоне термического влияния и в зоне основного металла. В медной пластине пик микротвердости наблюдается в ЗТВ.

Микроструктура исследуемого образца изменяется от ОМ к ЗП как для алюминиевой пластины, так и для меди. Средний размер зерна в ЗП существенно ниже, чем в ОМ.

#### Библиографический список

1. Всесоюзный конструкторско-технологический Институт Сварочного Производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.visp-ltd.com>, свободный. – Загл. с экрана;

2. Сварка трением с перемешиванием – Мир Сварки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://weldworld.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 621.791

### **ОБРАБОТКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ НА ПРИМЕРЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг-5**

**Княжев Е.О., Лугинин Н.А., Панфилов А.О.**

**Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Коваленко В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: zhenya4825@gmail.com*

Данная статья рассматривает процесс обработки материала трением с перемешиванием на примере сплава алюминия АМг-5. Данный процесс обработки похож на сварку трением с перемешиванием (СТП), которая уже зарекомендовала себя в различных отраслях машиностроения, что делает данный процесс достойным для изучения.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, СТП, обработка трением с перемешиванием. ОТП, перемешивающая фрикционная обработка, Пластическая деформация, алюминий, АМг-5.

#### **1 Сварка трением с перемешиванием**

В декабре 1991 года была изобретена сварка трением с перемешиванием. Этот вид сварки относится к твердофазным способам образования соединений материалов с использованием трения. Способом СТП можно получать соединения всех металлов и сплавов с температурой плавления до 1800 °С, но при этом возможна сварка и разнородных металлов [4].

Метод СТП различных трудно свариваемых материалов более эффективен по сравнению со сваркой плавлением и может обеспечить однородную и бездефектную структуру с высоким уровнем технологических свойств. Это обусловлено тем, что материал после сварки не меняет свой химический со-

став, а также, в отличие от сварки плавлением, не оставляет большого количества пор в области шва.

### 1.1 Механизм образования СТП соединения

Цилиндрический вращающийся инструмент особой формы с заплечиком и наконечником в центре погружается в линию соединения подлежащих сварке плотно прижатых друг другу и зафиксированных на массивной подложке деталей. В результате трения наконечника и заплечика с деталью создаётся достаточное количество тепла для пластической сварки деталей без плавления. Нагретый до пластического состояния металл перемещается из зоны перед штырем в зону за ним, формируется заплечиками и образует сварное соединение в процессе охлаждения.

### 1.2 Структура сварного шва

Метод соединения СТП приводит к образованию так называемых «луковых» колец, т.е. концентрических овальных колец, различающихся макроструктурой. Форма ядра шва незначительно отличается в зависимости от сплава. К ядру примыкает сложный профиль, образующий верхнюю часть шва и по ширине немного превышает диаметр плеча инструмента. Диаметр ядра намного больше, чем диаметр штыря инструмента и располагается, как правило, в нижней части соединения.

На основании исследования микроструктуры большого массива соединений различных алюминиевых сплавов выделяются в соединении четыре зоны. Серединой, как было уже сказано, является ядро, оно на протяжении всего сплава составляет сердцевину сварного шва; следующая по направлению от середины шва зона – это зона термомеханического влияния, в ней металл значительно подвергается влиянию высоких температур и влиянию пластической деформации; далее идет зона термического влияния – зона, в которой металл подвергается только нагреву; и последняя, четвертая зона – зона основного металла [2].

## 2 Перемешивающая фрикционная обработка

Аналогичным процессу СТП является перемешивающая фрикционная обработка или обработка трением с перемешиванием (ОТП). Единственное отличие заключается в том, что в данном случае не происходит соединения двух пластин металлов, пластина изначально является монолитом. Целью данной обработки является измельчение зерна металла и повышение комплекса механических свойств металлического материала.[1][3]

### 2.1 Обработка трением с перемешиванием сплава АМг-5

В настоящей работе был исследован образец сплава АМг-5 (сплав 1550 – международная классификация), подвергнутый обработке трением с перемешиванием тремя проходами в одном направлении. Схема обработки трением с перемешиванием исследуемого образца представлена на рисунке 1.

Цель исследования состояла в выявлении изменения микроструктуры металла после ОТП.

Состав сплава АМг-5 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сплава АМг-5

Al	Mg	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Be
91,9-94,68%	4,8-5,8%	0,5-0,8%	до 0,5%	до 0,5%	до 0,1%	до 0,2%	0,02-0,1%	0,0002-0,005%

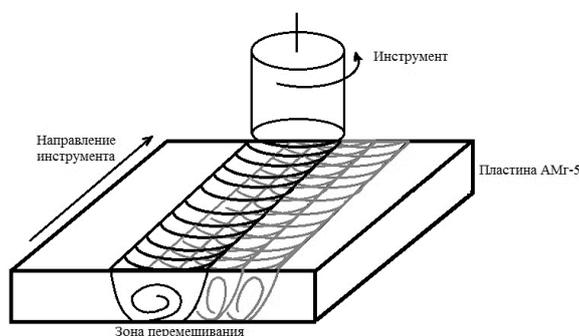
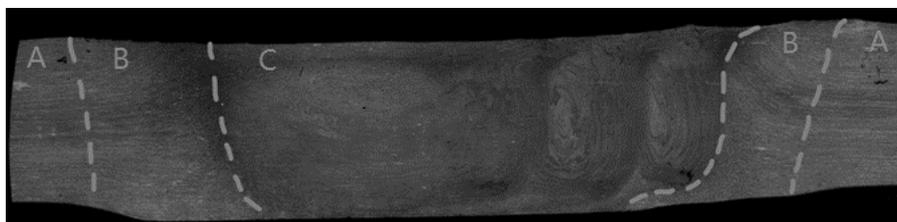


Рисунок 1 – Схема обработки АМг-5 трением с перемешиванием тремя проходами в одном направлении

## 2.2 Результаты ОТП

### 2.2.1 Структура ОТП шва

После проведения шлифовки, полировки и травления образец алюминиевого сплава АМг-5, вырезанный в поперечном сечении после обработки трением с перемешиванием, исследовался под оптическим микроскопом. На рисунке 2 представлено составное макроскопическое изображение исследуемого образца.



А) Зона термического влияния (ЗТВ), В) Зона термомеханического влияния (ЗТМВ), С) Зона перемешивания (ЗП)

Рисунок 2 – Составное макроскопическое изображение исследуемого образца алюминиевого сплава АМг-5 после обработки трением с перемешиванием

Из рисунка 2 видно, что по мере приближения к ЗП в ЗТМВ наблюдается вытягивание и уменьшение зерна. В зоне перемешивания наблюдается течение металла в виде завихрений вследствие тройного прохода.

При рассмотрении области основного металла (ОМ) – зоны, не подверженной обработке и термическому и термомеханическому влияниям – обнаруживается структура, имеющая зёрна, вытянутые в направлении проката. При этом средний размер зерна в ОМ составляет  $d=20,38$  мкм.

В результате обработки трением с перемешиванием в зоне перемешивания происходит разрушение исходной структуры сплава и образование

ультрамелкозернистой зёрненной структуры. При этом независимо от толщины исходных листов размер зерна в зоне перемешивания находится на уровне 4-6 мкм.

### 2.2.2 Измерение микротвёрдости образца

При помощи метода Виккерса была измерена микротвёрдость образца в зонах ОТП. Измерения проведены с шагом 1 мм вдоль горизонтальной оси образца по 15 мм от центра зоны перемешивания в обе стороны. Результаты измерений представлены на рисунке 3.

Выявленное скачкообразное изменение микротвёрдости указывает на неравномерное перемешивание материала вследствие тройного прохода инструмента. Характер изменений микротвёрдости коррелирует с выявленными особенностями зонного строения структуры материала после ОТП: в ЗП и ЗТМВ наблюдается уменьшение значений микротвёрдости, а в ЗТВ её значительный рост.

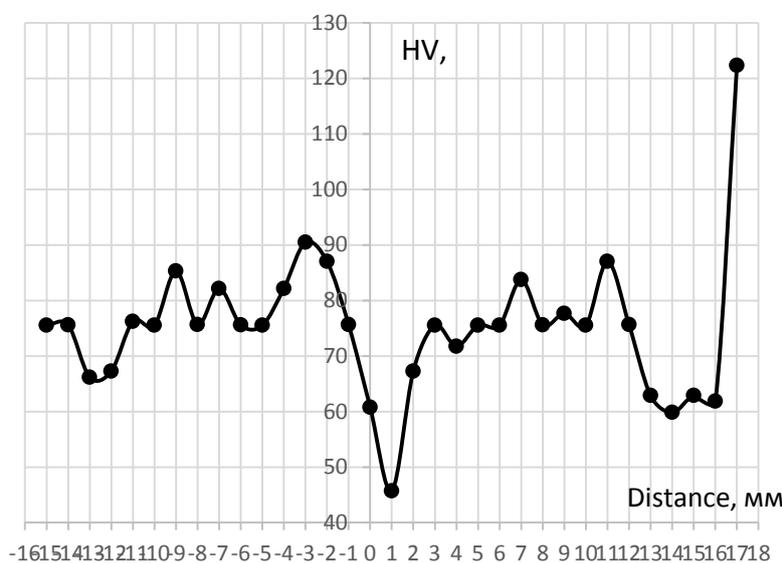


Рисунок 3 – Изменение микротвёрдости образца алюминиевого сплава АМг-5, полученного после обработки трением с перемешиванием

### 2.3 Результаты исследования ОТП

Обработка трением с перемешиванием сплава АМг-5 и последующее исследование микроструктуры образца методом оптической микроскопии позволили обнаружить на поверхности травленого шлифа ярко выраженные полосы, так называемые «луковые кольца», зоны термического и термомеханического влияний, зона перемешивания и зона обычного металла.

После проведения ОТП размер зёрен металла от ОМ к ЗП претерпевает значительные изменения и уменьшается приблизительно в 5 раз. Уменьшение размеров зёрен и увеличение их количества сопровождается упрочнением материала образца в месте обработки, а также делает материал менее подверженным воздействию внешних негативных воздействий.

## Библиографический список

1. Елисеев А.А., Калашникова Т.А., Филиппов А.В., Калашников К.Н., Белобородов В.А., Чумаевский А.В. Механические свойства сплава АМг5 в ультрамелкозернистом состоянии, полученного перемешивающей фрикционной обработкой листового проката различной толщины // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 12-2. – С. 278-283; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41083>
2. Колубаев Е.А., Колубаев Е.А. Особенности формирования структуры сварного соединения, полученного сваркой трением с перемешиванием // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11292>
3. Рудской А.И., Наумов А.А., Черников Е.В. – Обработка металлов трением с перемешиванием – новый метод интенсивной пластической деформации. // «Цветные металлы. Черные металлы. Специальный выпуск.»; 2014, г. Санкт-Петербург.
4. Сергеева Е.В. Сварка трением с перемешиванием (FSW - Friction Stir Welding) в мировом кораблестроении. Современный уровень развития, перспективы, оборудование. // *Российский судостроительный портал*; URL: <http://shipbuilding.ru/rus/docs/fsw.pdf>.

УДК 622.6

## **ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА Д16 ПОСЛЕ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

**Лугинин Н.А., Панфилов А.О., Гришанков А.А.**

**Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Коваленко В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Nikishek90@gmail.com*

Несмотря на широкое применение традиционных методов сварки их применение для сваривания изделий из сплава Д16 связано с некоторыми проблемами, которых лишен метод сварки трением с перемешиванием [1]. В этой связи требуются дополнительные исследования особенностей применения СТП соединений сплава Д16.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием (СТП), дюралюминий, Д16, микротвердость, размер зерна, световая микроскопия

Новый метод получения сварных соединений, получивший название сварка трением с перемешиванием (СТП), был разработан Британским институтом сварки (TWI) в 1991 г. Интенсивное изучение данного метода, связанное с необходимостью совершенствования технологии и оборудования, поз-

волило его внедрить за рубежом в производство высокотехнологичных изделий для вагоно-, судо-, авиастроение и т.д. Сварка трением с перемешиванием относится к процессам соединения материалов в твердой фазе и поэтому лишена недостатков, связанных с расплавлением и испарением металла [2].

Настоящая работа посвящена изучению сплава дюралюминий Д16, который благодаря своим физико-механическим свойствам превосходно деформируется в горячем или холодном состоянии, а поэтому широко используется при изготовлении труб, прутков, профилей, заклепок и листов.

Несмотря на широкое применение традиционных методов сварки их применение для сваривания изделий из сплава Д16 связано с некоторыми проблемами, которых лишен метод сварки трением с перемешиванием [2]. В этой связи требуются дополнительные исследования особенностей применения СТП соединений сплава Д16.

Химический состав исследуемого алюминиевого сплава Д16 приведен в таблице 1, а также ниже в таблице 2 приведены некоторые важные для реализации качества исследования исходные данные о состоянии сплава. [3]

Таблица 1 – Химический состав сплава Д16 [4]

Химический элемент	Fe	Si	Mn	Ni	Ti	Al	Cu	Mg	Zn
Процентное содержание	до 0,5	до 0,5	0,3 – 0,9	до 0,1	до 0,1	90,8 – 94,7	3,8 – 4,9	1,2 – 1,8	до 0,3

Сплав Д16 имеет плотность, равную  $2800 \text{ кг/м}^3$ , твердость  $\text{HV} 10^{-1} = 42 \text{ МПа}$ , получен в результате термообработки – закалки при  $485\text{-}503 \text{ }^\circ\text{C}$  (прессованные изделия), старения при  $t = 180 \text{ }^\circ\text{C}$  около 68 часов.

Таблица 2 – Механические свойства сплава Д16 [4]

Прокат	Толщина или диаметр, мм	E, ГПа	$\sigma_{-1}$ , ГПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
Лист	2-4	72	130	450	320	19
Лист	30-40	-	-	460	360	10
Профиль прессованный закаленный и искусственно состаренный	5-10	72	140-150	480	350	12

Для исследования микроструктуры сплава методом оптической (световой) микроскопии образец неразъемного СТП соединения листового проката алюминиевого сплава Д16 был вырезан в поперечном сечении, затем был подвергнут грубой обработке наждачной бумагой разной зернистости (р400-р2000). Далее была произведена полировка алмазной пастой и промывание дистиллированной водой. Для вытравливания зерен был использован реак-

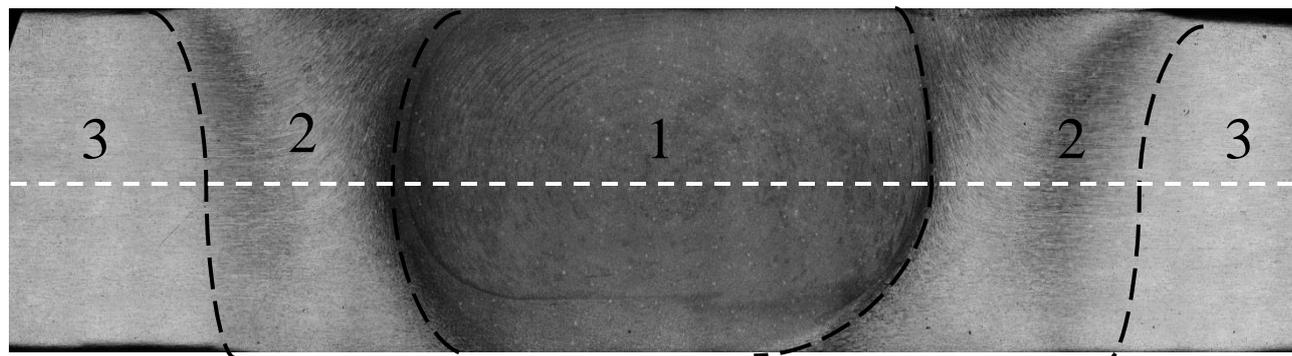
тив Келлера составом: HF – 1 %, HCl - 1,5 %, HNO<sub>3</sub> - 2,5 %, H<sub>2</sub>O – 95 %. Микроструктура поверхности сплава сварного изучена с помощью оптического микроскопа «Альтами МЕТ 1С». Были проведены измерения микротвердости микротвердомером ПМТЗ по методу Виккерса по всей длине образца с шагом 1мм, нагрузкой 50 г и временем выдержки 12 с.

На рисунке 1 представлено составное макроскопическое изображение неразъемного СТП соединения листового проката алюминиевого сплава Д16.

На рисунке 1 обнаруживается зонное строение металла вблизи шва 4-х характерных типов.

1. Зона перемешивания (ЗП), в которой непосредственно располагается сварочный шов (для нее характерен самый маленький размер зерна и, как следствие, самая большая прочность, объясняемые процессом рекристаллизации зерен).

2. Зона термомеханического влияния (ЗТМВ), расположенная вблизи от сварочного шва и сформированная в результате деформации и интенсивного теплообмена с зоной с зоной перемешивания. Для этой зоны характерно изменение формы зерен в результате частичной рекристаллизации и в меньшей степени его размеров. Структура зоны характеризуется небольшой потерей прочности.



1 – зона перемешивания (ЗП), 2 – зона термомеханического воздействия (ЗТМВ), 3 – зона термического воздействия (ЗТВ).

Микротвердость измерялась вдоль белой пунктирной линии

Рисунок 1 – Составное макроскопическое изображение неразъемного СТП соединение листового проката алюминиевого сплава Д16

3. Зона термического влияния (ЗТВ), в которой зерна не деформируются, но принимают на себя часть тепла (энергии) от ЗП и ЗТМ. Зерна в этой зоне визуально не отличаются от зерен основного металла, однако здесь они характеризуются большей твердостью, и легче подвергаются травлению. Рекристаллизация зерен не происходит.

4. Основной металл – зона, которая не подвергалась никаким термическим или механическим воздействиям. Представляет собой структуру исходного металла.

Был проведен сравнительный анализ размера и формы зерна в соответствии с зонами, представленными на рисунке 1.

На рисунке 2 представлена микроструктура ЗП СТП соединения сплава Д16. Структура мелкозернистая со средним размером зерна  $d = 9,1 \pm 6,4$  мкм (рисунок 2).



Рисунок 2 – Микроскопическое изображение микроструктуры зоны перемешивания в сплаве Д16

Неоднократное травление позволило установить, что зерна в этой области очень хорошо вытравливаются, особенно, когда сплав сваривается с таким же сплавом.

В зоне основного металла наблюдаются вытянутые зерна крупного размера порядка  $d = 132,7 \pm 22,2$  мкм. Данная область характеризуется большим наличием частиц второй фазы, которые выпадают в процессе пробоподготовки образца, ввиду чего на изображении имеются ямки в виде черных точек и полос (рисунок 3)

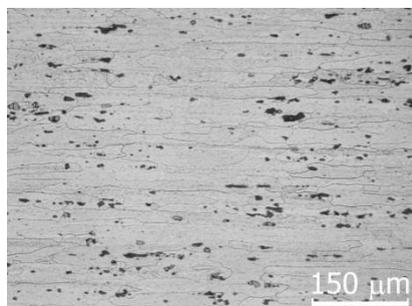


Рисунок 3 – Изображение микроструктуры зоны основного металла в сплаве Д16

Как видно из гистограмм распределения размеров зерна в ЗП и ОМ, в первом случае размер зерна меньше, чем во втором. Таким образом, твердость материала в зоне перемешивания выше, чем в области основного металла. Это следствие можно подтвердить из закона Холла-Петча ( $\sigma_T = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$ ).

В работе были проведены измерения микротвердости на расстоянии, равноудаленном от поверхностей по всей длине поперечного сечения шва (рисунок 1). По опытным данным была построена графическая зависимость микротвердости от расстояния  $x$  на образце от центральной линии шва (рисунок 4).

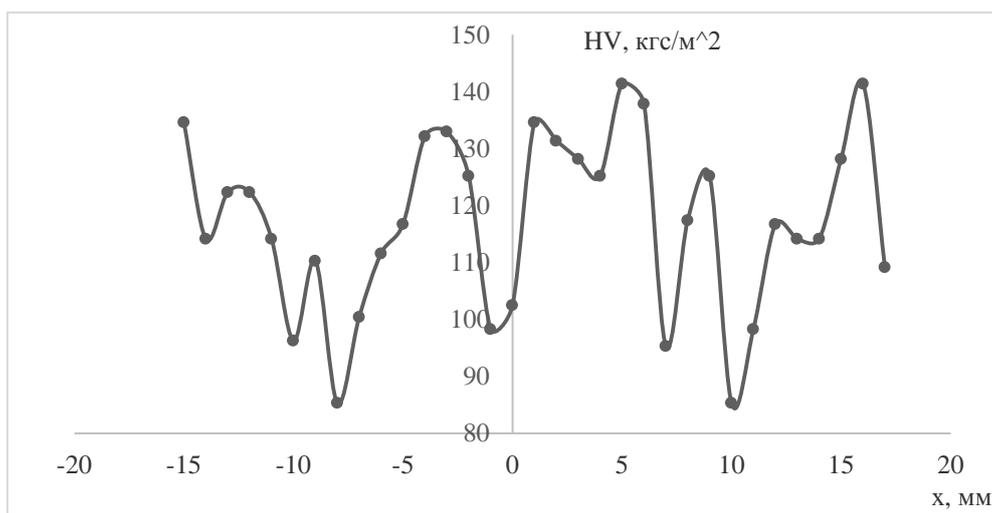


Рисунок 4 – Распределение микротвердости в поперечном сечении СТП соединения алюминиевого сплава Д16

Из рисунка 4 видно, что микротвердость в ЗП изменяется скачкообразно. Возможно, в месте спада значений происходило неравномерное перемешивание металла. Изучение характера изменения микротвердости позволило выявить резкий спад ее значений в ЗТМВ и увеличение ее значений в ЗТВ.

Из гистограмм распределения зерен по размерам видно, что в зоне перемешивания зерно много мельче, чем в зоне основного металла, а именно, в 14,58 раз. Анализ зеренной структуры металла позволил констатировать выполнение закона Холла-Петча: чем меньше зерно, тем больше его прочность. Так, в зоне перемешивания наблюдается рост микротвердости, в зоне термомеханического воздействия его уменьшение, в зоне термического воздействия – небольшое увеличение.

#### Библиографический список

1. Цветной металлопрокат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cu-prum.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Санкт-Петербургский университет имени Петра Великого [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.spbstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
3. В.И. Лукин Сварка трением с перемешиванием высокопрочного алюминиево-литиевого сплава В-1469 В.И. Лукин, И.П. Жегина, В.В. Овчинников и другие // Сварочное производство. – 2012. – №4. 11 с.
4. Характеристики АМг5 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://metallicheskiy-portal.ru/marki\\_metallov/alu/AMg5/](http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/alu/AMg5/), свободный. – Загл. с экрана.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЗОКРАСИТЕЛЕЙ

Николаева А.А., Булычева Е.В.

Научный руководитель: канд. хим. наук, профессор Короткова Е.И.

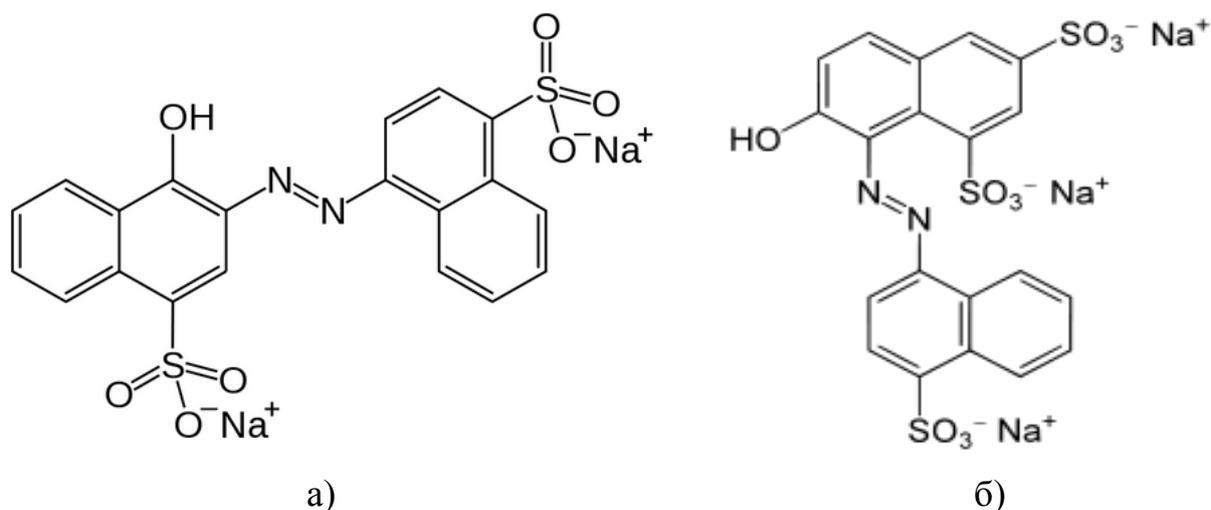
Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: ivanovaaa@tpu.ru

Исследованы основные люминесцентные свойства синтетических пищевых азокрасителей кармуазина (азорубина, E122) и понсо 4R (E124): время жизни сигнала люминесценции и относительный квантовый выход процесса люминесценции. Из полученных данных установлен вид процесса люминесценции.

Ключевые слова: азокрасители, люминесценция, квантовый выход, время жизни процесса люминесценции.

Азокрасители - синтетические органические красители, в молекуле которых содержится одна или несколько азогрупп (N = N).

Самыми распространенными представителями ряда азокрасителей являются Кармуазин (Азорубин, E122) и Понсо 4R (E124) (рисунок 1).



а – кармуазин (E122); б – понсо 4R (E124)

Рисунок 1 - Структурные формулы азокрасителей

Как видно из рисунка строение молекул данных красителей практически идентично. Красители содержат в молекуле азогруппу N=N, а также несколько сульфогрупп. Возможность способности данных красителей к флуоресценции обоснована наличием сопряженных конденсированных колец.

Данные красители, как индивидуально, так и в смеси, применяются в пищевой промышленности для окрашивания продуктов питания в красные

оттенки. В России содержание данных красителей в пищевых продуктах строго регламентируется п. 3.11.1. СанПиН 2.3.2.1293-03 и варьируется от 50 (в безалкогольных напитках) до 500 (в соусах, приправах) мг/кг [1]. Предельно допустимая норма потребления красителей E122 и E124 – 4 мг/кг веса тела в сутки.

Целью работы является исследование люминесценции синтетических пищевых азокрасителей понсо 4R (E124) и кармуазина (E122).

Синтетические азокрасители были исследованы на анализаторе жидкости «Флюорат-02-панорама» (г. Санкт-Петербург). Спектры возбуждения красителей получены с помощью синхронного режима сканирования стандартных образцов красителей с концентрацией 10 мг/л. Длина волны возбуждения кармуазина и понсо 4R составила 330 нм, что соответствует  $\pi \rightarrow \pi^*$  электронному переходу азосоединений [2]. Максимум флуоресценции красителей составил 420 нм.

В работе исследованы основные параметры кинетики люминесценции красителей: время жизни сигнала и квантовый выход люминесценции азокрасителей. Рассчитано время жизни возбужденного состояния молекул красителей, с помощью которого удалось установить вид люминесценции данных азосоединений. Исследования показали, что для красителя понсо 4R характерен процесс флуоресценции, а для красителя кармуазина процесс замедленной флуоресценции.

Рассчитан относительный квантовый выход синтетических пищевых азокрасителей с помощью стандартного вещества раствора сульфата хинина. Установлено, что значение квантовых выходов красителей E122 и E124 остается постоянным в интервале длин волн возбуждения от 280 нм до 350 нм, что соответствует закону Вавилова и доказывает способность азокрасителей к люминесценции, не смотря на отрицание этого факта некоторыми ранними источниками [3].

#### Библиографический список

1. СанПиН 2.3.2.1293-03. Гигиенические требования по применению пищевых добавок. – М.: Минздрав России, 2003. – 416 с.
2. Васильев А.В. Введение в спектроскопию. Электронные лекции 2013 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chem.spbu.ru/org.html>.
3. Прингсгейм, Петер. Флуоресценция и фосфоресценция: пер. с англ. / П. Прингсгейм. — Москва: Изд-во иностранной литературы, 1951.- 623 с.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТИТАНА С ХЛОР-РЕАГЕНТАМИ В СТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЯХ И ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 298,15 – 1500 К

**Зайцев Н.С., Зенцова С.В., Бендре Ю.В.**

**Научный руководитель: д-р хим. наук, профессор Горюшкин В.Ф.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: koax@sibsiu.ru*

Широкое использование титана и его сплавов в мире продолжается около 80 лет. Становится актуальной задача переработки титанового лома. В частности, химическим способом из лома можно получать титансодержащие продукты, пригодные для осуществления нового металлургического цикла или имеющие потребительский спрос на рынке наряду с титановыми сплавами. В первую очередь, такими продуктами могут быть тетрахлорид титана ( $\text{TiCl}_{4\text{ж}}$ ), вещество жидкое при обычных условиях с температурой кипения 410 К и диоксид титана ( $\text{TiO}_{2\text{тв}}$ ), который достаточно просто получается из его тетрахлорида. Однако  $\text{TiCl}_{4\text{газ}}$  не является единственным возможным продуктом высокотемпературного взаимодействия титана с хлор-реактантами. С целью определения термодинамических факторов, способствующих образованию  $\text{TiCl}_{4\text{газ}}$  в процессе хлорирования титанового лома, проведена термодинамическая оценка вероятности протекания в стандартных условиях двенадцати возможных реакций хлорирования титана хлором и хлороводородом, для которых рассчитывали  $\Delta_r G^\circ(T)$  в интервале температур 298,15 – 1500К. Расчёты показывают, что при приближении температуры к 1300 К, термодинамическая вероятность получения в результате хлорирования титана в стандартных условиях трёх хлоридов  $\text{TiCl}_{2\text{тв}}$ ,  $\text{TiCl}_{3\text{тв}}$  и  $\text{TiCl}_{4\text{газ}}$  становится одинаковой, а при более высокой температуре (>1400К)  $\text{TiCl}_{4\text{газ}}$  среди них переходит на первое место по термодинамической вероятности получения. Испарение  $\text{TiCl}_{2\text{тв}}$  и  $\text{TiCl}_{3\text{тв}}$  (переход в состояние  $\text{TiCl}_{2\text{газ}}$  и  $\text{TiCl}_{3\text{газ}}$  соответственно) в общем уменьшает термодинамическую вероятность их образования, но при  $T > 1750\text{К}$  получение  $\text{TiCl}_{2\text{газ}}$  становится более вероятным, чем получение  $\text{TiCl}_{4\text{газ}}$ . Следовательно, с целью получения  $\text{TiCl}_{4\text{газ}}$  процесс хлорирования титанового лома необходимо проводить в интервале температуры  $1400 < T < 1700\text{К}$ .

Ключевые слова: титан, титановый лом, хлор, хлороводород, хлориды титана, реакции хлорирования титана, термодинамические свойства реакций, термодинамическая вероятность протекания реакций хлорирования.

Широкое применение титановых сплавов началось с середины прошлого века. В 1952г. они были внедрены (США) в авиационные газовые турбины [1]. В настоящее время в чистом виде и в виде сплавов металл при-

меняется не только в авиа-, ракето-, кораблестроении, но и в военной, химической, автомобильной, пищевой промышленности, медицине. Список титановых сплавов, выплавляемых и используемых в России, включает в себя более 30 марок [2]. Поскольку с момента начала широкого использования прошло около 80 лет, можно с уверенностью говорить о наличии титанового лома и о необходимости развивать способы его переработки.

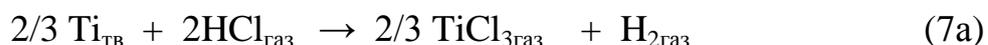
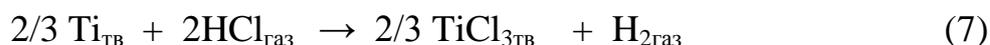
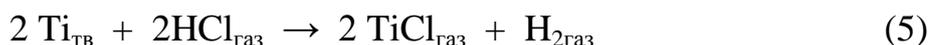
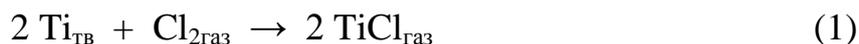
Переработка титанового лома может заключаться не только в переплавке и рафинировании уже готовых металлических сплавов, но и в получении из лома химическим способом других титансодержащих продуктов, пригодных для осуществления нового металлургического цикла или имеющих потребительский спрос на рынке наряду с титановыми сплавами. В первую очередь, такими продуктами могут быть тетрахлорид титана  $TiCl_4$  - вещество жидкое при обычных условиях с температурой кипения 410 К и диоксид титана ( $TiO_2$ ). Последний очень широко в структуре потребления фигурирует как самостоятельный продукт, а  $TiCl_4$  в настоящее время продолжает оставаться основным исходным материалом для производства металлического титана [3].

Извлечение титана из лома в виде пара  $TiCl_4$  в процессе высокотемпературного хлорирования лома является весьма удобным и перспективным, поскольку титан в этом случае просто отделяется от других элементов. К тому же из пара  $TiCl_4$  достаточно легко (гидратация при комнатной температуре и прокаливание при 873 – 973К) получить оксид титана  $TiO_2$  [4].

Поскольку  $TiCl_4$  является не единственным хлоридом титана, а в процессе хлорирования может использоваться не только простое вещество хлор, то для разработки технологии необходимо выполнить термодинамический анализ реакций взаимодействия титана с наиболее распространёнными хлор-реагентами (для начала - в стандартных условиях) и в интервале температуры пирометаллургических процессов.

В металлургии титана на стадии хлорирования титансодержащего сырья используют сам хлор [3,5], а температуру в реакторах поддерживают в интервале 700 - 1300К. Но мы не исключаем и выход процесса за эти температурные рамки. Поэтому и термодинамический анализ реакций хлорирования титана начинаем с реакций взаимодействия титана с хлором ( $Cl_2$ ), а также с хлороводородом ( $HCl$ ), как возможной альтернативы хлору в интервале температур 298,15 - 1500К. При этом необходимо учесть, что титан образует хлориды:  $TiCl$ ,  $TiCl_2$ ,  $TiCl_3$ ,  $TiCl_4$ , термодинамические свойства которых в различных стандартных состояниях известны в зависимости от температуры [6].

В настоящей работе с целью определения термодинамических факторов, способствующих образованию  $TiCl_{4газ}$  в процессе высокотемпературного хлорирования титанового лома проведена термодинамическая оценка вероятности протекания в стандартных условиях следующих реакций (все реакции записывали на 1 моль  $Cl_2$ ):



Термодинамические характеристики реакций [(1) – (8)], (2a), (3a), (6a), (7a) в стандартных условиях  $[\Delta_r H^\circ(T), \Delta_r S^\circ(T), \text{а затем } \Delta_r G^\circ(T)]$ , необходимые для оценки хлорирующей способности хлора и хлороводорода по отношению к титану рассчитывали известными методами [7] по термодинамическим свойствам  $[[H^\circ(T) - H^\circ(298,15 \text{ K})], S^\circ(T), \Delta_f H^\circ(298,15 \text{ K})]$  реагентов Ti [8];  $\text{H}_2, \text{Cl}_2, \text{HCl}$  [9];  $\text{TiCl}, \text{TiCl}_2, \text{TiCl}_3, \text{TiCl}_4$  [6]. В соответствии с интересующим нас интервалом температур и свойствами хлоридов титана выбирали стандартные состояния для титана и его хлоридов:  $\text{Ti}_{\text{ТВ}}$  с полиморфным превращением при 1156K;  $\text{TiCl}_{\text{газ}}; \text{TiCl}_{4\text{газ}}; \text{TiCl}_{2\text{ТВ}}$  ( $T_{\text{пл}} = 1308\text{K}$  [10]), может возгоняться при нагревании. Трихлорид  $\text{TiCl}_3$ , твёрдый при комнатной температуре, затем возгоняется при нагревании до 725K по данным [10] или 1104K [11]. Поэтому термодинамические свойства реакций, идущих с образованием хлоридов  $\text{TiCl}_2, \text{TiCl}_3$ , рассчитывали для двух стандартных состояний:  $\text{TiCl}_{2\text{ТВ}}$  (2), (6) и  $\text{TiCl}_{2\text{газ}}$  (2a), (6a);  $\text{TiCl}_{3\text{ТВ}}$  (3), (7) и  $\text{TiCl}_{3\text{газ}}$  (3a), (7a).

Стандартные энергии Гиббса реакций (1) – (8), (2a), (3a), (6a), (7a) приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Стандартные энергии Гиббса реакций (1) – (8), (2a), (3a), (6a), (7a) в зависимости от температуры

Реакция	$\Delta_r G^\circ(T)$ , кДж при T, K								
	298,15	500	700	900	1100	1156	1300	1400	1500
(1)	245,0	202,3	160,7	119,6	79,2	68,0	40,4	21,2	2,2
(2)	-465,9	-432,9	-401,4	-370,6	-340,5	-332,1	-310,5	-295,7	-281,1
(2a)	-244,6	-249,4	-254,0	-258,3	-262,4	-263,4	-265,5	-266,9	-268,3
(3)	-436,4	-406,8	-378,5	-351,0	-324,1	-316,6	-297,2	-283,9	-270,7
(3a)	-314,7	-288,0	-262,2	-237,3	-213,2	-206,6	-189,5	-177,9	-166,4
(4)	-363,4	-351,2	-339,3	-327,4	-315,5	-312,2	-303,4	-297,3	-291,2

Продолжение таблицы 1

Реакция	$\Delta_r G^\circ(T)$ , кДж при T, K								
	298,15	500	700	900	1100	1156	1300	1400	1500
(5)	435,6	396,6	358,2	319,9	282,0	271,6	245,7	227,8	209,9
(6)	-275,3	-238,6	-203,9	-170,3	-137,6	-128,5	-105,2	-89,2	-73,4
(6a)	-54,0	-55,1	-56,5	-58,0	-59,5	-59,8	-60,2	-60,4	-60,6
(7)	-245,8	-212,4	-181,0	-150,7	-121,2	-113,0	-91,9	-77,4	-63,0
(7a)	-124,1	-90,8	-59,4	-29,1	0,4	8,6	29,7	44,2	58,6
(8)	-172,8	-156,9	-141,8	-127,1	-112,7	-108,6	-98,1	-90,8	-83,5

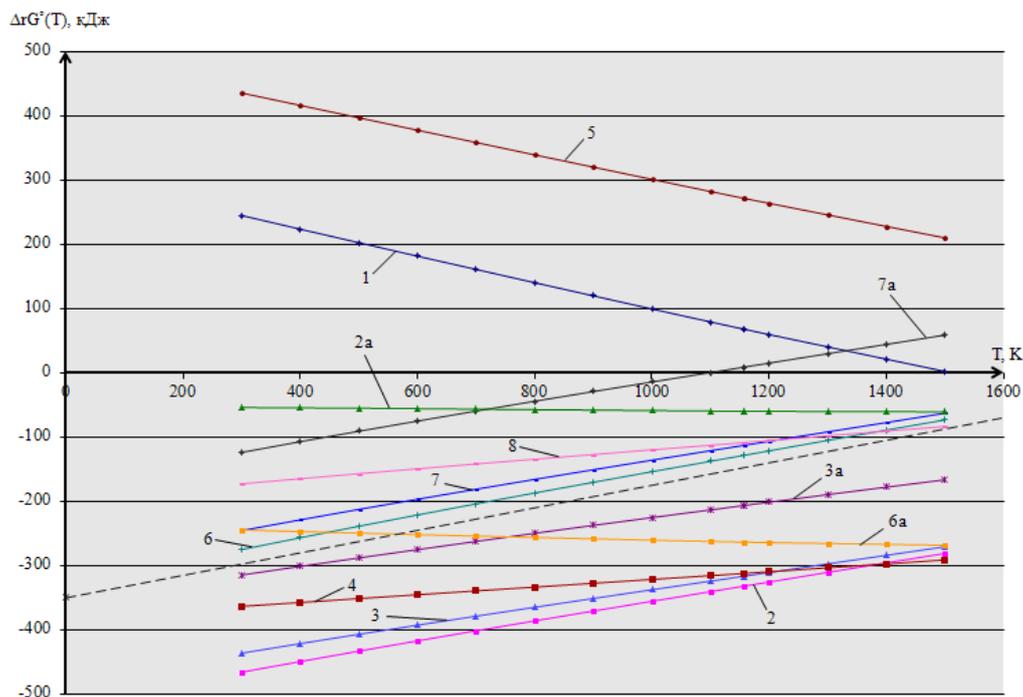


Рисунок 1 – Зависимость стандартных энергий Гиббса реакций (1) – (8), (2a), (3a), (6a), (7a) от температуры

По относительному расположению графиков на рисунке можно сделать следующие выводы.

Образование хлорида  $TiCl_{газ}$  не является термодинамически вероятным ни в процессе хлорирования титана хлором [ $\Delta_r G^\circ(T)(1)$ ] > 0, ни в процессе хлорирования хлороводородом [ $\Delta_r G^\circ(T)(5)$ ] > 0.

Хлор отличается более высокой хлорирующей способностью по сравнению с хлороводородом, однако оба хлор-реагента можно использовать в процессе хлорирования. Область на рисунке, объединяющую термодинамически вероятные реакции, можно условно разделить (пунктирная линия) на две зоны: (I) и (II). В зоне (I) – графики с более отрицательными значениями  $\Delta_r G^\circ(T)$  для реакций (2) – (4), (2a), (3a); в зоне (II) – графики для реакций (6) – (8), (6a), (7a) с менее отрицательными значениями  $\Delta_r G^\circ(T)$ .

Для каждого из хлор-реагентов наиболее вероятными из шести реакций являются реакции с получением твёрдых хлоридов  $TiCl_{2тв}$  и  $TiCl_{3тв}$ . Однако

при испарении  $TiCl_{2ТВ}$  и  $TiCl_{3ТВ}$ , более вероятными становятся реакции, в результате которых получается  $TiCl_{4газ}$ . Из рисунка видно, что реакция (4) термодинамически более вероятна, чем (2а) и (3а), а реакция (8) – чем (6а) и (7а).

При приближении температуры к 1300К, термодинамическая вероятность получения в результате хлорирования титана в стандартных условиях всех трёх хлоридов  $TiCl_{2ТВ}$ ,  $TiCl_{3ТВ}$  и  $TiCl_{4газ}$  становится одинаковой, а, начиная с 1400К,  $TiCl_{4газ}$  переходит, среди них, на первое место по термодинамической вероятности получения, но только до температуры 1750 К (экстраполяция данных на графике), после которой более вероятным становится получение  $TiCl_{2газ}$ . С целью получения  $TiCl_{4газ}$  процесс хлорирования необходимо проводить в интервале температур  $1400 < T < 1700$  К.

*Выводы.* С целью определения термодинамических факторов, способствующих образованию  $TiCl_{4газ}$  в процессе высокотемпературного хлорирования титанового лома проведена термодинамическая оценка вероятности протекания в стандартных условиях двенадцати реакций (6 реакций титана с хлором, 6 – с хлороводородом; все реакции записывали на 1 моль  $Cl_2$ ). Для хлоридов  $TiCl_2$ ,  $TiCl_3$  использовали термодинамические данные для двух стандартных состояний в одном и том же интервале температур: твёрдого и газового. Хлор отличается более высокой хлорирующей способностью по сравнению с хлороводородом, однако оба хлор-реагента можно использовать в процессе хлорирования. Для каждого из хлор-реагентов наиболее вероятными из шести реакций вплоть до температуры 1400К являются реакции с получением твёрдых хлоридов  $TiCl_{2ТВ}$  и  $TiCl_{3ТВ}$ , а не  $TiCl_{4газ}$ . Однако при испарении  $TiCl_{2ТВ}$  и  $TiCl_{3ТВ}$ , в этом же интервале температуры более вероятными становятся реакции, в результате которых получается  $TiCl_{4газ}$ . При приближении температуры к 1300 К, термодинамическая вероятность получения в результате хлорирования титана в стандартных условиях всех трёх хлоридов  $TiCl_{2ТВ}$ ,  $TiCl_{3ТВ}$  и  $TiCl_{4газ}$  становится одинаковой, а, начиная с 1400К,  $TiCl_{4газ}$  переходит на первое место по термодинамической вероятности получения, но только до температуры 1750К, после которой более вероятным становится получение  $TiCl_{2газ}$ . С целью получения  $TiCl_{4газ}$  процесс хлорирования необходимо проводить в интервале температуры  $1400 < T < 1700$ К.

#### Библиографический список

1. Полмеар Я. Лёгкие сплавы: от традиционных до нанокристаллов / Я. Полмеар. – Москва: Техносфера, 2008. – 464 с.
2. Титановые сплавы. Металлургия титановых сплавов. - Москва: Металлургия, 1980. – 464 с.
3. Лучинский Г.П. Химия титана / Г.П. Лучинский. – Москва: Химия, 1971. – 471 с.
4. Горюшкин В.Ф. Газовая коррозия титана в тетрахлориде углерода / В.Ф. Горюшкин, Ю.В. Бендре, Я.В. Тонкушин, Н.А. Соскова, Е.А. Будовских

// Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - 2013. - № 1(3). - С. 25 - 28.

5. Химическая технология титана / В.А. Резниченко [и др.]; отв. ред. А.И. Манохин. – Москва : Наука, 1983. – 245с.

6. NIST-JANAF Thermochemical Tables 1985. Version 1.0. Data compiled and evaluated by M.W. Chase, Jr., C.A. Davies, J.R. Dawney, Jr., D.J. Frurip, R.A. Mc Donald, and A.N. Syvernd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kinetics.nist.gov/janaf>.

7. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочник. Т. 1. Кн. 1/ Под ред. В.П. Глушко, Л.В. Гурвича и др. – М.: Наука, 1978. С. 22.

8. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочник. Т. IV. Кн. 2 / Под ред. В.П. Глушко, Л.В. Гурвича и др. – М.: Наука, 1982. С. 93.

9. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочник. Т. I. Кн. 2/ Под ред. В.П. Глушко, Л.В. Гурвича и др. – М.: Наука, 1978. 326с.

10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочник. Т.VII. Кн.1 / Под ред. В.П. Глушко, Л.В. Гурвича и др. – М.: Наука, 1974. 343с.

11. JANAF Thermochemical Tables. 2-nd edition / Stull D, Prophet M. – Washington : US NBS, 1971. P. 1141.

## II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.233

### ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «BLAST MAKER»

**Мишин С.А., Попроцкий Ю.Н.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.mishin.1996@gmail.co*

В данной статье рассматривается программно-технический комплекс «Blast Maker» это система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах. Разработана она при поддержке МИФИ и Горной школы Парижа. «Blast Maker» позволяет проектировать БВР с оптимальными параметрами и достигать высокого качества дробления горных пород. В данной статье мы рассмотрим достоинства и недостатки, а так же определим все технические параметры, открываемые при использовании данной системы.

Ключевые слова: программно-технический комплекс, буровзрывные работы, современные информационные технологии, горное предприятие, «Blast Maker», система автоматизированного проектирования.

Горному предприятию, как и любому другому очень важно систематизировать все производственные процессы. Будь то простой автотранспорта или малые объемы вскрыши, цель у них одна – свести затраты к минимуму и если это возможно увеличить производительность. С большинством задач возникающих в процессе БВР программно-технический комплекс «Blast Maker» реализует с помощью современных информационных технологий и сочетает в себе информационно аналитический программный пакет и программно-технические средства сбора, обработки и передачи данных в полевых условиях. Все это позволяет достичь рассматриваемый нами программно-технический комплекс «Blast Maker».

В рассматриваемом нами комплексе сочетаются, такие положительные параметры как: автоматизация всего производственного процесса, контроль за бурением, качественное бурение и проектирование, увеличение скорости проектирования, снижение разубоживания, сведение влияния человеческого фактора к минимуму, увеличение производительности, а так же снижение затрат как на буровые, так и на взрывные работы.

Хотелось бы вспомнить одну из первых лекций введения в специальность по открытым горным работам, где говорилось об основных способах отбойки горных пород. Основным аспектом добычи крепких пород являются

буровзрывные работы, а проектирование этого процесса очень трудоемкий процесс и требует высокой точности. Геологическая разведка в обычных программах, не дает полную информацию, а значит шаг сетки разведочных скважин становится слишком велик. Как ни трудно это признавать, но при отбойке сложных структурных массивов, проектировщики завышают расход бурения и взрывчатых материалов в среднем на 20-25 % [1].

С приходом в горные разработки современных технологий можно и нужно избежать таких затрат. Что в первую очередь необходимо для более детального прогнозирования БВР? Использование информации полученной в процессе обуривания взрываемого блока буровыми станками. Он хорош тем, что не нарушает существующего на карьерах режима работ и конечно же не требует затрат на проведение дополнительных геофизических работ.

Оперативный сбор данных с буровых станков будет осуществлять прибор «Кобус». Он имеет приличное множество необходимых датчиков которые и собирают всю необходимую информацию, среди которых, датчик глубины, датчик вращения, датчик осевого давления, датчик тока, датчик напряжения, датчик давления воды. И передает все данные в программу «Blast Maker», которая в свою очередь обрабатывает их и позволяет контролировать весь процесс в онлайн режиме [3].

Информационную основу всей системы «Blast Maker» осуществляет цифровая модель месторождения. Это динамическая база данных, её физико-механические свойства, которые постоянно редактируются поступающими с бурового станка данными. Программа позволяет автоматически прогнозировать параметры соседних элементов цифровой модели, что повышает достоверность информации. Помимо данных о содержании полезных ископаемых, цифровая модель обрабатывает данные по основным технологическим и физико-механическим свойствам горного массива пород.

Что же необходимо для полного его внедрения в производственный процесс? Для начала необходимо установить приборы «Кобус» на буровые станки, далее установить систему «Blast Maker» на используемое оборудование, будь то планшет или ПК. После этого будет происходить сбор данных с Кобусов и ввод технологических параметров. В конце остается настройка моделей, взаимодействие с приятным ПО, разработка новых модулей и печать документов [3].

Его огромным плюсом является полное планирование горных разработок с учетом расположения рудного тела, спроектировать транспортные коммуникации и определить объем вскрышных работ. При этом наглядно увидеть поверхность карьера в различных масштабах и ракурсах, не забывая о возможностях на месте проектировать технологические процессы, в том числе буровзрывные работы [2].

Инженер-проектировщик достаточно быстро и легко сможет рассмотреть различные варианты проекта на взрыв и выбрать наиболее оптимальный.

Полномасштабное внедрение системы позволит значительно умень-

шить затраты на БВР, повысить качество взрывных работ, оперативность управления оборудованием и процессами на карьере.

Результаты применения программно-технологического комплекса «Blast Maker» для проектирования параметров БВР на примере разреза «Тугнуйский».

В промышленную эксплуатацию система была принята в январе 2012 года, адаптация под потребности отдела геологии и маркшейдерского отдела завершилась в июне того же года.

Эффект от применения ПТК «Blast Maker» был оценен на серии опытных взрывов, вот результат одного из них (таблица 1).

Как видно из таблицы, только на 3-ем блоке экономия ВВ составила свыше 16,5 тонн.

Сравнение затрат на подготовку и выполнение вскрышных работ на карьере до и после внедрения ПТК показывает, что уменьшение количества скважин и расхода (ВВ) за счет оптимизации расстановки скважин и рационального распределения скважинных зарядов составляет по блокам от 3 до 7 %, повышение производительности экскаваторов за счет качественного дробления породы и исключения появления негабаритов - до 6%, в значительной степени уменьшена непроработка подошвы уступа и разубоживание угля в связи с сохранением кровли пласта.

Таблица 1 - Оценка серии опытных взрывов

Показатели	Блок №1		Блок №2		Блок №3	
	аналог	проект	аналог	проект	аналог	проект
Удельная энергоемкость бурения по блоку, МДж/м <sup>3</sup>	31,5		32,5		33,1	
Сетка скважин, м	6×6		6×6		6×6	
Объемы взрываемого блока, м <sup>3</sup>	59050,0	59050,0	164000,0	164000,0	108000,0	108000,0
Гранулит Д-5, кг	8040,0	8580,0	34720,0	34720,0	23840,0	29945,0
Эмульсолит П, кг	26130,0	24570,0	56420,0	56420,0	58110,0	58137,0
Эмулан А-70, кг	34840,0	25900,0	117900,0	117900,0	64312,6	41641,0
Общий расход ВВ, кг	69010,0	59050,0	209040,0	209040,0	146262,6	129723,0
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	1,2	1,0	1,3	1,3	1,4	1,2

Таким образом, большинство проблем, связанных с качеством дробления массива горных пород массовым взрывом, решены при внедрении комплекса.

Помимо прямой экономии затрат на вскрышные работы, внедрение ПТК сопровождается:

- повышением производительности труда специалистов при проектировании буровзрывных работ за счет уменьшения доли ручного труда при выполнении рутинных и трудоемких операций;

- повышением эффективности и оперативности проектирования массовых взрывов за счет осуществления непрерывного картирования карьерного поля по буримости и взрываемости пород, обеспечения оперативного доступа специалистов к статистической и аналитической информации, хранящейся в базах данных комплекса, подготовки сводных отчетов для соответствующих подразделений и служб предприятия о ходе выполнения БВР;

- повышением производительности труда при бурении скважин за счет непрерывного мониторинга режимов бурения и наведения на скважину по высокоточной GPS;

- повышением эффективности использования бурового оборудования и оснастки за счет внедрения средств объективного контроля - мониторинга использования рабочего времени и расхода топлива.

Внедрение комплекса потребовало от предприятия также некоторой перестройки сложившейся практики ведения проектных.

#### Библиографический список

1. Буровзрывные работы на карьерах / М. Ф. Друкованый и др. - М.: Недра, 1990. – 568 с.
2. . Ржевский В.В. Открытые горные работы/ М. Недра, 1988. Ч.1, Ч. 2.:- 631 с.
3. Информационные технологии на производстве [Электронный ресурс].- Режим доступа: // Blast Maker / URL: <http://www.blastmaker.kg>.

УДК 622.6

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНОЙ ПЕРЕДАЧИ

**Букарев А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Иванов А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [andrey.buka.92@mail.ru](mailto:andrey.buka.92@mail.ru)*

В данном исследовании представлена история развития систем электромагнитной фрикционной передачи. В последнее время появилось большое количество исследований и разработок по развитию таких систем. Целью данного исследования является обобщение путей развития систем электромагнитных функциональных передач от начала до современности, чтобы дать читателям некоторое представление о преимуществах и недостатках,

проблемах, возможностях и технологической готовности.

Ключевые слова: электромагнитная фрикционная передача, магнитный модулятор потока, постоянный магнит.

*Введение.* Зубчатые шестерни и механические редукторы широко используются в том спектре промышленной индустрии, где частота вращения входного источника должна быть согласована с требуемой частотой вращения выходной нагрузки. Механические редукторы чаще используются для этой цели, но они подлежат износу, могут перегреваться, часто повреждаются при чрезмерном крутящем моменте и сложны в эксплуатации.

В последнее время исследовательские институты и промышленность уделяют большое внимание магнитным редукторам (МР). Наблюдается увеличение исследовательской активности после 2000 года и особенно в последнем десятилетии. Это предполагает, что непрерывное технологическое развитие механических редукторов сделает возможным их скорое применение в промышленности.

Концепция МР была предложена более века назад. Данное исследование ставит своей целью предоставить краткую и обобщенную информацию о важной исторической деятельности, а так же проанализировать текущий статус и будущее развитие систем электромагнитной фрикционной передачи. В нижеследующих разделах исследования и разработки, представленные до и после 2000 года, классифицированы как ранние и недавние соответственно.

*Ранние разработки систем электромагнитной фрикционной передачи.* Первые упоминания о системах электромагнитной фрикционной передачи восходят к 1901 году, когда Армстронг изобрел электромагнитную прямозубую цилиндрическую зубчатую передачу [1]. Фундаментальный принцип работы этой передачи схож с работой традиционного механического редуктора за исключением того, что сила/передача крутящего момента, вызываемая сцеплением зубьев, заменена бесконтактным магнитным взаимодействием. Ранние разработки магнитных редукторов в основном сосредоточены на прямозубных [2] и червячных [3] типах конфигурации. По существу, магнитный редуктор может быть разработан согласно любой доступной конфигурации его механического профиля. Рисунок 1 иллюстрирует соответствующие конфигурации между механическими и магнитными редукторами.

Это успешный момент первых разработок МР. Практически в большинстве ранних конфигураций МР интенсивность крутящего момента не может сравниться с интенсивностью механического профиля. Исследования магнитного взаимодействия показали, что более высокая передача момента может быть достигнута при сцеплении большого количества магнитных полюсов [4]. Это означает, что производство МР от простой аналогии механических редукторов ведет к разработке более низких конструкций.

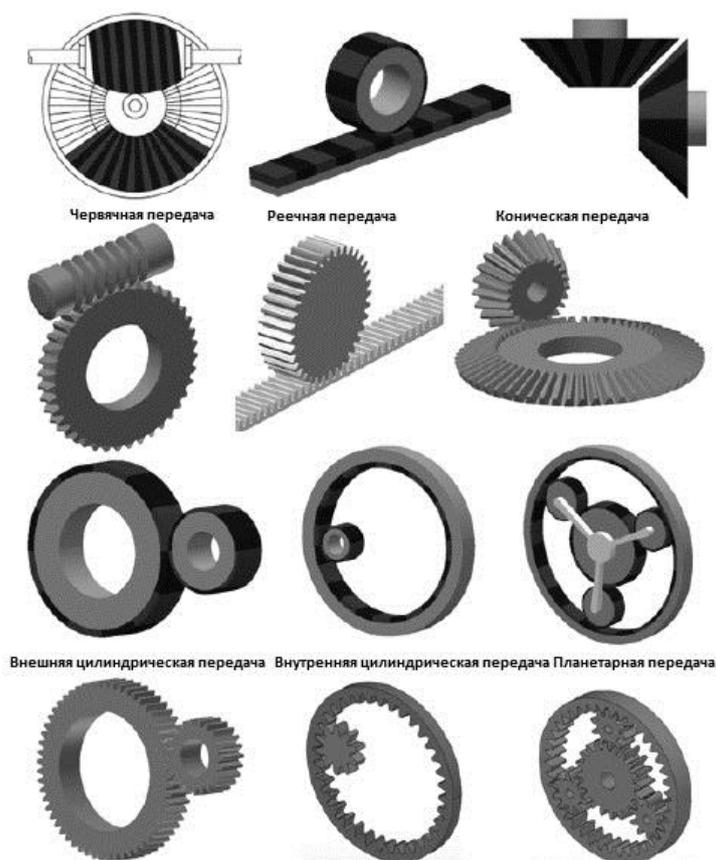


Рисунок 1 – Механические и магнитные редукторы

Примечателен концепт МР, представленный [5] в поздних 1960-х, который имеет три концентрических части, то есть внутренний магнитный ротор, внешний магнитный ротор и модулятор потока между ними. Дальнейшее изучение новых конфигураций МР было проведено Лэнгом [6], Аккерманом и другими [7]. Первый представил различные формы и расстановки модулятора, в то время как последний предложил простую структуру модулятора со связующими мостами. Кроме того, Аккерман и другие [7] описали математические связи между числом пар полюсов постоянного магнита (ПМ) ротора и единицами модулятора. Уникальным преимуществом этой конфигурации МР является то, что ПМ участвуют в передаче крутящего момента, что приводит к его высокой интенсивности.

*Недавние разработки систем электромагнитной фрикционной передачи.* В последние десятилетия интерес к МР возрос. Это может быть связано с разумными ценами на ПМ с высокой энергоемкостью и, что более важно, доступностью новых конфигураций, которые позволяют МР конкурировать с традиционными механическими редукторами с точки зрения интенсивности крутящего момента.

*Конфигурации магнитных редукторов с интенсивным крутящим моментом.* Как показано на рисунке 2, среди недавно предложенных конфигураций МР наиболее значимыми являются концентрические, гармонические и планетарные магнитные редукторы.

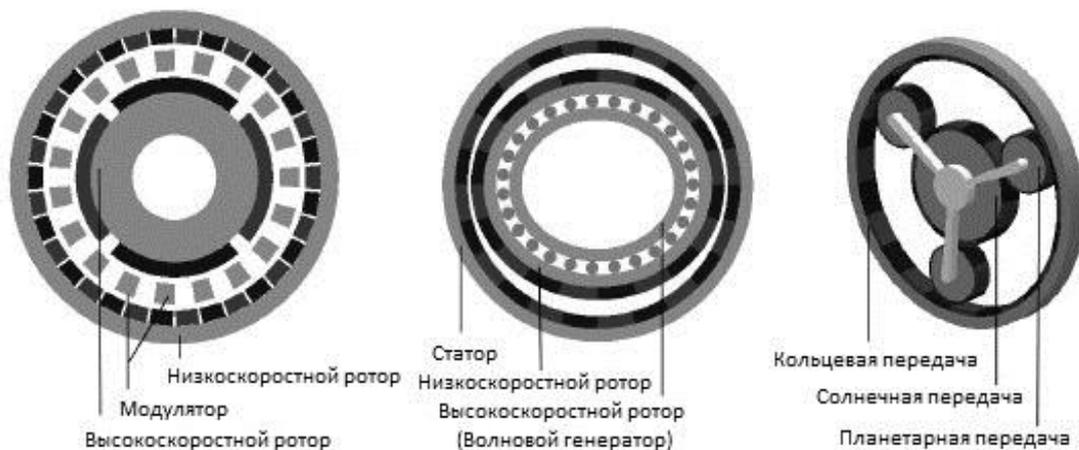


Рисунок 2 – Концентрические, гармонические и планетарные магнитные редукторы

Не смотря на то, что описание концентрического МР можно увидеть уже в раннем патенте Мартина [5], возможность высокого крутящего момента была впервые обнаружена Аталла и другими лишь в 2001 году [8]. Основной принцип работы концентрического МР заключается в том, что полюса с большой магнитной проницаемостью расположенные между внешним и внутренним роторами модулируют магнитное поле так, что каждый ротор «видит» синусоидальную рабочую область, соответствующую числу его полюсов. Число пар полюсов внутреннего высокоскоростного и внешнего низкоскоростного роторов,  $P_h$  и  $P_l$ , и число сегментов модулятора,  $q_m$  связаны следующим образом [9]:

$$q_m = P_h + P_l \quad (1)$$

При использовании стационарного модулятора, передаточное число  $G_r$  определяется следующим образом:

$$G_r = \frac{P_l}{P_h} = \frac{q_m - P_h}{P_h} = \frac{q_m}{P_h} - 1 = -\frac{\omega_h}{\omega_l} \quad (2)$$

где  $\omega_h$  и  $\omega_l$  – передаточное отношение высокоскоростного и низкоскоростного роторов, соответственно. Знак «минус» означает, что два ротора вращаются в разных направлениях.

Если внешний ротор неподвижен, то передаточное число между высокоскоростным ротором и вращающимся модулятором [9] вычисляется следующим образом:

$$G_r = \frac{q_m}{P_h} = \frac{\omega_h}{\omega_l} \quad (3)$$

где оба ротора вращаются в одном направлении, и может быть осуществлено более высокое передаточное отношение.

Гармонические магнитные редукторы имеют общий с механическими магнитными редукторами принцип действия. Этот принцип был впервые

предложен в [10], в то время как его фундаментальная теория была ясно изложена и продемонстрирована в [11]. Действие магнитного гармонического редуктора опирается на механизм производства изменяющегося во времени, синусоидного изменения воздушного зазора между гибким ротором с низкоскоростным ПМ и статором с ригидным ПМ [11]. Явными преимуществами гармонических МР являются высокие передаточные отношения, высокая интенсивность и плавность крутящего момента передачи [12]. Передаточное отношение гармонической фрикционной передачи вычисляется по следующей формуле [11]:

$$G_r = (-1)^{k+1} \frac{p_w}{p_l} \quad (4)$$

где  $p_l - Pl$  – число пар полюсов ПМ в низкоскоростном роторе,

$P_w$  – количество синусоидальных циклов между низкоскоростным ротором и статором. Число пар полюсов ПМ в статоре должно достигать  $P \pm P_w$  для максимальной передачи момента.

Применение на практике гармонического МР осложняется тем, что требует использования низкоскоростного ротора с гибким ПМ. Были предложены альтернативные конфигурации, такие как использование жесткого и несимметрично вращающегося низкоскоростного ротора [14], а так же двухэтапного устройства [11-12]. Однако структурная сложность этого типа МР остается сдерживающим фактором для дальнейшей эксплуатации этой конфигурации.

Планетарные МР получили некоторую долю внимания, а их применение в устройствах с инерционной переменной было продемонстрировано в [14] Подобно их механическим профилям, передаточное отношение планетарных МГ со стационарным зубчатым кольцом определяется по формуле:

$$G_r = \frac{q_s}{p_s + p_r} \quad (5)$$

где  $p_r$  и  $p_s$  - пары полюсов на магнитном зубчатом кольце и солнечной шестерне соответственно.

Отношение полюсных пар между зубчатым кольцом, солнечной шестерней и планетарной шестерней вычисляется следующим образом:  $p_s + 2p_p = p_r$ . Достоинства планетарных МГ включают в себя три режима передачи, высокие коэффициенты передачи и высокую интенсивность крутящего момента. Однако их механическая конфигурация также очень сложна.

*Системы электромагнитной фрикционной передачи в настоящее время.* Интенсивность крутящего момента различных систем электромагнитной фрикционной передачи с передачей механических редукторов в таблице 1. Ясно, что интенсивность крутящего момента конфигураций МР обещает конкуренцию с механическими редукторами. Среди трех конфигураций, концентрический МР устроен наименее сложно. Кроме того, концентрическое расположение имеет особые преимущества в плане вариантов интеграции машинного оборудования. Этим можно объяснить, почему концентри-

ческий тип МР получил наибольшее внимание и находится в центре исследований и разработок.

Таблица 1 – Интенсивность крутящих моментов различных передаточных механизмов

Тип передачи	(kNm/m <sup>3</sup> )
Механическая прямозубая цилиндрическая зубчатая передача	100-200
Механическое геликоидальное зубчатое колесо (3G)	50-150
Магнитная червячная передача	<2
Магнитная коническая зубчатая (фрикционная) передача	<5
Магнитная прямозубая цилиндрическая зубчатая передача	10-20
Магнитная гармоническая передача (1G)	140-180
Тип передачи	(kNm/m <sup>3</sup> )
Магнитная гармоническая передача (2G)	75
Магнитная планетарная передача	≈100
Концентрическая магнитная передача	70-150
Магнитная прямозубая цилиндрическая зубчатая передача	10-20

*Вывод.* В данном исследовании была рассмотрена история развития систем электромагнитной фрикционной передачи. МГ обладают высокой эффективностью и надежностью, встроенной защитой от перегрузки и почти не требуют обслуживания. Технология систем электромагнитной фрикционной передачи все еще находится в начальном состоянии развития и требует множества испытаний на практике до того, как будет готова к выходу на рынок.

#### Библиографический список

1. C. G. Armstrong, Power transmitting device - 1901, US Pat. 687 292.
2. Simulation study of the magnetic coupling - 1997, IEEE T-MAG, Vol. 33(2), P. 2206.
3. S. Kikuchi, Worm gear using permanent magnet, IEEE T-MAG, Vol. 29(6), P. 2923
4. R. Hornreich, Synchronous torque couplers - 1978, IEEE T-MAG, Vol. 14(5), P.800.
5. T. B. Martin, Magnetic transmission-1968, US Pat. 3 378 710.
6. N. Laing, Magnetic transmission-1972, US Pat. 3 645 650.
7. B. Ackermann, Magnetic drive arrangement - 1997, US Pat. 5 633 555.
8. K. Atallah, D. Howe, A novel high-performance magnetic gear - 2001, IEEE T-MAG, Vol. 37(4), P. 2844-2846.
9. K. Atallah et al., Design, analysis and realization of a high-performance magnetic gear - 2004, IEE Proc. Electra, Vol. 151(2), P.135-143.
10. G. Schuesler, J. Lindner, Eccentric drive having magnetic torque transmission - 1995, DE Pat. 19 944 428 441.
11. J. Rens et al., A novel magnetic harmonic gear - 2007, in IEEE Int.

Electric Machines Drives Conf. (IEMDC), Vol. 1, P.698-703.

12. A novel magnetic harmonic gear - 2010, IEEE T-IA, Vol. 46(1), P. 206-212.

13. F. Jorgensen et al., The cycloid permanent magnetic gear - 2008, IEEE T-IA, Vol. 44(6), P.1659-1665.

14. C.-C. Huang et al., Development of a magnetic planetary gearbox - 2008, IEEE T-MAG, Vol. 44(3), P.403-412.

УДК 622.6

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ОПЕРАТИВНОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ  
В УСЛОВИЯХ ОАО ШАХТА «РАСПАДСКАЯ»**

**Потлог М.М.**

**Научный руководитель: доцент Столбов С.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: rector@sibsiu.ru*

Проведен анализ существующих автоматизированных систем оперативного диспетчерского управления и сделан выбор для автоматизации контроля и управления комплектными распределительными высоковольтными устройствами типа КРУВ-6Р и КРУВ-6М на базе технических устройств типа «Деконт-Ех» и «Деконт» «Компании ДЭП».

Ключевые слова: высоковольтная ячейка, контроллер, сервер, автоматизированное рабочее место, энергодиспетчер.

В настоящее время на предприятиях добычи, транспорта, хранения, переработки угля появляется необходимость в автоматизации систем, не относящихся к основной технологии. К таким системам относится система энергоснабжения. Для ее модернизации предлагается автоматизированная система оперативного диспетчерского управления АСОДУ «ЭНЕРГО» комплектным распределительным устройством КРУВ-6М на ОАО «Распадская».

АСОДУ «ЭНЕРГО» является подсистемой, интегрированной в общую многофункциональную систему безопасности ОАО «Распадская». АСОДУ создается на базе системы устройств типа «Деконт-Ех» и «Деконт» «Компании ДЭП» [4].

Выбор именно этой системы связан с тем, что данный программно-аппаратный комплекс является специализированным для построения систем сбора данных и диспетчерского управления распределенными энергетическими объектами [1,4].

Проектом предложено усовершенствование АСОДУ ЦПП-6 №1; ЦПП-6 №2; РПП-6 4-6; РПП-6 4-7; РПП-6 4-9; РПП-6 4-10; РПП-6 гор.+24м.; РПП-

6 гор.-68м; на ОАО «Распадская» на базе современных технических устройств типа программно-технического комплекса (ПТК) Деконт-Ех.[3]

В состав входит следующее оборудование, подлежащее автоматизированному контролю и телеуправлению [2]:

- высоковольтная ячейка образца КРУВ-6М, с встроенным контроллером, связь по RS485,

- высоковольтная ячейка образца КРУВ-6Р, с встроенным контроллером, связь по RS485.

Контроль и управление за объектами подземного энергоснабжения осуществляется энергодиспетчером на базе оборудования АСОДУ.

Разрабатываемая система представляет собой программно-технический комплекс, включающий в себя:

- оборудование (контроллеры и средства связи), установленное в горных выработках шахты;

- линии связи, проложенные в горных выработках, с возможным дублированием каналов для исключения потери связи с верхним уровнем при обрыве одного из каналов;

- два сервера баз данных, с «горячим» резервированием;

- оборудование диспетчерской станции верхнего уровня.

Информация о состоянии энергетического оборудования распределительных пунктов (КРУВ-6) объединяется на верхнем уровне АСОДУ.

Исполнительным элементом управления является комплектное распределительно устройство типа КРУВ-6М, КРУВ-6Р, далее ячейка, на базе которого собраны групповые распределительные подстанции ЦПП и РПП.

АСОДУ ОАО «Распадская» создается с целью повышения производительности шахты (увеличение коэффициента использования ГШО) за счет резкого снижения времени простоев горно-шахтного оборудования, а именно снижения промежутка времени на определение причин отключения потребителей энергосистемы [5].

Структура комплекса технических средств представлена тремя уровнями:

Нижний уровень:

- ячейки КРУВ-6, установленные в распределительном пункте;

- подземные вычислительные устройства МК-Ех, блоки сопряжения интерфейсных связей, выполненные на базе технических устройств типа «Деконт-Ех» «Компании ДЭП»;

Верхний уровень:

- АРМ энергодиспетчера АСОДУ, который позволяет осуществить все функции по отображению, сигнализации, регистрации и оперативному управлению КРУВ-6.

Исходя из вышеизложенного следует, что комплекс технических средств представляет собой иерархическую структуру, состоящую из аппаратно и программно совместимых технических средств, объединенных сред-

ствами передачи данных. Комплекс технических средств удовлетворяет требованиям правил безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03.

Рабочий компьютер (Автоматизированное рабочее место – АРМ) энергодиспетчера является основным органом управления, который по интерфейсной сети Ethernet связан с вычислительными устройствами МК-Ех, и осуществляет контроль и управление ячейками. Компьютер АРМа энергодиспетчера связан с общешахтной технологической сетью Ethernet.

Основное программное обеспечение, выполняющее все функции сбора, обработки, хранения и управления информацией работает на двух отказоустойчивых серверах, резервирующих друг друга. При выходе из строя одного из серверов, все функции продолжают работать на втором сервере. Программное обеспечение реализовано таким способом, что сохранение архивов происходит на двух серверах и при отказе хранилища одного из них, вся информация сохраняется на втором. Сервера подключены к существующей общешахтной технологической сети Ethernet и находятся в здании АКБ «Распадская».

Подключение энергодиспетчера организовано по клиент-серверной архитектуре. Кроме энергодиспетчера, программное обеспечение позволяет подключать к серверам дополнительные рабочие места руководителей и специалистов с отображением текущей информации о состоянии энергосистемы, без возможности оперативного управления, с иным уровнем доступа к получению и управлению информацией, отличным от уровня доступа энергодиспетчера.

Для обеспечения требований по питанию оборудования АСОДУ от двух независимых фидеров и оборудованию устройством автоматического ввода резерва, а также для оповещения диспетчера о пропадании питания по обоим вводам применен блок резервного питания ExUPS.

На рабочем месте энергодиспетчера органом управления и индикации является автоматизированное рабочее место энергодиспетчера (АРМ), куда входит ПЭВМ с установленным на нем специализированным программным обеспечением. Программное обеспечение выполняется по настройкам, определенным при конфигурировании системы.

В качестве компьютера энергодиспетчера выбран сервер повышенной надежности AquariusE40 S21, с установленной операционной системой Windows Server 2008.

Программа имеет несколько экранов для отображения информации:

сводный экран- обобщенная мнемосхема, отображающая текущее состояние электроснабжения шахты, состояние выключателей каждой ячейки РПП, а также осуществляющая световую и звуковую сигнализацию при возникновении нештатной ситуации;

главный экран РПП- экран, на котором отображается подробное состояние ячеек, входящих в соответствующий РПП, отображаются значения телеизмерений, а также подробное состояние сработавших защит (рисунок 1).

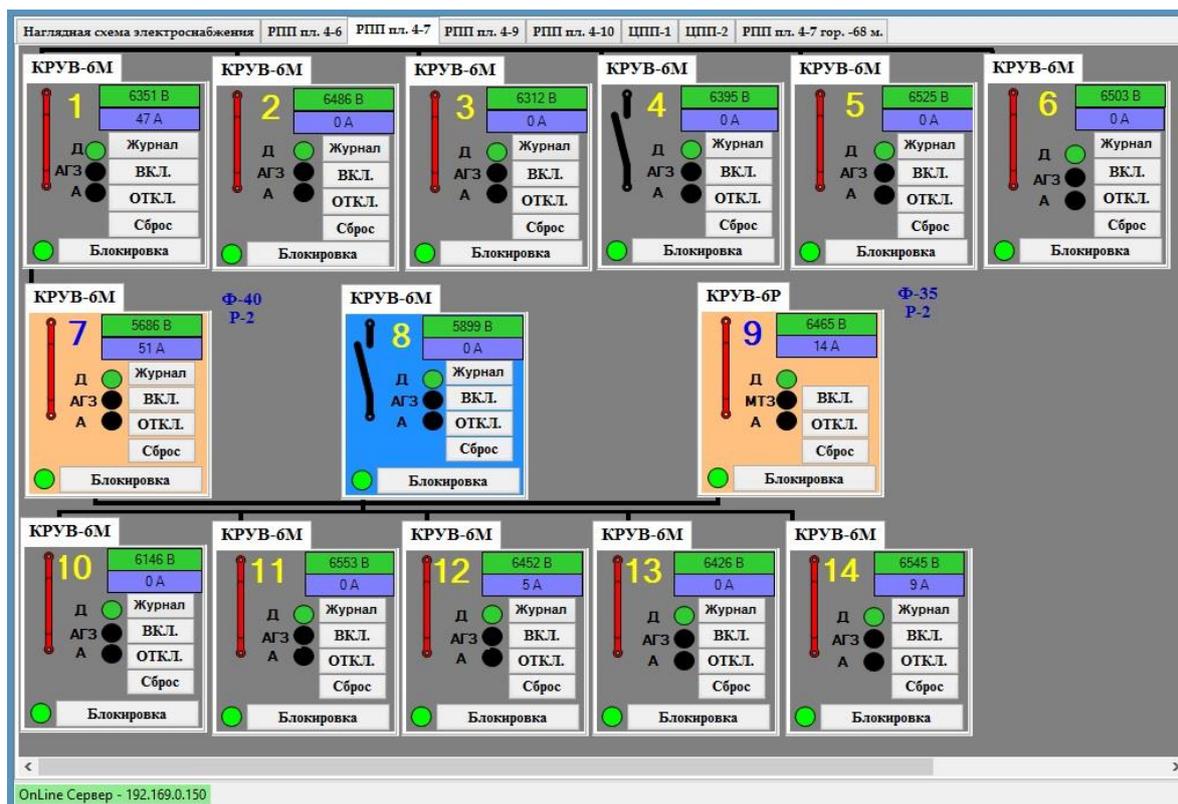


Рисунок 1 - Общий вид мнемосхемы РПП

Автоматизированное рабочее место энергодиспетчера (АРМ-Д) обеспечивает оперативный контроль состояния сигналов контролируемого пункта (КП) электроснабжения. Информация представлена в виде общей схемы и детальных мнемосхем каждого КП. Комплекс ведет непрерывный контроль состояния всех сигналов, целостности линий связи и исправности оборудования телемеханики. При изменении состояния контролируемых сигналов включаются звуковая и цветовая сигнализации.

#### Библиографический список

1. «Правила устройства электроустановок» издание шестое. М: Госэнергонадзор 2003 г.
2. «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» на основании приказа Минэнерго РФ от 13 января 2003 года №6.
3. Информационный, управляющий и измерительный комплекс «Деконт». Руководство по эксплуатации. Взрывозащищенная серия «Деконт-Ех». ДЕПЛ.421457.301РЭ. Москва 2010г.
4. Технические устройства типа «Деконт-Ех». Технические условия. ДЕПЛ.421457.301ТУ. Москва 2007г.
5. ГОСТ 24.104-85. Автоматизированные системы управления. Общие требования.

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕХОДУ МЕХАНИЗИРОВАННЫМ КОМПЛЕКСОМ ГОРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

**Секингер Н.А., Борзых Д.М., Никитина А.М., Риб С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am\_78@mail.ru*

В данной статье предложены технологические решения по переходу механизированным комплексом разрывного нарушения в условиях угольной шахты (Кузбасс). Описаны технологии укрепления угольного массива и боковых пород полимерной смолой «Геофлекс» и применение антипирогенов для предотвращения самовозгорания оставленного разрушенного угля.

Ключевые слова: разрывные нарушения, угольная шахта, механизированный комплекс, полимерная смола, антипирогены.

Практика разработки угольных месторождений показывает, что большинство шахтных полей имеет нарушенный характер залегания угольных пластов и вмещающих пород.

Дизъюнктивная нарушенность обуславливает осложнения при проведении горно-эксплуатационных выработок, влияет на эффективность применения горных машин и механизированных комплексов, а также затрудняет выполнение процессов вентиляции и водоотлива шахт, усложняет планирование горных работ, увеличивает стоимость проведения горных выработок и прочее [1].

Большое количество запасов вблизи нарушений с амплитудой более 5м снимаются с баланса угольных предприятий и списываются «как запасы находящиеся у геологических нарушений», что приводит к оставлению значительных потерь в недрах и дополнительным затратам на перемонтаж механизированного комплекса: проведение новой монтажной камеры, демонтаж и монтаж очистного комплекса.

В настоящее время появились технологии и технические решения позволяющие переходить подобные нарушения с предварительным упрочнением угольного массива и боковых пород [2-4], что предлагается использовать при отработке лавы 5201. На примере АО «шахта имени В.Д. Ялевского» рассмотрен переход разрывного нарушения с амплитудой смещения более 5м с использованием современных технологий по укреплению угольного массива и боковых пород в зоне дизъюнктивных нарушений пласта 52.

Рекомендации по применению полимерной смолы «Геофлекс»:

- диаметр шпуров - 42 - 43 мм;
- длина шпуров - 4,5 м;
- глубина герметизации - 1.0 м;

- радиус зоны упрочнения одним шпуром – 2.0 м.

На основании поперечных разрезов горно-геологического прогноза произведено графическое размещение шпуров для упрочнения пачки угля, оставляемой в кровле при переходе нарушения с учётом рекомендаций по применению полимерной смолы «Геофлекс» (рисунок 1).

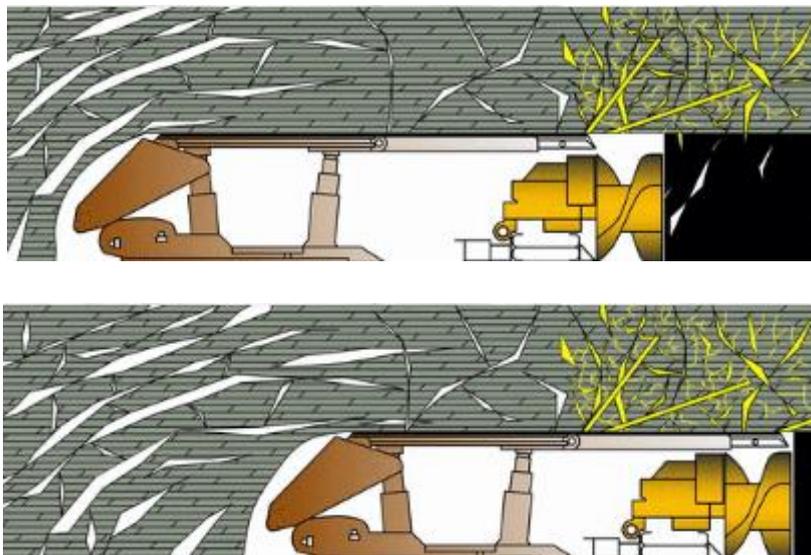


Рисунок 1 – Удержание кровли при выемке угля в неустойчивых породах с предварительным упрочнением

Принимается следующая схема расположения шпуров:

- исходя из рекомендованного радиуса упрочнения одним шпуром - расстояние между шпурами вдоль линии очистного забоя (по падению) - 4,0 м;
- шаг бурения шпуров по мере подвигания линии очистного забоя (по простиранию) составляет - 4,5 – 5,0 м;
- бурение шпуров в лаве производится перпендикулярно к линии очистного забоя в горизонтальной плоскости и под углом + 20° к горизонту в вертикальной плоскости. Шпуры бурятся на расстоянии 1,0 м от козырька секции крепи.
- бурение шпуров на вентиляционном штреке производится перпендикулярно в нижний борт на расстоянии 1,0 м от искусственной кровли;
- бурение шпуров на конвейерном штреке производится перпендикулярно в верхний борт на расстоянии 1,0 м от кровли выработки.

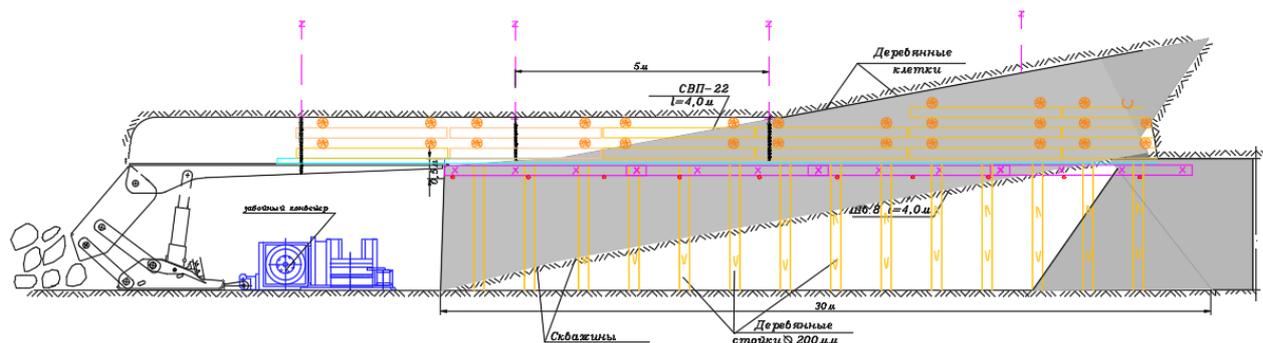
Процесс упрочнения всего массива угля, оставляемого в кровле при переходе нарушения, необходимо рассматривать как циклический процесс, постоянно смещающийся по простиранию и вдоль линии очистного забоя в зависимости от азимута распространения зоны нарушения (рисунок 2). Всего для упрочнения оставляемого массива угля требуется пробурить 324 шпура.

Расчёт необходимого количества полимерной смолы:

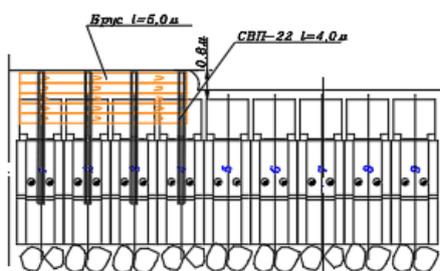
- по рекомендациям расход смолы на один шпур длиной 4,5м – 90 кг.
- в связи с наложением зон укрепления соседними шпурами расход

смолы для шпура 4.5м принимается 80% от рекомендованной.

- всего расход смолы для шпуров 4.5м -  $90 \times 324 \times 80\% = 23328$  кг.



*Заделка куполов до 1,0м и перетяжка кровли при отжимат угля до 0,8м.*



*Заделка куполов более 1,0м и упрочнение кровли при отжимат угля более 1,5м.*

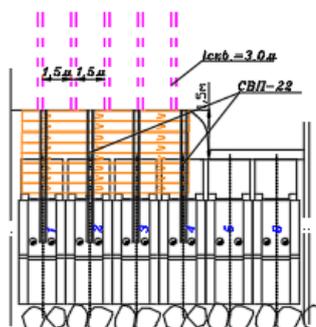


Рисунок 2 – Мероприятия при переходе нарушения лавой 5201

При переходе горно-гелогического нарушения для снижения эндогенной пожароопасности предусматривается комплекс мероприятий снижающих сорбционную способность оставяемого в выработанном пространстве угля: применяется обработка выработанного пространства антипирогенами в виде аэрозоля, которая обеспечивает: проведение объёмной обработки потерь угля в выработанном пространстве без остановки очистных работ [5]; целенаправленную подачу антипирогена в места наиболее вероятного возникновения эндогенного пожара; оптимальный расход антипирогена и минимальные затраты труда. Кроме того, для восстановления теплофизических параметров угля в выработанном пространстве необходимо компенсировать потери влаги, что осуществляется подачей в обрушенное пространство водных растворов антипирогена в виде аэрозолей. Согласно «Руководства по применению способов торможения развития самовозгорания угля в выработанных пространствах выемочных полей шахт» оборудование для подачи антипирогена располагается на вентиляционном штреке 5201, в том числе генератор аэрозоля. В качестве антипирогена используется хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ), который позволяет стабилизировать аэрозольное облако, является недефицитным и сравнительно дешевым веществом, обладающим высокой гигро-

скопичностью.

Аэрозольная обработка производится путём подачи аэрозоля в выработанное пространство лавы 5201, через диспергатор (форсунку КФ-2,2 – 15), установленный в тупике вентиляционного штрека 5201(рисунок 3).

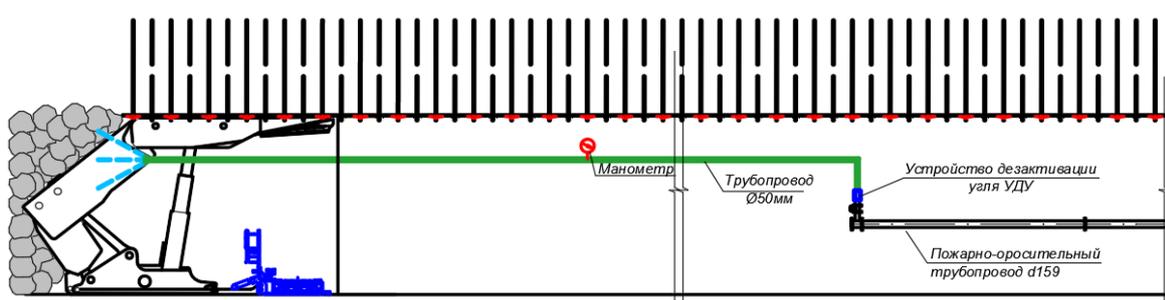


Рисунок 3 – Аэрозольная обработка выработанного пространства

При переходе нарушения механизированным комплексом дезактивация выработанного пространства производится при помощи двух установок УДУ, установленных в лаве 5201. Подача воды к УДУ осуществляется из пожарно-оросительного трубопровода. Ответственным на смене является ответственный за антипирогенную обработку рабочих.

При переходе нарушения порошкообразная антипирогенная обработка выработанного пространства производится в линейные смены по выемке угля, при передвижке забойного конвейера. Рабочие, в соответствии с полученным нарядом, в мешках доставляют порошковый антипироген в лаву 5201, и рассыпают его на почву в пространство между секциями, в месте отрыва перекрытий от кровли пласта, из расчёта 5 – 10 кг на секцию, в зависимости от оставляемой угольной пачки.

Таким образом, определены решения по отработке запасов угля у дизъюнктивного нарушения №11 по пласту 52 с применением укрепления угольного массива и боковых пород полимерной смолой «Геофлекс». Комплекс мероприятий включал себя с технической стороны:

1. Использование механизированного комплекса «САТ».
2. Закачка полимерной смолы Геофлекс под давлением специальным оборудованием в угольный массив и боковые породы.
3. Применение антипирогенов для предотвращения самовозгорания оставленного разрушенного угля.

Данные мероприятия обеспечат безопасную отработку дизъюнктивно-нарушенных угольных пластов, при условии, что амплитуда сместителя будет менее мощности пласта.

#### Библиографический список

1. Риб С.В. Исследование влияния дизъюнктивных нарушений на состояние массива горных пород в окрестности подготовительной выработки/ С.В. Риб, В.А. Басов, А.М. Никитина – Вестник Сибирского государственного-

го индустриального университета. – 2016. – № 1 (15). – С. 17–20.

2. Дыскин А.И. Разработка способа перехода разрывного нарушения комплексно-механизированным забоем в условиях ООО «Шахта «Алардинская» / А.И. Дыскин, С.В. Риб, А.М. Никитина, В.И. Любогощев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – С.29-31.

3. К вопросу автоматизированного проектирования технологических схем перехода геологических нарушений в границах выемочных участков / Ю.Н. Кузнецов, А.М. Киселев // ГИАБ. — 2012. - №10. - С.341-346.

4. Риб С.В., Никитина А.М., Борзых Д.М. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО «Шахта «Сибиргинская» // Вестник СибГИУ. -2013. -№ 3(5). -С. 2427.

5. Борзых Д.М. Предупреждение и тушение эндогенных пожаров на ОАО «Шахта имени В.И. Ленина» / Д.М. Борзых, С.В. Риб, А.М. Никитина, – Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2015 г. Вып. 19. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 26–28.

УДК 622.822

## **К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ДЛИННЫЙ КОМПЛЕКСНО- МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ**

**Бухгольц Э.И., Риб С.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: bukhgolts1301@mail.ru*

В данной статье рассматривается возможность модернизации существующих методик расчета нагрузки на длинный очистной забой путем совместного использования традиционных подходов и имитационного моделирования процессов очистных работ. Данный подход призван способствовать разработке современной методики оценки нагрузки на длинный комплексно-механизированный забой.

Ключевые слова: нагрузка на очистной забой, моделирование, математическая статистика, параметры распределения случайной величины.

В настоящее время в угольной промышленности сложилась ситуация,

при которой расчет (прогнозирование) нагрузки на длинный комплексно-механизированный очистной забой (ДКМЗ) считается рутинной задачей и совершенствованию методологии данного вида инженерного обеспечения горных работ не уделяется достаточного внимания. Это привело к тому, что до настоящего времени широко используются «клоны» методики, разработанной в 1979 г [1, 2]. Таким образом, совершенствование методологии определения нагрузки на длинный комплексно-механизированный очистной забой, в том числе с использованием методов имитационного моделирования, является безусловно актуальной. Многие модели, в том числе разработанная под руководством проф., д.т.н Домрачевым А.Н. [4, 5], базируются на статистических данных, полученных в результате наблюдений за ДКМЗ действующих шахт. Представляется очевидным, что использование таких моделей для оценки нагрузки на ДКМЗ при новом строительстве и техническом перевооружении шахт (особенно в условиях перехода на новое очистное оборудование) является достаточно затруднительным. Расширить область применения данного вида моделей можно за счет привлечения промежуточных результатов, полученных с использованием существующих расчетных методик. Предлагаемое решение состоит в использовании расчетного значения скорости подачи очистного комбайна  $v_n$ , м/мин для определения параметров данной случайной величины с нормальным распределением. Согласно правилу трех сигм, вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на большую величину, чем утроенное среднее квадратичное отклонение, практически равна нулю. Правило справедливо только для случайных величин, распределенных по нормальному закону, и если принять за математическое ожидание расчетное значение  $v_n$ , м/мин и с учетом того что  $v_n > 0$ , тогда имеет место  $v_n = 3\sigma_n$ , и следовательно возможно допущение  $\sigma_n = v_n/3$ . Таким образом, при отсутствии фактических данных параметры нормального закона распределения можно определить по расчетному значению скорости подачи. Тогда среднесуточная нагрузка на очистной забой  $A_{кмз}$ , т/сут может быть определена по формуле:

$$A_{кмз} = \min\{A_{кмз.мод}, A_{кмз.т.р}, A_{кмз.г}\} \quad (1)$$

где  $A_{кмз.мод}$  - нагрузка на ДКМЗ по результатам моделирования, т/сут;

$A_{кмз.т.р}$  - нагрузка на ДКМЗ по традиционной методике, т/сут;

$A_{кмз.г}$  - нагрузка на ДКМЗ по газовому фактору, т/сут.

Для проверки предлагаемых решений была выполнена оценка нагрузки на очистной забой с использованием методики [2], реализованной в системе поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка (ТСУ) [3] и результатов моделирования с использованием модели, описанной в [4, 5].

В качестве исходных данных был принят пологий (угол падения 8 градусов) пласт простого строения мощностью 1,6 м. Глубина горных работ со-

ставила 320 м, длина лавы была принята 240 м. Результаты расчета по традиционной методике приведены в виде скриншота на рисунке 1.



Рисунок 1 – Результаты расчета параметров технологической схемы очистного участка с использованием системы поддержки принятия решений

По результатам моделирования согласно [4,5] среднегодовая нагрузка на очистной забой составила 2356 т/сут при среднегодовом значении коэффициента машинного времени 0,37.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о наличии всех необходимых предпосылок для реализации предложенного подхода к определению нагрузки на ДКМЗ, в том числе при новом строительстве и техническом перевооружении шахт.

#### Библиографический список

1. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах/ ИГД им. А.А. Скочинского. Часть первая: Технологические схемы. М.:Недра, 1979. – 232 с.
2. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах. /Колл. авт. – Донецк, Изд-во ДонУГИ, 2007. – 41 с.
3. Домрачев А.Н. Алгоритм и структура контента обучающе-тестирующей программы для базовых дисциплин специальности 130400

«Горное дело» /А.Н.Домрачев. - Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2015. - С.184-187

4. Домрачев А.Н. Сравнительная оценка аналитического расчета и результатов имитационного моделирования нагрузки на длинный комплексно-механизированный очистной забой/ А.Н.Домрачев, С.В. Риб. - Вестник Сибирского государственного индустриального университета №3 (17)/ Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. - С.8-10

5. Домрачев А.Н. Выбор и обоснование алгоритма моделирования влияния неравномерности метановыделения при моделировании работы длинного очистного забоя/ А.Н.Домрачев, С.В.Риб, А.М.Никитина. - Вестник Сибирского государственного индустриального университета №-1(19)/ Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. -№1(19)- С.44-45.

УДК 622.261:622.267.52

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТЕМПОВ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ «ШАХТЫ «АЛАРДИНСКАЯ»**

**Савченко С.А., Воронков В.А., Никитина А.М., Риб С.В., Борzych Д.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am\_78@mail.ru*

В данной статье рассматриваются способы повышения темпов проведения подготовительных выработок. Перед началом проведения подготовительных выработок проводится предварительная дегазация угольного массива с применением бурового станка направленного бурения VLD-1000 (Австралия). Использование проходческого комбайна JOY 12CM30B с навесными буровыми установками и двух дизельных угольных вагонов FBR-15 позволит увеличить темпы проведения подготовительных выработок более чем в два раза.

Ключевые слова: угольная шахта, проведение подготовительной выработки, дегазация, проходческий комбайн.

Нормальное и устойчивое ведение очистных работ по добычи полезных ископаемых подземным способом невозможно без своевременного фронта подготовленных запасов [1]. Подготовка очистного фронта требует эффективного использования горно-проходческого оборудования, правильной организации труда, безопасных методов ведения горных работ. Эффективное использование горно-проходческого оборудования возможно при

правильно выбранных схемах и способах проведения горных выработок, соответствующих конкретным горно-геологическим условиям. Это позволит не только вовремя подготовить к очистным работам выемочный участок, но и существенно снизит затраты на проведение выработок.

Проведённый анализ производственного опыта отечественных и зарубежных шахт при проведении подготовительных выработок показал, что при правильно выбранной технологической схеме подготовки, эффективно используемом горнопроходческом оборудовании и грамотном подходе к организации труда можно достичь высоких темпов проведения подготовительных выработок.

На самых эффективных и современных угольных шахтах во всех угледобывающих странах мира широко применяется оборудование Sandvik Mining and Construction (Sandvik, рисунок 1). К важнейшим приоритетам для предприятий современной угледобывающей промышленности относятся высокая производительность и безопасность выполнения всех видов работ. Для достижения этого требуется высокий уровень автоматизации оборудования и производственных процессов.

На основе проведенного анализа [2, 3] и соответствия технологических процессов в проходческих забоях были определены пять технологических схем проведения подготовительных выработок:

1. Первая технологическая схема – проведение одиночным забоем горизонтальной выработки по пласту комбайном с использованием ленточного перегружателя.



Рисунок 1–Проходческий комбайн Sandvik MB650 FLP

2. Вторая технологическая схема – проведение одиночным забоем горизонтальной выработки по пласту комбайном с использованием скребкового перегружателя.

3. Третья технологическая схема – проведение горизонтальных выработок спаренными забоями по пласту комбайном с использованием пере-

грузателя, самоходного вагона и ленточного конвейера.

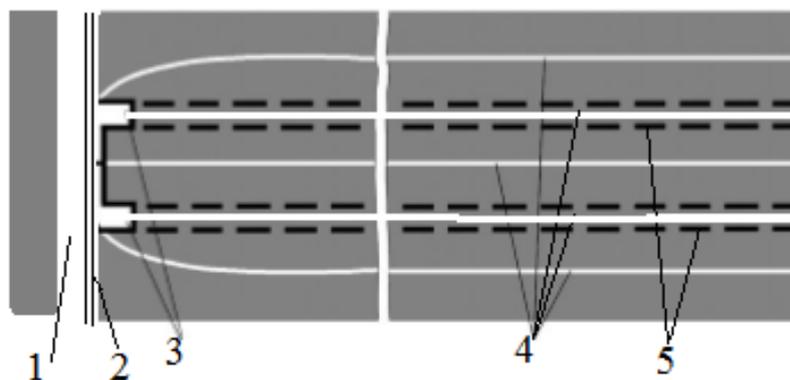
4. Четвертая технологическая схема – проведение горизонтальных выработок по пласту комбайном с использованием перегружателя и бункер-поезда.

5. Пятая технологическая схема – проведение одиночным забоем выработки комбайном с использованием скребкового и ленточного конвейеров.

При проведении горных выработок по газоносным пластам работы ведутся согласно п. 166 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (утв. Приказом Ростехнадзора №550 от 19.11.2013г.). Дегазация проводится в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 25.04.2011г. № 315 «О допустимых нормах содержания взрывоопасных газов (метана) в шахте, угольных пластах и выработанном пространстве, при превышении которых дегазация является обязательной». Данным постановлением определен порядок обязательного применения дегазации.

В рамках настоящей работы предлагается следующее: перед началом проведения подготовительных выработок проводится предварительная дегазация угольного массива с применением бурового станка направленного бурения VLD-1000 (Австралия).

Данные работы будут проводиться со стороны фланга в подготовительной выработке – фланговый конвейерный бремсберг в условиях шахты «Алардинская». Для этого будут отбурены 5 скважин на максимально возможную длину 1500 метров. Две скважины бурятся в контур будущих выработок по их оси, одна в целик между штреками и две вблизи боков проводимых выработок (рисунок 2). В целях сокращения сроков предварительной дегазации пласта будет проводиться гидроразрыв угольного массива с целью повышения его газопроницаемости [4]. Коэффициент дегазации составит 0,3 - 0,4.



1 – конвейерный бремсберг, 2 - дегазационный став, 3 – дегазационные ниши, 4 – дегазационные скважины, 5 – контур будущих выработок

Рисунок 2 – Схема предварительной дегазации пласта до начала проведения подготовительных выработок с применением бурового станка направленного бурения VLD-1000 (Австралия)

При проведении выработок предлагается использовать следующее оборудование:

Применение проходческого комбайна JOY 12СМ30В с навесными буровыми установками. В качестве основного транспорта для транспортировки горной массы использовать: на конвейерном штреке 3-39 ленточный конвейер 2ЛТ-120, СКСЛК (самоходная концевая станция ленточного конвейера), транспортировать отбитую горную массу от комбайна до ленточного конвейера используя дизельные угольные вагоны FBR-15. Гидравлическая система предназначена для быстрой разгрузки угольного вагона всего лишь за 23 секунды путем выталкивания груза эжекторной плитой, при этом кузов остается в горизонтальном положении.

При проведении расчета принимается средняя производительность проходки с применением данного оборудования 1108,5 м/мес.

Проведение выработок может осуществляться в определенной последовательности при использовании двух схем:

1. Одна выработка стоит на дегазации, во второй ведутся работы по проведению выработки. После проведения 550 метров комбайн перегоняется во вторую выработку. При проведении второй выработки проводится необходимое количество сбоек.

2. Проведение выработок происходит по кольцевой схеме. При продвижении забоя первого штрека на расчетное расстояние проводится сбойка с параллельным штреком, от которой формируется второй штрек в обратном направлении. В это время, по направлению проведения обоих штреков, бурятся дегазационные скважины. После закольцовки обеих выработок комбайн возвращается.

Достоинства предложенных технологических схем и принятых технических решений:

- снижение газообильности в подготовительных выработках за счет применения дегазации;

- сокращение на 50% времени при разрушении массива;

- оптимизация рабочих процессов при возведении постоянной крепи, что позволит в три раза сократить время на крепление;

- сокращение тяжелого ручного труда за счет отказа от скребковых конвейеров СР-70;

- увеличение темпов проведения подготовительных выработок более чем в два раза;

- повышение эффективности производства за счет сокращения затрат на подготовительные работы;

- экономия существующих ресурсов при проведении подготовительных выработок за счет более эффективного использования применяемого оборудования;

- увеличение концентрации горнопроходческих работ на разрабатываемом участке шахтного поля, что позволит воспроизводить фронт подготов-

ленных запасов на двух выемочных участках одновременно;

- применение современного высокопроизводительного оборудования позволит осуществлять более эффективную дегазацию и увеличить темпы проведения подготовительных выработок более чем 1000м/мес.

С учетом предложенных технологических схем, технических решений и произведенным перерасчетом производительности труда, на подготовку выемочного участка 3-39 потребуется 5 месяцев с применением одного проходческого комбайна JOY 12СМ30В с навесными буровыми установками и двух дизельных угольных вагонов FBR-15.

#### Библиографический список

1. Домрачев А.Н. Выбор и обоснование алгоритма моделирования работы длинного очистного забоя с учетом влияния неравномерности метановыделения / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина – Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 1 (19). - С. 44-45.

2. Сравнительный анализ технологий подготовки выемочного столба при отработке мощного угольного пласта / С.В. Риб, В.В. Микунов, В.А. Волошин // Вестник СибГИУ: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2015. – С. 27–32.

3. Найданова А.В. Повышение эффективности дегазации путем увеличения газоотдачи угольного пласта / А.В. Найданова, А.М. Никитина, С.В. Риб, – Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – С. 18–21.

4. Разработка гибкой системы ресурсного и технологического потенциалов комплекса угольных шахт : диссертация Ногих С.Р. доктора технических наук : 25.00.22.- Новокузнецк, 2002.- 340 с.

УДК 622.267:622.532

### **К ВОПРОСУ ОБ УЛАВЛИВАНИИ ВОДЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА**

**Воронков В.А., Никитина А.М., Риб С.В., Борzych Д.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am\_78@mail.ru*

В данной статье рассматривается вопрос снижения водообильности в подготовительных выработках в условиях угольных шахт. Предлагается использовать в подготовительных выработках водоуловители для улавливания и изолированного отвода воды с кровли, что обеспечит наименьшие затраты, улучшение условий выполнения производственных процессов и безопасность

труда.

Ключевые слова: водообильность, подготовительная выработка, улавливание воды.

Как показывает практика ведения горно-подготовительных работ в условиях угледобывающих предприятий Кузбасса основными причинами, сдерживающими темпы проведения подготовительных выработок являются сложные горно-геологические условия в сочетании с горнотехнической обстановкой [1-3]. Особое негативное влияние оказывает обводненность.

Применяемые для снижения водообильности при проведении подготовительных выработок электрические самовсасывающие насосы НШВ-150 или 1В20/10 откачивают воду непосредственно с почвы выработки, что нередко является малоэффективным, трудоемким и затратным способом. Даже если удастся откачивать воду с забойной и призабойной части выработки пульпа все равно остается и доставляет определенные сложности. По мере продвижения забоя оставшиеся источники воды продолжают увеличивать водообильность в выработках. Вода в свободном движении перемещается по выработке пропитывая отбитый от массива уголь и образуя на почве выработки водяные и пульповые мульды в местах где в результате проведения горных работ образовались впадины (углубления), что в свою очередь не только затрудняет перемещение рабочих по выработке, но и препятствует эффективному перемещению отбитой горной массы по скребковым и ленточным конвейерам. Обводненная горная масса перемещается (выливается, пересыпается) с рабочей поверхности конвейера и заиловывает выработку, конвейера, подвижные ролики ленточных конвейеров, в результате чего происходит уже ускоренное изнашивание ленточного полотна.

С целью снижения водообильности в подготовительных выработках, в статье предложен способ снижения водообильности путем улавливания и изолированного отвода воды с кровли (рисунок 1). Сущность способа заключается в следующем. Улавливание и изолированный отвод воды, поступающей в горную выработку с кровли из отбуренных шпуров или существующих заколов осуществляется с использованием закона земного притяжения, силы тяжести и свойств текучести воды.

Улавливание воды осуществляется при помощи специального водоприемника, изготовленного из водонепроницаемого материала (непригодная для нарезки вентиляционного става вентиляционная труба, из которой можно вырезать цельный, без порезов и повреждений, кусок) размером 1,5\*1,5 метра. В центре прорезается отверстие и монтируется сливное устройство (возможно применение устройства используемого для слива воды с раковины с максимально открытой сливной поверхностью для лучшего оттока воды).

Технологическая схема улавливания и изолированного отвода воды показана на рисунке 1.

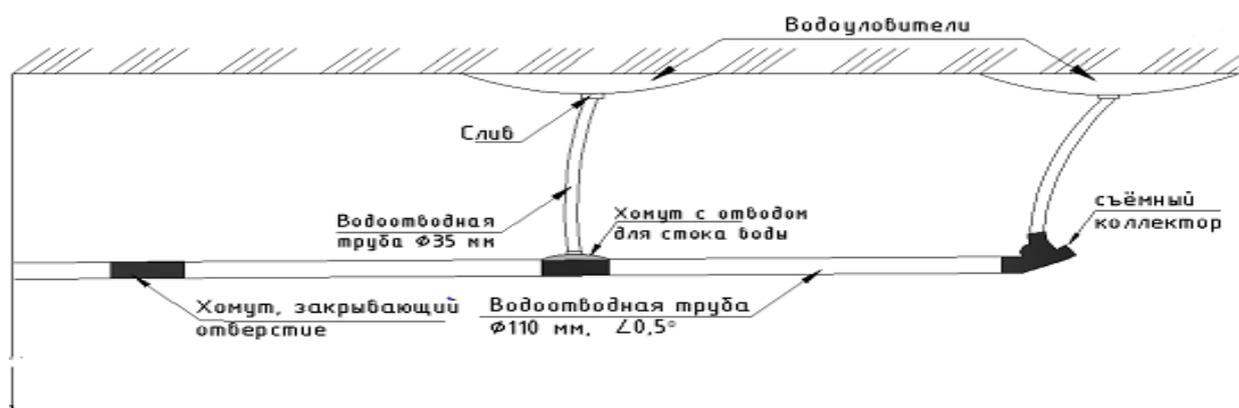


Рисунок 1 - Технологическая схема улавливания и изолированного отвода воды

Водоуловитель крепится под образовавшимся источником воды проволокой, в нескольких местах по периметру, за решетчатую затяжку, таким образом, что бы слив оказался самой нижней точкой. К сливу присоединяется пластмассовая гофрированная труба  $d35-50$ мм (длина определяется по месту). Второй край трубы подсоединяется к коллектору который установлен на краю (со стороны забоя) основного водоотливного става либо к сгону вмонтированному в верхнюю часть трубы основного става. Гофрированная труба на всем протяжении, от слива до коллектора или сгона, фиксируется так, чтобы слив был наивысшей точкой. Для основного водоотливного става можно использовать пластмассовые ПЭТ трубы  $d 75-110$  мм (в зависимости от притока воды). От определенной исходной точки став монтируется горизонтально, фиксируясь за решетчатую затяжку бока выработки. С места, где образовался источник воды с кровли, став монтируется с повышением от исходной точки из расчета  $5$ мм (при  $0$  градусе) вверх на  $1$ метр погонный выработки. Край става, со стороны забоя, можно поднимать на любую удобную высоту, но с таким расчетом, чтобы он был ниже точки слива водоуловителя и не ниже последней отметки где вмонтирован сгон находящийся в задействованном состоянии. Через  $3-5$  метров от последнего места слива, поднимая став на расчетную высоту, монтаж трубопровода производится горизонтально до следующего места слива. По мере продвижения забоя став наращивается и фиксируется с определенным подъемом руководствуясь вышеуказанным расчетом. Гофрированная труба подсоединенная к коллектору, после наростки става, подсоединяется к вмонтированному, в верхнюю часть трубы, сгону. Сгон устанавливается на минимальном расстоянии от уловителя.

Измерения при монтаже и фиксации труб производятся при помощи линейного или лазерного уровня и капроновой веревки, которая натягивается между исходной и концевой точками на длину монтируемой трубы. После монтажа трубы производится ее крепление в соответствии с натянутой веревкой.

При прекращении истока воды водоуловитель и гофрированная труба

бережно демонтируются с целью дальнейшего применения, а на сгон ставится заглушка. При необходимости на этих участках возможно опускание трубопровода для увеличения его протяженности и эффективности отвода воды.

Данное решение обеспечит уменьшение трудоемкости многих рабочих процессов и увеличения их эффективности. Снизит или исключит вовсе негативный фактор, способствующий снижению темпов проведения подготовительных выработок из-за притока воды с кровли. Улучшит условия труда и уменьшит возникновения различного рода рисков получения травм и заболеваний (когда работнику приходится выполнять работу под непрерывно падающими струями воды из кровли, производить монтаж - демонтаж скребкового или ленточного конвейера находясь в воде или пульпе по колено и выше, доставлять в таких же условиях различные материалы, элементы крепления перемещаясь пешком по выработке). Продлит срок службы применяемого оборудования и снизит затраты на его ремонт или вынужденную замену.

Преимущества при внедрении данного способа при правильном монтаже очевидны: наименьшие затраты, улучшение условий выполнения производственных процессов и безопасности труда.

#### Библиографический список

1. Разработка гибкой системы ресурсного и технологического потенциалов комплекса угольных шахт : диссертация Ногих С.Р. доктора технических наук : 25.00.22.- Новокузнецк, 2002.- 340 с.

2. Исследование устойчивости подготовительных горных выработок / В.А. Волошин, С.В. Риб, М.А. Денисов, Е.В. Черешнева, В.С. Риб // Вестник СибГИУ. – 2016. – № 4 (18). – С. 27-31.

3. Исследование влияния дизъюнктивных нарушений на состояние массива горных пород в окрестности подготовительной выработки / В.В. Басов, С.В. Риб, А.М. Никитина // Вестник СибГИУ: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2016. – № 1 (15). С. 17-20.

УДК 622.261.5

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО УКАЗАТЕЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ БОКОВ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ «ШАХТА «АЛАРДИНСКАЯ»**

**Воронков В.А., Ларин М.К., Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am\_78@mail.ru*

В данной статье рассматривается вопрос о повышении безопасности, производительности и качества проведения подготовительных выработок в условиях «Шахта «Алардинская». Предлагается внедрить лазерный указатель направления боков выработки.

Ключевые слова: световое указание параметров проводимой выработки, лазерный указатель, направление, проведение выработки.

Рассмотрев применяемые на угольных шахтах Кузбасса технологические схемы ведения подготовительных работ, технические решения, существующую организацию труда определены узкие места, проблемные участки и наличие различного рода рисков негативно влияющих на производительность, качество и безопасность труда [1-3].

Определено, что при выполнении работ со значительным отклонением от проектных параметров выработки (направление, высота, ширина), тратится дополнительное рабочее время на исправление несоответствия (отгон комбайна, выравнивание бока выработки с предварительным демонтажем элементов крепления или без демонтажа), а также, при значительном увеличении ширины и высоты, тратится излишнее рабочее время на выполнение внеплановой работы.

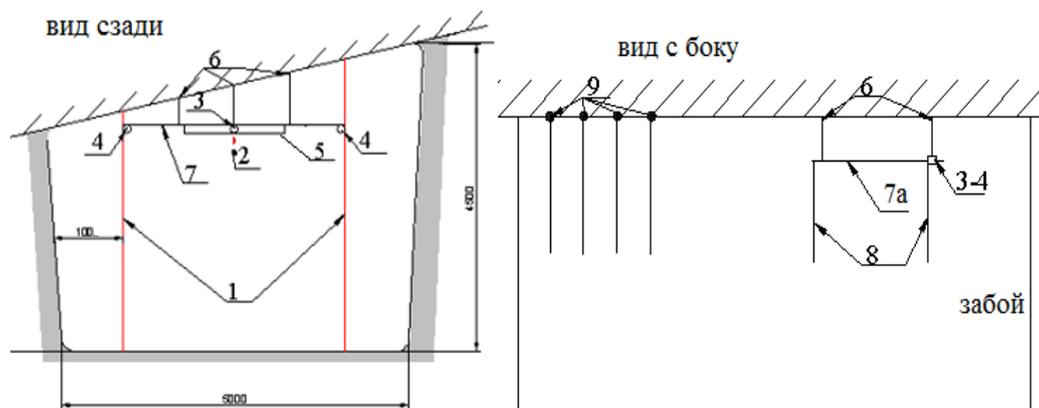
Очевидно, что эти отклонения и факты исправления практически не фиксируются и суммарное рабочее время, затраченное на исправление и выполнение внеплановой работы, за месяц, будет исчисляться десятками человеко-смен.

В условиях «Шахта «Алардинская» была произведена проверка всех действующих подготовительных участков на предмет отклонений от проектных параметров проводимых выработок на протяжении 100 метров от забоя выработки. В результате проверки во всех подготовительных выработках были выявлены отклонения от проектных параметров по ширине, которые достигали до 1 метра и более, что влечет за собой дополнительную трату времени на разрушение массива и установку дополнительного анкера.

Выявленные нарушения происходят из-за отсутствия эффективного измерительного устройства позволяющего при его применении, в процессе разрушения массива на глубину шага крепи, производить работу без значительных отклонений от проектных параметров. На многих шахтах в качестве указателя направления используют лазерный указатель направления (ЛУН). Они имеют ряд недостатков : указывая направление, не указывается форма боков выработки. Измерить расстояние, от отображенной проекции при использовании ЛУН, до боков выработки при помощи имеющихся измерительных инструментов: рулетки и др. в незакрепленной части выработки довольно проблематично и небезопасно. При проведении горных выработок должны быть обеспечены их поперечные сечения, предусмотренные проектной документацией [4].

Для светового указания параметров проводимой выработки, с целью повышения безопасности, производительности и качества проведения подготовительных выработок в условиях «Шахты «Алардинская» предлагается внедрить лазерный указатель направления боков выработки (ЛУ НБВ-1). Указатель (рисунок 1) позволяет контролировать параметры горной выра-

ботки дистанционно, сократить простои проходческого оборудования. Это ведет к повышению производительности и эффективности горных работ. Кроме того, точность проходки горных выработок – важный аспект с точки зрения обеспечения безопасности ведения горных работ.



1 - узко направленные линии красного цвета (указывающие положение формы боков выработки), 2 - узко направленный пучок красного цвета (указывающий ось направления выработки), 3 - светопроекционный указатель оси направления выработки, 4 - светопроекционные указатели положения боков выработки, 5 – линейный уровень, 6 – телескопические элементы крепления кронштейна к кровле, 7 – поперечная часть кронштейна, 7а – продольная часть кронштейна, 8 – съемные светоотражающие указатели, 9 – нитевые отвесы

Рисунок 1—Лазерный указатель направления и боков выработки

Устройство представляет собой три светопроекционных указателя с лазерным источником света, создающие один узко направленный пучок красного цвета указывающий ось направления выработки и две узко направленные линии красного цвета, указывающие положение формы боков выработки отображаемые на массиве угля, пород забоя проводимой выработки. Светопроекционные указатели установлены и зафиксированы на специальном регулируемом кронштейне, прикрепляемому к решетчатой затяжке кровли. В кронштейн вмонтирован линейный уровень для определения горизонтальной плоскости и прилагаются два линейных светоотражающих указателя, необходимых для правильной установки кронштейна.

Таким образом, предложено внедрить в технологический процесс «Шахты «Алардинская» ЛУ НБВ-1, что приведёт технологию проведения подготовительных выработок на новый качественный уровень.

#### Библиографический список

1. Домрачев А.Н. Адаптация методов оценки риска обрушения подземных горных выработок к условиям шахт юга Кузбасса / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина. – Известия Тульского государственного универси-

тета. Науки о земле. – 2016. – № 4. – С. 81–90.

2. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И. Клишин и др.; под ред. Ю.Н. Малышева. – Новосибирск: Издательский дом «Новосибирский писатель», 2011. – 524 с.

3. Повышение производительности труда подготовительных бригад для своевременной подготовки фронта очистных работ на шахте "Алардинская" / С.В. Риб, В.В. Микунов, В.А. Волошин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения, СибГИУ, 2015. – Вып. 19. – Ч. 2 : Технические науки. – С. 31-34.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40.-М., Закрытое акционерное общество « Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» 2014. – 200с.

УДК 622.4

## **ОБОСНОВАНИЕ АЭРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ВЕНТИЛЯЦИЯ 2.0»**

**Киселёв Д.А., Елхимов Д.Е., Риб С.В., Никитина А.М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kiselevda@list.ru*

Выполнено численное моделирование аэрогазодинамических процессов, возникающих в горной выработке при пожаре. По результатам численного моделирования предложены мероприятия по повышению устойчивости аварийного проветривания и обеспечению безопасного выхода людей из аварийного участка. Результаты представлены в графическом виде.

Ключевые слова: аэрогазодинамические параметры, экзогенный пожар, конвейерный штрек, тепловая депрессия, численное моделирование, устойчивость проветривания.

К объектам горения на подземных горных работах относятся: материалы и оборудование (деревянная крепь, горючие и смазочные материалы, конвейерная лента, электрооборудование и пр.); добываемое полезное ископаемое (уголь, углистый сланец и др.); взрывчатые газы (метан, водород) [1]. Наиболее распространенным объектом горения являются прорезиненные конвейерные ленты, которые загораются в месте пробуксовки приводного барабана или заклинившего ролика. В результате лента может загореться на всём её протяжении, что может привести к воспламенению на конвейере горючего полезного ископаемого.

Обоснование аэрогазодинамических параметров угольной шахты при возникновении экзогенных пожаров является одним из критериев обеспечения безопасности рабочих, застигнутых аварийной ситуацией. Для решения данной задачи применяются комплексы программ численного моделирования.

Существует как отечественный, так и зарубежный опыт численного моделирования воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети (ШВС) для нормальных и аварийных режимов [2]. Для этой цели используются следующие коммерческие программные продукты: комплекс «Вентиляция (версии 1.0 и 2.0)»; Электронная версия ПЛА; Mine-Fire (VnetPC, MFire); Ventsim [3].

Наибольшее распространение в России получил программный комплекс «Вентиляция», а именно его последняя версия «Вентиляция 2.0». Программный комплекс «Вентиляция» установлен и используется на всех угольных шахтах России, в ВГСЧ угольной промышленности, рудниках компании «АЛРОСА» и проектных институтах [4]. Широкое распространение подтверждает о высоком качестве данной программы.

Численное моделирование с помощью программного комплекса «Вентиляция 2.0» на сегодняшний день является наиболее перспективным направлением в области проектирования схем вентиляции шахт на стадии разработки проекта, а также при работе предприятия до конца его существования [5].

Объектом исследования является действующая схема вентиляции АО «шахта «Большевик». В настоящее время шахтой отрабатывается пласт 29а. В отработке находится выемочный столб 29-58. Проветривание горных выработок шахты предусматривается по единой системе, центрально-фланговой схеме проветривания при нагнетательном способе.

Моделирование экзогенного пожара произведено в наиболее опасном и сконцентрированном месте ведения горных работ – конвейерном штреке.

Для моделирования аварийной ситуации задан источник воспламенения: прорезиненное полотно ленточного конвейера, расположенного в конвейерном штреке 29-58 на расстоянии 416 м от очистного забоя 29-58. Выбраны необходимые параметры: температура горения прорезиненной ленты  $1000\text{ C}^0$ , плотность воздуха при  $12\text{ C}^0$  составляет  $1,2\text{ кг/м}^3$ .

Моделирование выполнено при условии развития пожара в режиме нормального проветривания. Для детальной визуализации развития пожара моделирование выполнено в интервалах времени 5; 10; 15; 20; 25; 30 мин.

На рисунке 1 представлено графическое изображение моделирования развития пожара в конвейерном штреке 29-58 через 30 минут с момента возникновения без нарушения воздушного потока. Продукты горения, по движению струи воздуха, распространились от источника воспламенения через лаву 29-58, по вентиляционному штреку 29-58 на фланговый путевой уклон пласта 29а. По рисунку видно, что звено рабочих добычного участка, находящихся в очистном забое, попадает под влияние пожарных газов. Шахтный самоспасатель ШСС-Г защитит органы дыхания от отравления, однако, вы-

ход на свежую струю (вентиляционный штрек 29-58) будет затруднён ограниченной видимостью.

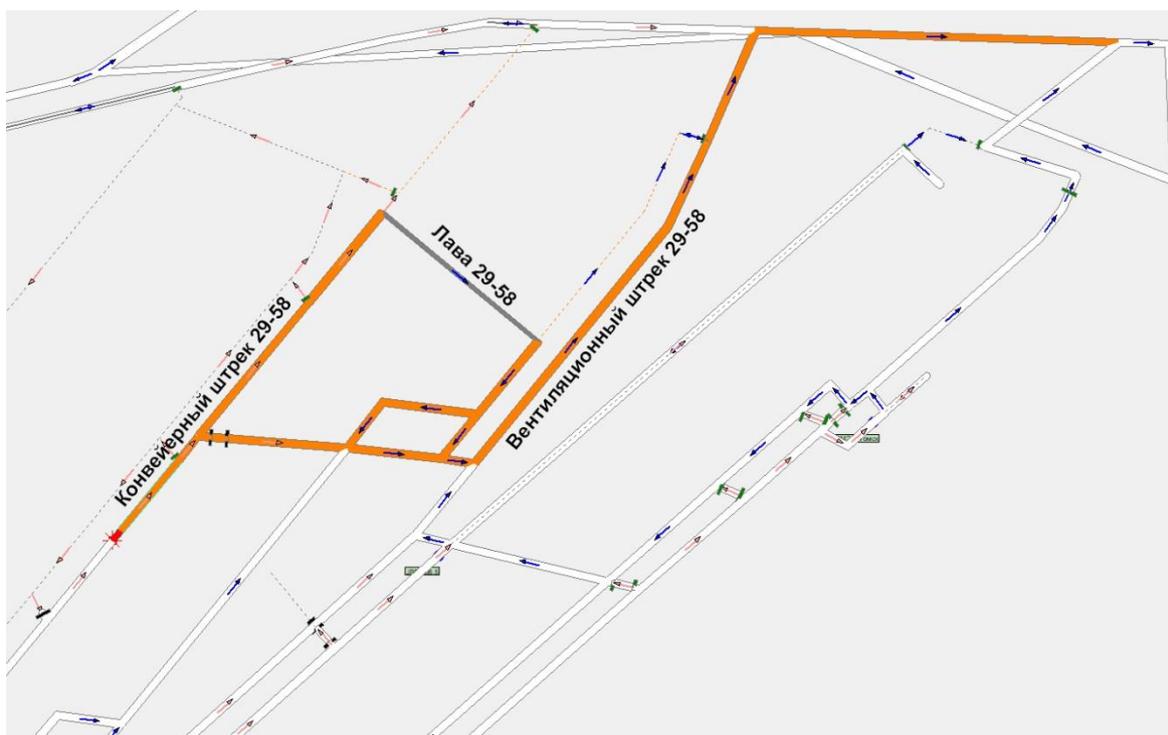


Рисунок 1 – Модель пожара в конвейерном штреке 29-58 (30 мин с момента возникновения)

Под влиянием тепловой депрессии произошла рециркуляции вентиляционной струи в отдельных ветвях. Данные опрокидывания струи представлены на рисунке 2.

Очаг пожара		1646 - Конвейерный штрек 29-58		-7,3 даПа		Удалить	В таблицу	На схему
Ветвь	Название	Q норм. м3/с	H норм. даПа	Норм. доп. H, даПа	Q авар. м3/с	H авар. даПа	Авар. доп. H, даПа	
125	Сбойка 57-6	0,05	0,5	0,0	-0,10	1,9	0,0	
133	Сбойка 57-8	0,02	0,1	0,0	-0,14	3,8	0,0	
147	Вентиляционный штрек 29-58	2,29	0,0	0,0	-2,81	0,0	0,0	
1518	Конвейерный штрек 29-57	0,24	0,1	0,0	-0,08	0,0	0,0	
1590	Вентиляционный штрек 29-58	2,29	0,0	0,0	-2,81	0,0	0,0	
1680	Конвейерный штрек 29-57	0,24	0,0	0,0	-0,08	0,0	0,0	
1690	Сбойка 57-6	0,05	0,0	0,0	-0,10	0,0	0,0	
1692	Сбойка 57-5	-0,04	0,0	0,0	0,07	0,0	0,0	
1693	Сбойка 57-5	-0,04	0,3	0,0	0,07	0,9	0,0	

Рисунок 2 – Аэрогазодинамические параметры проветривания в условиях возникновения очага пожара в конвейерном штреке 29-58

По данным рисунка 2 можно сделать вывод: при возникновении источника воспламенения возникающая тепловая депрессия негативно влияет на проветривание и делает систему проветривания неустойчивой.

Затем выполнен расчет развития пожара при условии закрытия заблаговременно установленных автоматических противопожарных дверей в воздухоподающем кроссинге 29-58 (рисунок 3).

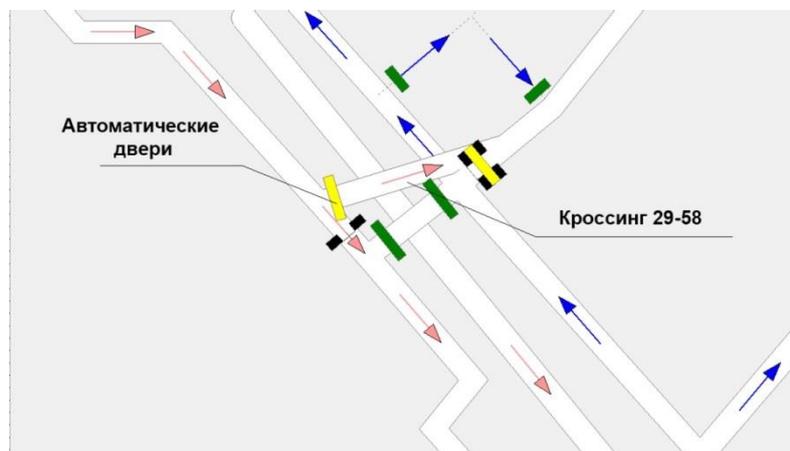


Рисунок 3– Кроссинг 29-58 с автоматическими противопожарными дверьми

Результаты данного моделирования показали, что применение данного мероприятия приведет к тому, что:

- развитие пожара замедлится, из-за сокращения доступа кислорода к очагу пожара.

- сократится скорость распространения пожарных газов по исходящей струе с 1,66 м/с до 0,03 м/с (согласно расчётам программы «Вентиляция 2.0»).

Выявлено, что при закрывании противопожарной двери в кроссинге 29-58 протяженность распространения продуктов горения стала значительно ниже, что позволит рабочим, находящимся в очистном забое, выйти на свежую струю (вентиляционный штрек 29-58), не попав под воздействие пожарных газов.

По результатам моделирования установлено, что применение программного комплекса «Вентиляция 2.0» позволяет:

- получить данные для обоснования аэрогазодинамических параметров угольных шахт;

- получать визуальную интерпретацию результатов численного моделирования;

- разработать мероприятия по выходу людей из аварийного участка, без нахождения в задымленном пространстве.

#### Библиографический список

1. Предупреждение и ликвидация пожаров на угольных шахтах с использованием современных некриогенных технологий инертирования азотом / А.А. Твердов, А.В. Ляхов, В.Б. Хазеев, С.Б. Никишичев // Уголь, 2012.- №9. - с.48-52.

2. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния шахтных перемычек из бетонных блоков при воздействии ударной воздушной волны / С.В. Риб, А.Н. Домрачев // Вестник СибГИУ. – Новокузнецк, 2015.- № 4.- С. 17-21.

3. Отчет о НИР «Исследование методов и способов по определению устойчивости проветривания горных выработок при подземных пожарах», - Новокузнецк, 2012. – 127 с.

4. Программа расчета вентиляционных режимов в шахтах и рудниках / Д.Ю. Палеев, О.Ю. Лукашов // Горная промышленность.- 2007. -№ 6.- С. 20-23.

5. Компьютерные технологии для решения задач плана ликвидации аварий / Д.Ю. Палеев, О.Ю. Лукашов, В.Н. Костеренко, А. Н. Тимченко, И. М. Васенин, Э. Р. Шрагер, А. Ю. Крайнов— М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. — 160 с.

УДК 621.314.222.6:004.94

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЫТА ХОЛОСТОГО ХОДА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ INFOLYTICA MAGNET**

**Мальшев А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Иванов А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: malyshev1994@yandex.ru*

В данной статье произведён анализ возможности реализации опыта холостого хода силового трансформатора в программной среде Infolytica MagNet, при проведении которого можно оценить потери мощности в магнитопроводе трансформатора, вызываемых гистерезисом и вихревыми токами. Также выполнен сравнительный анализ между компьютерным моделированием и эмпирическим опытом.

Ключевые слова: силовой трансформатор, опыт холостого хода, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, Infolytica MagNet, потери мощности в магнитопроводе.

Энергосбережение – это стратегическая политика выживания человечества в условиях конфликта между его стремлением к безудержному комфорту и ограниченностью ресурсов. По прогнозам энергопотребление к 2020 году возрастет в 1,8-1,9 раза в связи с тем, что мировое производство к 2050 году увеличится - в 3,75-5 раз. В настоящее время РФ снова втянута в мировой кризис. Кризисные явления в стране и энергетике отрицательным образом влияют на потери мощности и энергии в электрических сетях. Одним из самых распространённых электрических приёмников энергии являются

трансформаторы. Путь электрической энергии от электростанции до приёмника электрической энергии проходит как минимум через 3 трансформатора, и если на каждом из них увеличить КПД на 1 – 2 %, то это могло бы существенно снизить потребление электрической энергии. Таким образом, использование компьютерного моделирования в процессе проектирования трансформаторов стало жизненно необходимым.

Опыт холостого хода является одним из основных испытаний трансформатора. При проведении опыта холостого хода трансформатора его вторичная обмотка разомкнута, и в этой обмотке нет тока ( $I_2 = 0$ ), а первичная обмотка подключается к источнику переменного тока. В этих условиях ток холостого хода  $I_0$  протекает в первичной обмотке, что является небольшим значением по сравнению с номинальным током трансформатора. В силовых трансформаторах ток без нагрузки может достигать значений от 5 до 10% от номинального тока.

Ток без нагрузки (т.е. ток холостого хода)  $I_0$  генерирует магнитный поток в магнитной цепи трансформатора. Чтобы генерировать магнитный поток, трансформатор потребляет реактивную мощность из сети. Активная мощность, используемая трансформатором при опыте холостого хода, используется, чтобы покрыть магнитные потери, вызванные гистерезисом<sup>1</sup> и вихревыми токами<sup>2</sup>.

В качестве исследуемого трансформатора в настоящей статье рассматривается трёхфазный силовой трансформатор типа ТС-630/6-1,2(0,69), внешний вид которого изображён на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид трансформатора ТС-630/6-1,2(0,69)

Основные параметры данного трансформатора приведены в таблице 1.

<sup>1</sup> Гистерезис - явление, которое состоит в том, что намагниченность  $H$ , А/м, неоднозначно зависит от величины магнитной индукции  $B$ , Тл.

<sup>2</sup> Вихревой ток – электрический ток, движущийся по кругу; возникает в проводнике под воздействием переменного магнитного поля.

Таблица 1 – Параметры трансформатора ТС-630/6-1,2(0,69)

Параметр	Значение
Мощность, кВА	630
Номинальное напряжение обмотки ВН, кВ	6
Номинальное напряжение обмотки НН, кВ	1,2 (0,69)
Частота сети, Гц	50
Материал магнитопровода	Электротехническая сталь Т120-27s
Материал обмоток	Медь (провод ПСДКТ)
Количество витков обмотки ВН	245
Количество витков обмотки НН	49

*Анализ холостого хода силового трансформатора посредством программы Infolytica MagNet.*

Перед началом работы с программным обеспечением (далее ПО) Infolytica MagNet, следует построить 3D модель рассматриваемого трансформатора в любой системе автоматизированного проектирования (например, Компас 3D) и сохранить её в формате .sat. Далее следует импортировать полученный файл в ПО Infolytica MagNet.

В импортированной модели необходимо определить материалы заданной модели (для магнитопровода – электротехническую сталь, а для обмоток – медь). Далее необходимо задать граничные условия (вокруг трансформатора сухого типа – воздух) (см. рисунок 2).

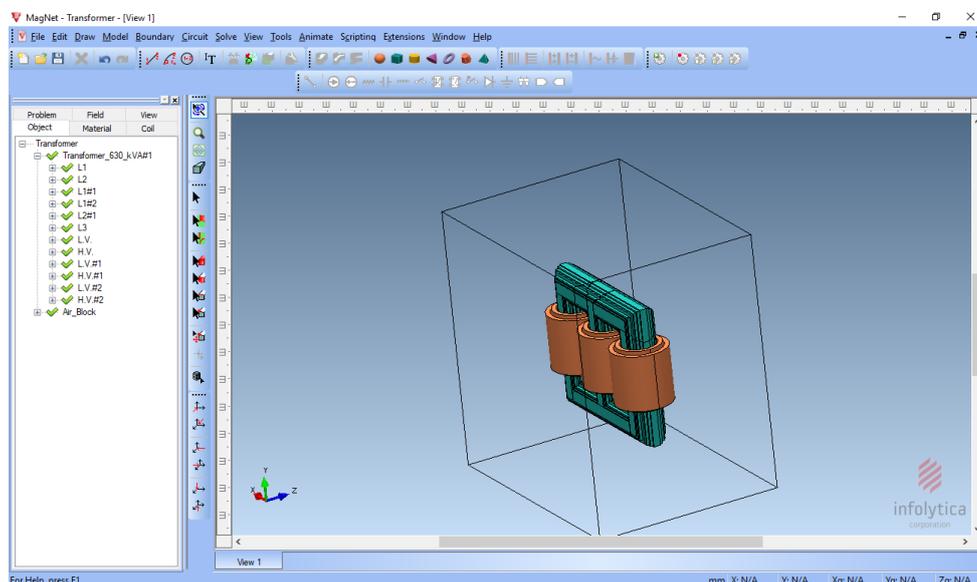


Рисунок 2 – Моделируемый трансформатор в ПО Infolytica MagNet с заданными материалами

Далее в исследуемой модели следует определить обмотки ВН и НН, создать схему соединения обмоток, выполнить разбиение твердотельной модели сеткой, относительно которой будет осуществлен расчет.

В результате расчёта ПО можно посмотреть ток намагничивания (рисунок 3).

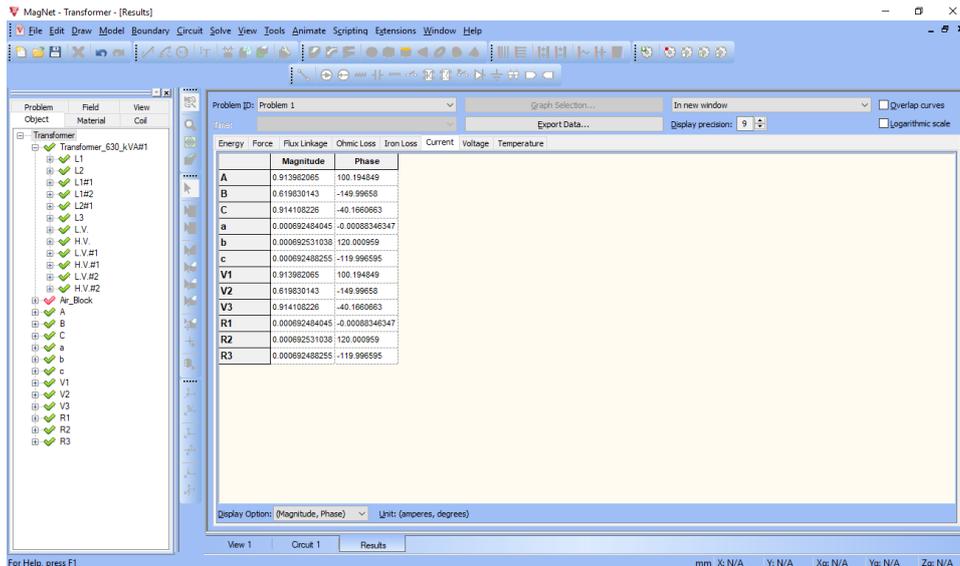


Рисунок 3 – Окно результата полученного тока холостого хода в ПО Infolytica MagNet

Также можно посмотреть остальные результаты расчёта, такие как: потери мощности, величины электромагнитных сил, активные (омические) потери и т.д.

Полученные параметры, а также величины напряженности, магнитной индукции (рисунок 4) можно рассмотреть визуально на исследуемой модели.

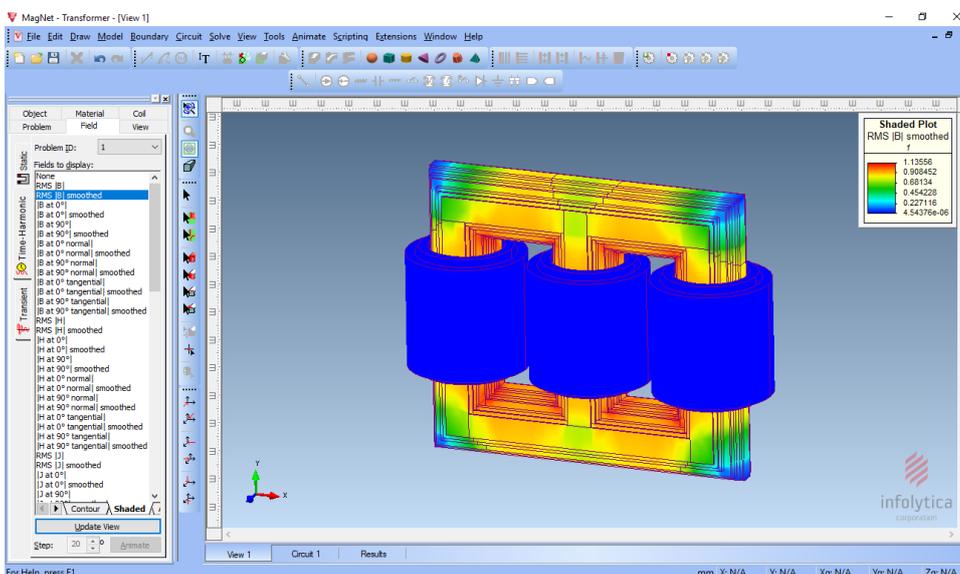


Рисунок 4 – Визуализированная величина магнитной индукции исследуемой модели

Проведение опыта холостого хода силового трансформатора при помощи прибора «ПРОФКИП К540М».

Для проведения опыта холостого хода с применением прибора К540М необходимо собрать электрическую схему, приведённую на рисунке 5.

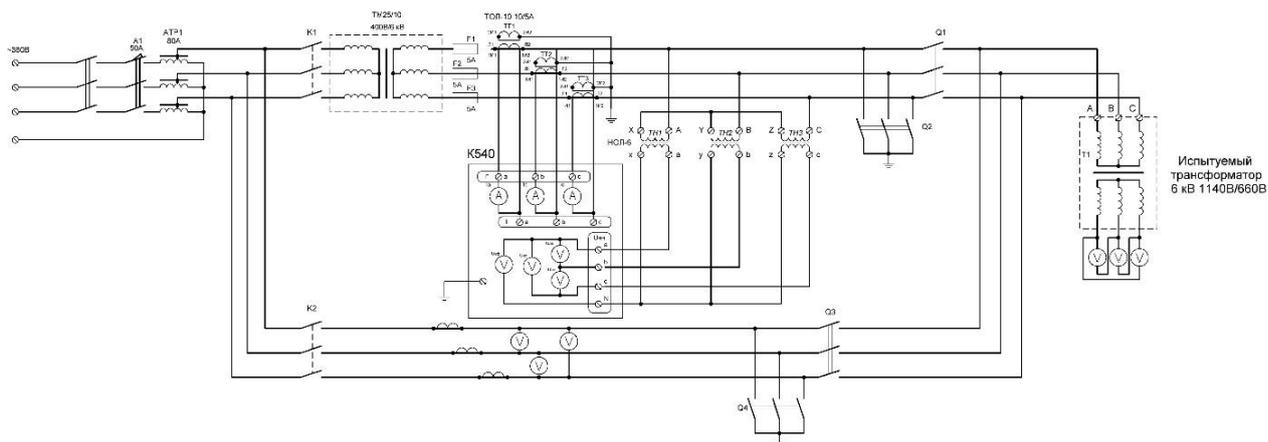


Рисунок 5 – Схема проведения опыта холостого хода при помощи прибора «ПРОФКИП К540М»

При проведении опыта холостого хода изображение полученных результатов представлено на дисплее прибора К540М (рисунок 6).



Рисунок 6 – Внешний вид заставки режима «Опыт холостого хода»

Сравнительный анализ результатов, полученных эмпирическим путём с результатами компьютерного моделирования представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Сравнительный анализ полученных данных опытов холостого хода трансформатора ТС-630/6-1,2(0,69)

Линейное напряжение, В	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	6000	6600
Эмпирические данные									
Ток холостого хода, А	0,048	0,062	0,075	0,091	0,112	0,163	0,32	0,983	1,364
Моделирование в ПО Infolytica MagNet									
Ток холостого хода, А	0,050	0,065	0,078	0,096	0,115	0,167	0,329	1,02	1,42
Ошибка по току, %	8,3	4,8	4,0	5,5	2,7	2,5	2,8	3,8	4,1

**Вывод:** в ходе проведённого анализа следует сделать вывод о возможности моделирования трансформатора в программной среде Infolytica MagNet при проектировании трансформатора. Полученная ошибка объясняется тем, что для магнитопровода была выбрана стандартная изотропная сталь, а

не применяемая анизотропная, которой в стандартной библиотеке материалов не оказалось. В дальнейшем, эту ошибку можно исключить, создав новый материал с характеристиками данной анизотропной стали.

#### Библиографический список

1. Анализ холостого хода силового трансформатора. Учебный материал по изучению MagNet 3D. Решатель Time-Harmonic. [Электронный ресурс] // ZINATEK FEA ENGINEERING. URL: [http://www.zinatek.ru/pdf/Zinatek\\_MagNet.pdf](http://www.zinatek.ru/pdf/Zinatek_MagNet.pdf) (дата обращения: 8.04.2018).

2. Руководство по эксплуатации K5403-01-1.00.00.00РЭ. [Электронный ресурс] // Prom Electric. URL: <http://prom-electric.ru/media/k540-3.pdf> (дата обращения: 8.04.2018).

УДК 621.314.222.6:004.94

## **РЕШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗАДАЧ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ INFOLYTICA MAGNET ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В ВЗРОВОЗАЩИЩЕННЫХ ПОДСТАНЦИЯХ**

**Малышев А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Иванов А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [malyshev1994@yandex.ru](mailto:malyshev1994@yandex.ru)*

Данная статья посвящена использованию компьютерных технологий при проектировании силовых трансформаторов, применяющихся в передвижных участковых понизительных подстанциях для электроснабжения токоприёмников шахт опасных по газу и пыли. Проведён обзор возможностей использования программной среды Infolytica MagNet для решения электромагнитных задач силовых трансформаторов при помощи метода конечных элементов для 3D модели.

Ключевые слова: силовой трансформатор, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, Infolytica MagNet, магнитные потери.

Тяжелые условия эксплуатации трансформаторов в подземных выработках предъявляют к ним требования большой механической прочности, безопасности в отношении взрыва и пожара, небольших размеров, достаточной устойчивости и удобства транспортирования. Также стоит отметить, что режимы работы и графики нагрузки шахтных трансформаторов и подстанций характеризуются большой неравномерностью нагрузки в течение эксплуатации.

К показателям, характеризующим режим работы и графики нагрузки шахтных трансформаторов, относятся: коэффициенты использования по ак-

тивной мощности и току, коэффициент максимума, коэффициент спроса, коэффициент суточного графика нагрузки, коэффициент загрузки и др.

На рисунке 1 в качестве примера представлен график нагрузки трансформатора [2] при режиме работы участка в 3 рабочие смены длительностью по 6 часов с перерывом между ними 1 ч и с нагрузкой, равной 25 % номинальной в оставшиеся 4 ч.

Приведённый на рисунке 1 график характерен только для одного участка, на котором проводились указанные исследования. Также известно, что горно-геологические условия угольных месторождений могут изменяться даже в пределах одного участка шахты. Различия условий могут быть настолько существенными, что нагрузка одного и того же комплекса машин, потребляющих электроэнергию, может значительно различаться. Откуда следует вывод, что построение типового графика нагрузки шахтного трансформатора не представляется возможным.

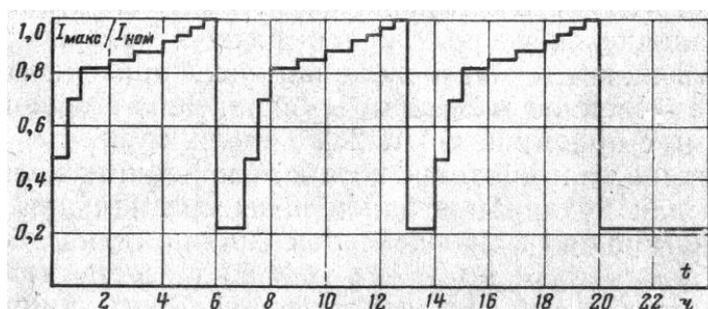


Рисунок 1 – Упорядоченный график нагрузки шахтного участкового трансформатора

Допустимые систематические перегрузки трансформатора и их продолжительность зависят от предшествующей нагрузки, температуры окружающей среды и допускаемого износа изоляции. Если температура окружающей среды в шахтной атмосфере не имеет резких сезонных колебаний, то нагрузка в течение смены, как было выяснено ранее, различна.

В соответствии с этими требованиями применяемые в шахтах трансформаторы имеют значительные конструктивные отличия от трансформаторов в общепромышленном исполнении.

Для более рационального использования электрической энергии желательно использовать трансформатор, рассчитанный для конкретных условий эксплуатации. Но данный вид трансформатора не всегда можно найти в каталогах, поэтому бывает необходимо изготовить трансформатор на заказ.

В условиях серьёзной конкуренции на рынке производителей, требуется быстро спроектировать и оценить характеристики трансформатора. Стандартные методики расчета [1] предполагают наличие эмпирических коэффициентов, которые значительно влияют на конечный результат. При этом разброс параметров стали, калибра провода (имеет допуски при производстве) так же влияют на характеристики проектируемого трансформатора, и при стандарт-

ных методах расчета получают ошибки. Дальнейшее производство позволяет подкорректировать поправочные коэффициенты при заданных производственных условиях. В тоже время, это оказывается невозможным при единичном индивидуальном производстве, освоении новых видов трансформаторов, а такие ошибки значительно влияют на прибыль предприятия.

С появлением быстродействующих ЭВМ развитие получил численный метод расчёта – метод конечных элементов (МКЭ). Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Данный метод позволяет учитывать реальные, зависящие от заданных требований, свойства, рассматривать достаточно сложные по виду области расчёта и выполнять расчёты без тех допущений, которые принимаются при моделировании аналитическим методом. Метод конечных элементов обладает следующими преимуществами:

- рассматриваемая геометрия может быть любой, поскольку она определяется независимо от компьютерной программы;
- возможность определения расчётных параметров в любой точке рассматриваемой области;
- поскольку уравнения МКЭ решаются одновременно, существует возможность учесть все взаимодействия, имеющие место в системе, с высокой степенью точности.

На основе метода конечных элементов фирмой Infolytica разработано программное обеспечение MagNet, позволяющее проводить полные и точные электромагнитные 2D/3D расчеты.

MagNet – ПО, которое в настоящее время доступно для моделирования электромагнитных устройств на персональном компьютере. Оно представляет собой «виртуальную лабораторию», в которой пользователь может создавать модели из магнитных материалов и катушек, просматривать различные электромагнитные характеристики в виде графиков и получать численные значения для таких величин, как напряжение, сила тока, напряженность, электрические потери мощности и т.д.

MagNet обладает множеством функций для проектирования и анализа трансформаторов:

- расширенные возможности определения потерь при временном анализе позволяют точно вычислять потери на гистерезис и вихревые токи, а также потери в смежных конструктивных элементах;
- 3D-анализ обеспечивает получение более точных результатов с оценкой потерь в смежных конструктивных элементах;
- статический, гармонический и переходный анализ как электрических, так и магнитных полей в трансформаторе;
- специальные инструменты для эффективного моделирования потерь в компонентах с выраженным скин-эффектом (граничные условия нелинейного импеданса поверхности);

- моделирование эффектов ионного дрейфа;
- термальный анализ позволяет проводить сопряженный магнитно-термальный анализ с учетом температурного влияния на магнитные свойства и проводимость материалов (библиотека материалов учитывает свойства, зависящие от температуры);
- инструменты, помогающие анализировать потери в обмотках;
- возможность создания сложных сценариев, включая технологию ActiveX для подключения MagNet к стороннему программному обеспечению (например, MATLAB, Excel, MathCad).

Частотный анализ. Общая модель трехфазного трансформатора показана на рисунке 2. При выполнении магнитного анализа задаются материалы для различных компонентов трансформатора и катушки (сечение проводника и количество витков). При этом анизотропные свойства стали задаются для каждого компонента в соответствии с шихтовкой электротехнической стали. Результат моделирования действующих значений индукции магнитного поля трансформатора ТС-1000/6-0,69(0,4) приведён на рисунке 3.

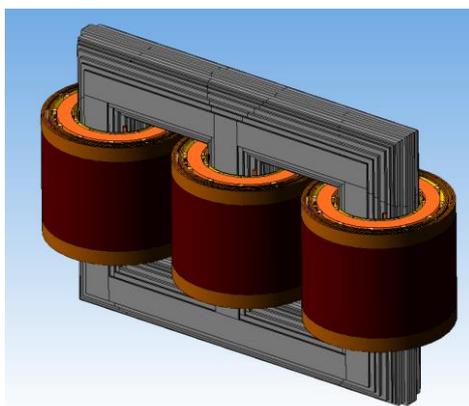


Рисунок 2 – Геометрическая 3D модель трансформатора ТС-1000/6-0,69(0,4)

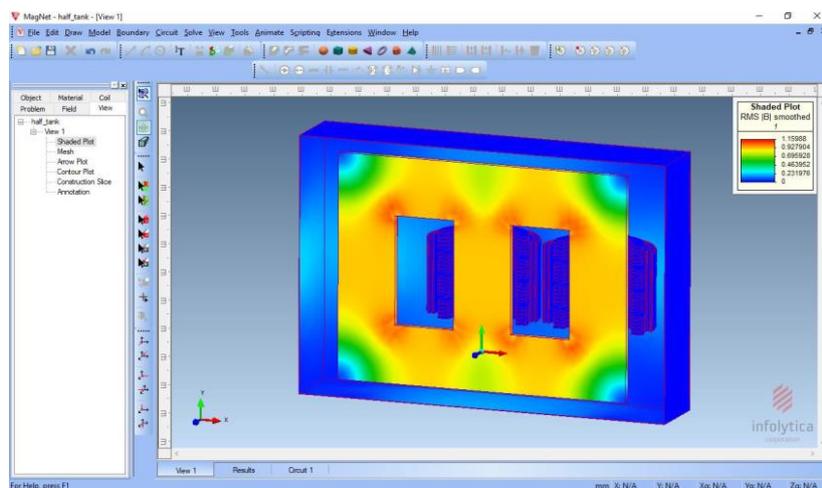


Рисунок 3 – Моделирование действующих значений магнитного поля трансформатора

Анализ переходных процессов. Метод, используемый для вычисления потерь в MagNet, основан на использовании уравнения Штейнмеца, учитывающего потери на вихревые токи. Таким образом, потери в железе можно разделить на два компонента – потери на гистерезис и потери на вихревые токи.

Расчет потерь в стальных элементах конструкции трансформатора. Особую озабоченность вызывают дополнительные потери, вызванные вихревыми токами, например, в стенках трансформаторного бака или взрывозащитной оболочке, зажимных конструкциях и других стальных деталях. Однако при расчете «скин» эффект может быть очень выраженным, и в таком случае для точного прогнозирования потерь и сокращения времени расчета применяется специальный вид граничных условий - Non-Linear Surface Impedance Boundary Condition (граничные условия нелинейного импеданса поверхности).

Потери в обмотках. Стандартно при расчете определяются потери для каждой обмотки электромагнитной системы, при этом увеличивается время расчета. Чтобы избежать чрезмерного времени расчета (при расчете, учитывающем изоляцию между витками) можно использовать граничное условие Perfect Electric Insulator (идеальный электрический изолятор), что значительно сокращает время расчета.

Термальный анализ. Повышение температуры в результате различных потерь во время работы трансформатора влияет на характеристики материалов, зависящих от температуры. MagNet позволяет проводить сопряженный магнитно-термальный анализ с учетом температурного влияния на магнитные свойства и проводимость материалов (библиотека материалов учитывает свойства, зависящие от температуры). Примеры расчета термального анализа трансформатора ТС-1000/6-0,69(0,4) представлены на рисунках 4, 5.

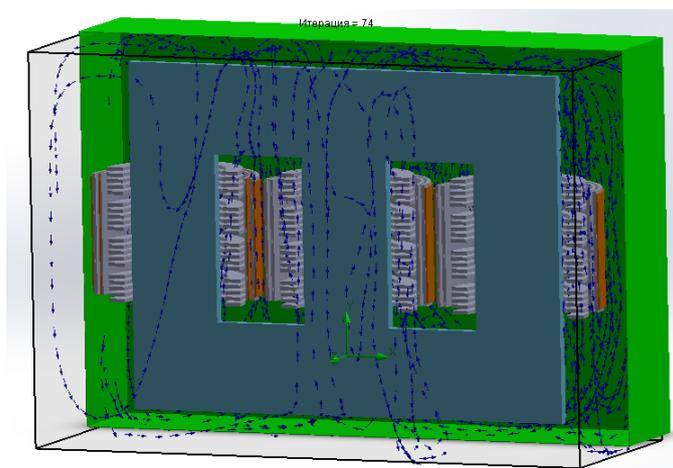


Рисунок 1 – Анализ режимов охлаждения ТС-1000/6-0,69(0,4).  
Расчёт потоков воздуха

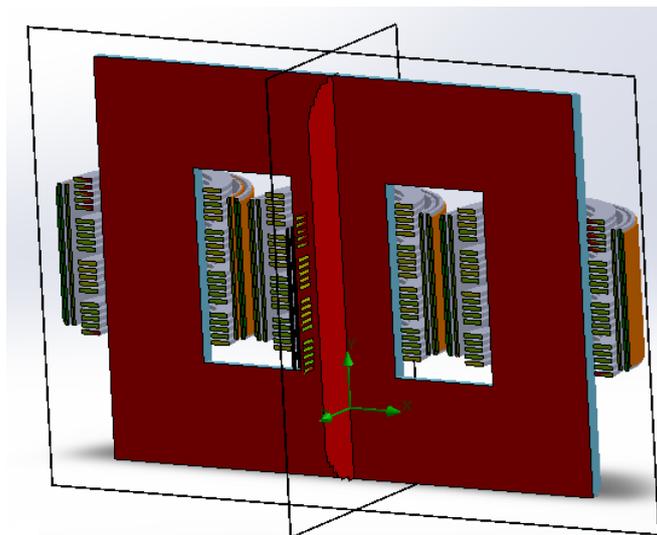


Рисунок 5 – Анализ режимов охлаждения трансформатора ТС-1000/6-0,69(0,4). Расчёт температуры элементов

#### Библиографический список

1. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов: учебное пособие для вузов / П.М. Тихомиров. – изд. 5-е., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 544 с.
2. Михайленко Э.П. Нагрузочная способность трансформатора / Э.П. Михайленко, А.И. Плетнев. – М.: Энергия, 1973. – 56 с.

УДК 622.243

### **УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН**

**Никитин А.И., Риб С.В., Никитина А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am\_78@mail.ru*

В данной статье рассматривается вопрос об учёте длины дегазационных скважин с использованием QR-кода с целью повышения контроля за качеством бурения в подземных условиях.

Ключевые слова: шахта, горная выработка, дегазация, скважина.

На угольных шахтах при высоких нагрузках на очистные забои возможности вентиляции уже не могут обеспечить повышение производительности горных работ. Метан, выделяющийся в горные выработки, сдерживает темпы добычи угля, повышает его себестоимость и снижает уровень безопасности труда шахтеров. Использование высокопроизводительной техни-

ки приводит к обострению проблем подготовки фронта очистных работ и метанобезопасности, так как сокращаются возможные сроки дегазации, снижается её эффективность [1-4]. В условиях преобладания способов текущей дегазации для роста нагрузки на очистные забои ограничивающим фактором становится газовыделение из разрабатываемого пласта.

По окончании бурения скважины исполнители вызывают сотрудника шахты, который осуществляет контроль за количеством извлеченного бурового инструмента, после этого скважина вводится в эксплуатацию (рисунок 1).

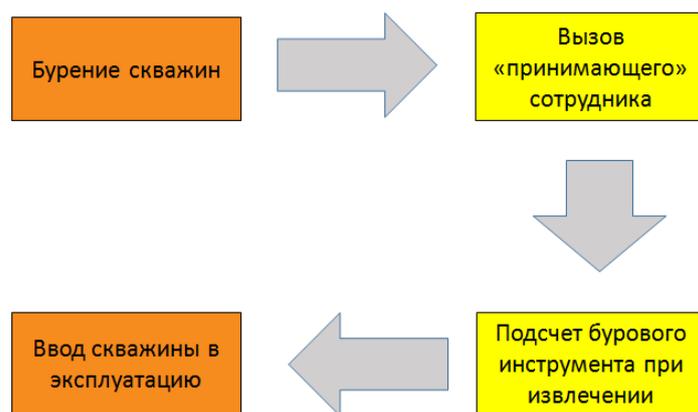


Рисунок 1 - Порядок приёмки скважины

При приеме скважин, для получения достоверной информации о её длине необходимо присутствие сотрудника шахты в течении всего процесса извлечения бурового инструмента (2-3 часа на 120 метров). При большом количестве скважин и протяженной системе горных выработок, присутствие «принимающего» физически невозможно, что не дает достоверной информации о длине скважин.

В настоящей статье предлагается техническое решение проблемы по контролю за качеством бурения: универсальный автоматизированный учет измерения длины дегазационных скважин с использованием QR-кода. QR-код- это матричный код (двумерный штрих-код). Аббревиатура QR (quick response) означает "быстрый отклик". Возможность распознавания кодов сканирующим оборудованием позволяет закодировать любую информацию.

Описание решения:

- гравировать лазером QR код на все буровые штанги (QR код обеспечивает уникальность посылаемой штанги и их учёт) (рисунок 2).

- установить универсальный считыватель на лицевую часть бурового станка (АБГ-300, ДН и др);

- данные от считывателя предлагается хранить в энергонезависимой памяти и передавать по системе Flexcom горному диспетчеру, который может таким способом контролировать процесс бурения;

- на месте оператора бурового станка будет установлен экран визуализации количества штанг в скважине.



Рисунок 2- QR-код, нанесённый на буровую штангу  
 Оборудованный QR-считывателем станок показан на рисунке 3.

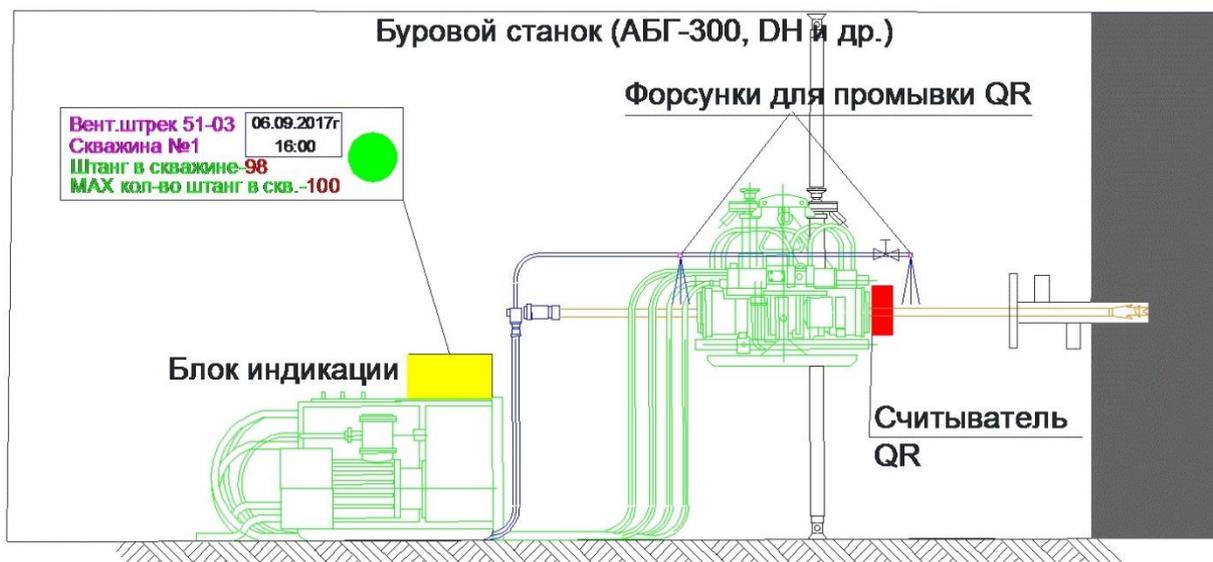


Рисунок 3 – Буровой станок, оборудованный QR-считывателем

Вспомогательное решение. Установка в гидросистему бурового станка расходомер совместно с датчиком давления по пути подачи рабочей жидкости в гидроцилиндр. На датчике давления устанавливается уставка, равная минимальному рабочему давлению при бурении, как только рабочий орган бурового инструмента достигает забоя скважины и вбуривается в массив и рабочее давление достигает уставки расходомер включается в работу (рисунок 4). Данные передаются на модуль передачи данных системы позиционирования и формируются в графическом виде у горного диспетчера с переводом информации в пройденные метры.



Рисунок 4 - Расход рабочей жидкости на подачу бурового инструмента

При бурении скважины, контролируются два параметра: расход и давление рабочей жидкости на подачу бурового инструмента. На манометре выставляется уставка рабочего давления при бурении. При давлении ниже уставки расход рабочей жидкости не учитывается. Программа переводит полученные данные в количество метров.

Таким образом, для соблюдения проектной длины дегазационных скважин предлагается использовать универсальный автоматизированный учет измерения длины дегазационных скважин, который обеспечит:

- непрерывный мониторинг за бурением;
- повысит безопасность горных работ;
- положительно повлияет на трудовую дисциплину.

#### Библиографический список

1. Опыт, проблемы и перспективы дегазации углепородных массивов [Текст] / С.В. Сластунов [и др.] // Уголь.-2011.- №3.-С.11- 20.
2. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие [Текст] / А.Д. Рубан; под общ.ред. А.Д. Рубана. – М.: Горная книга, 2010. – 500 с.
3. Найданова А.В. Повышение эффективности дегазации путем увеличения газоотдачи угольного пласта / А.В. Найданова, А.М. Никитина, С.В. Риб, – Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – С. 18–21.
4. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. – М.: ЗАО НТЦ ПБ. – 2012. – 250 с.

## **ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ**

**Петровский С.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук Пугачёва Э.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Рассматривается преимущество использования частотного преобразователя с векторным управлением для регулирования скорости вращения электродвигателя вентилятора главного проветривания.

Ключевые слова: управляемый электропривод, векторное управление, частотный преобразователь, энергосберегающие технологии.

На сегодняшний день современная жизнь невозможна без применения электропривода. Электроприводы турбомеханизмов потребляют не менее 20-25% всей вырабатываемой электроэнергии и в большинстве случаев остаются нерегулируемыми, что не позволяет получить режим рационального энергопотребления. На горных предприятиях электроэнергия, потребляемая электроприводом вентилятора главного проветривания, составляет около 30-50% от всей потребляемой электроэнергии.

Радикальный способ модернизации в электроприводе – это переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому, то есть подача к рабочему органу технологической установки требующейся в каждый момент мощности при минимальных потерях во всех элементах силового канала. При этом исчезает необходимость в переключении обмоток статора с треугольника на звезду.

Задача управления электроприводом заключается в плавном пуске (остановке) двигателя, плавном регулировании скорости вращения ротора электропривода и оценке производительности электропривода. Решение данного вопроса осуществляется самыми разными способами.

Регулирование скорости вращения двигателей вентиляторов главного проветривания, как правило, осуществляется с помощью использования механических вариаторов, электромагнитных муфт скольжения и электронных регуляторов. Проблемами, с которыми сталкивается технический персонал с применением первых двух устройств, является выход из строя механически изнашиваемых элементов, особенно в запыленных, взрывоопасных и загрязненных средах. Преимущество электронных регуляторов в том, что они легки в настройке и лишены недостатков электромагнитных муфт и вариаторов.

Самый массово производимый электродвигатель – это асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. В настоящее время внима-

ние сосредоточено на улучшении его показателей и точности регулирования.

Для изменения скорости вращения асинхронного электродвигателя можно использовать полупроводниковые преобразователи частоты. Электропривод в этом случае состоит из электродвигателя, преобразователя частоты и системы автоматического управления.

Благодаря развитию электроники, применение современных силовых модулей, использование современных биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) появилась возможность общего применения преобразователей частоты для асинхронных двигателей, что ранее было труднодоступно.

Частотное регулирование заключается в изменении частоты и амплитуды напряжения трехфазного источника питания. На данный момент используют два типа преобразования частоты: промежуточный контур постоянного тока и использование непосредственной связи.

Использование непосредственной связи дает возможность регулировать частоту в диапазоне 20-35 Гц, так как максимальное значение выходной частоты не может быть равным частоте питающей сети.

Преобразователи частоты с промежуточным контуром постоянного тока (рисунок 1) являются самыми востребованными среди частотных преобразователей. С их помощью можно регулировать частоту от 0 до нескольких тысяч герц.

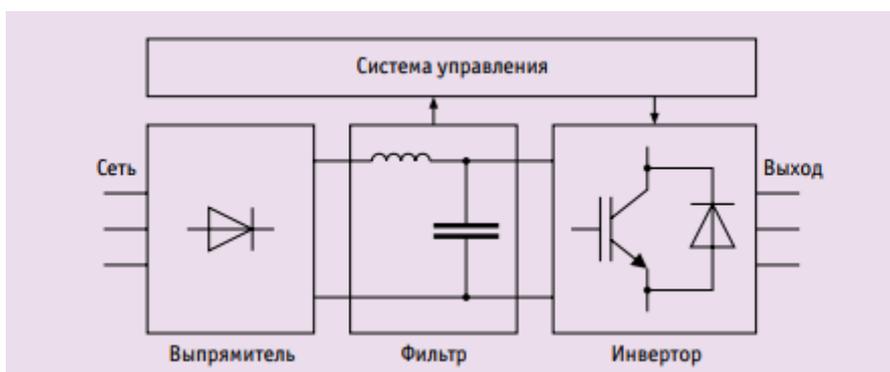


Рисунок 1 – Схема частотного преобразователя с промежуточным контуром постоянного тока

Напряжение сети переменного тока преобразуется с помощью выпрямителя в постоянный ток, затем сглаживается емкостным фильтром, а после этого осуществляется процесс обратного преобразования из постоянного тока в переменный. Именно после такого преобразования напряжения возможно получить необходимое значение напряжения и частоты. В инверторах применяют метод высокочастотных широтных импульсных модуляций (ШИМ), то есть выходной сигнал представляет собой последовательные импульсы напряжения постоянной амплитуды и меняется лишь продолжительность импульсов. Благодаря данному способу, можно регулировать напряжение в большом диапазоне.

Главные требования к электроприводу являются диапазон регулируемой скорости и тип нагрузки. Для увеличения качества управления двигателем вентилятора главного проветривания используется совершенный способ определения параметров электродвигателя. Использование вычислительных устройств, которые передают данные о состоянии двигателя, позволяют создавать математическую модель двигателя для придания определенного положения ротору.

Например, использование абсолютного энкодера (датчик скорости) позволяет получать данные о скорости вращения ротора для моделирования системы управления скоростью вращения двигателя в любой момент времени, так как для плавного регулирования необходимо постоянно сравнивать данные, которые задаются системой и данные, которые есть на самом деле. Управление моментом при скорости, близкой к нулевой, невозможно без применения датчиков скорости. Они используются для создания обратной связи по скорости.

В наиболее распространенном частотно регулируемом приводе на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором применяются скалярное и векторное частотное управление.

При скалярном управлении по определенному закону изменяют амплитуду и частоту приложенного к двигателю напряжения. Изменение частоты питающего напряжения приводит к отклонению от расчетных значений максимального и пускового моментов двигателя, к.п.д., коэффициента мощности. Поэтому для поддержания требуемых рабочих характеристик двигателя необходимо с изменением частоты одновременно соответственно изменять и амплитуду напряжения.

Скалярное управление достаточно для большинства практических случаев применения частотно регулируемого электропривода с диапазоном регулирования частоты вращения двигателя до 1: 40.

Векторное управление позволяет существенно увеличить диапазон управления, точность регулирования (погрешность регулирования менее 1 %), повысить быстродействие электропривода. Этот метод обеспечивает непосредственное управление вращающим моментом двигателя. Среди векторного управления наиболее широко используется прямое управление моментом.

Следует отметить, что регулирование частоты с помощью векторного управления позволяет плавно регулировать скорость вращения вала двигателя вентиляторной установки, сглаживает высшие гармоники, за счет использования сетевого дросселя, который так же обеспечивает защиту от перенапряжений. Синусный фильтр на выходе преобразователя подает практически синусоидальные напряжения на двигатель, поэтому можно использовать стандартные двигатели без специального кабеля.

В настоящее время производством систем автоматизации рудничных установок занимаются фирмы: Schneider Electric (Франция), Softlink (Китай), Овен (Россия), Siemens (Германия) и другие.

Векторный способ плавного управления вентилятора главного проветривания реализуется следующим образом. Для управления вентилятором главного проветривания используется преобразователь частоты (ПЧ). В состав ПЧ входит силовой модуль и управляющий модуль.

Силовой модуль предназначен для управления асинхронным двигателем, который к нему подключается. Управление производится в соответствии с командами, получаемыми от управляющего модуля, который построен на модели векторного управления. В зависимости от варианта исполнения ранжируются геометрические размеры корпуса и максимальная мощность исполнительного устройства.

Управляющие модули (рисунок 2) унифицированы, что облегчает работу по настройке преобразователей частоты с различными силовыми модулями. Модуль включает в себя набор аналоговых и цифровых входов и выходов для подключения внешних устройств.



Рисунок 2 – Управляющий модуль преобразователя частоты фирмы Siemens

К преобразователю частоты подключается программно-логический контроллер (рисунок 3), предназначенный для управления, мониторинга состояния оборудования, дистанционного управления.



Рисунок 3 – Программно логический контроллер фирмы Siemens

По объёму потребления электрической энергии вентилятор главного проветривания считается самым энергоёмким потребителем горного предприятия. Поэтому правильный расчет и выбор регулирующих устройств его

электропривода является одним из ключевых факторов в повышении экономической эффективности работы предприятия.

Если взять в качестве примера работу рудника, то работа осуществляется в два этапа: взрывной и добычной. Для проветривания выработок рудника во время взрывной смены необходимо увеличить напор подаваемого воздуха. В межсменные перерывы возможно уменьшение подаваемого напора воздуха. Это позволяет экономично использовать потребляемую главным вентилятором электроэнергию.

Преобразователь частоты, построенный на базе векторного управления, применяемый для регулирования скорости вращения электродвигателем вентилятора главного проветривания дает возможность не только управлять электроприводом и контролировать его состояние, но и позволяет существенно увеличить отказоустойчивость всей системы управления, а также экономию потребляемой электроэнергии.

УДК 621.3 (07)

## **КОГЕНЕРАЦИЯ ШАХТНОГО МЕТАНА ДЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Черданцев А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук доцент Громова О.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: nvkz\_cherdan@mail.ru*

В статье рассматривается технология по утилизации метана, с целью внедрения технологии для выработки электроэнергии на угольных предприятиях, а также для получения положительного экономического эффекта и улучшения экологической обстановки в Кемеровской области.

Ключевые слова: когенерация, утилизация шахтного метана, киотский протокол, угольные предприятия, экология, экономический эффект, когенерационные установки, дегазационные установки, карбон-кредит.

Сегодня, используя современные технологии, а также осознавая потенциал шахтного метана, все больше компаний производят тепло- или электроэнергию для собственных нужд.

С одной стороны, шахтный газ, сродни природному газу обладает полезными свойствами горючего топлива, с другой стороны, при попадании в атмосферу он наносит сильнейший урон экологической обстановке. Основной компонент шахтного газа, метан (СН<sub>4</sub>), в 21 раз сильнее, чем углекислый газ (СО<sub>2</sub>) по своей способности создавать парниковый эффект на планете.

Международное внимание к проблемам изменения климата повлекло за собой создание Киотского Протокола, а также интерес к проблеме утили-

зации шахтного газа.

В России наиболее значимые выбросы метана связаны с шахтами Кузбасса. Здесь среднее содержание метана в угольных пластах достигает 20-25 м<sup>3</sup>/т угля, а средние удельные выбросы достигают 8 кг метана на 1 т добытого угля. Суммарные выбросы метана в атмосферу составляют 1,5-2 млрд. м<sup>3</sup> в год [1].

Одним из эффективных способов утилизации шахтного метана, капитируемого средствами дегазации, является использование когенерационных установок, в которых реализовано совместное производство электричества и тепла (рисунок 1).

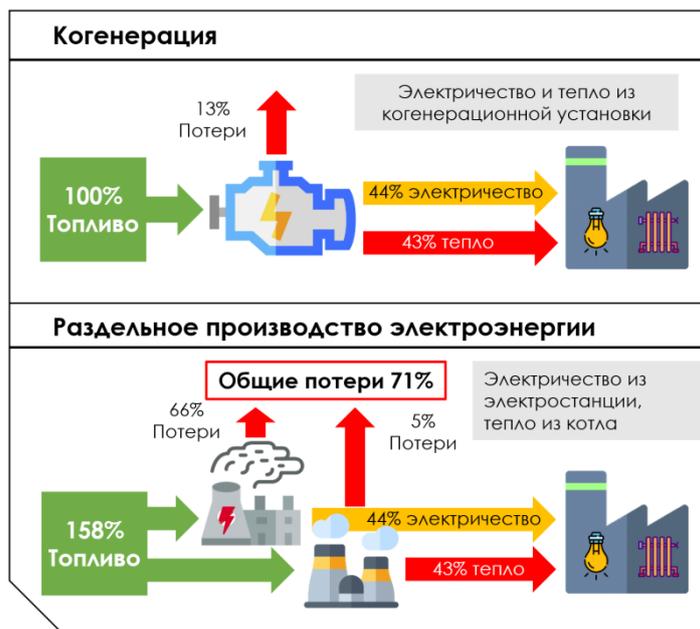


Рисунок 1 – Экономия энергии первичного источника посредством когенерации

Когенерация есть термодинамическое производство двух или более форм полезной энергии из единственного первичного источника энергии. Первичным источником выработки электрической энергии является механический привод, который вращает ротор электрогенератора. Газопоршневый двигатель, газовая или паровая турбина вращают этот механический привод за счет сжигания газа. Тепловая энергия получается за счёт утилизации тепловых потерь.

Когенерационные установки отличаются высоким коэффициентом полезного использования энергии, содержащейся в топливе, который может составить около 95 % [2].

Рассмотрим эффективность когенерационных установок на примере одной из шахт Кузбасса, с дегазационной установкой на базе ротационных насосов RVS-60. В постоянной эксплуатации пять насосов с поддержанием разряжения в трубопроводе 200 мбар. По результатам проведенного анализа был построен график (рисунок 2) изменения расхода МВС и концентрации

метана в течение 2017 года. На протяжении года средняя концентрация составляла 24,18%, а расход МВС был в среднем 119,25 м<sup>3</sup>/мин.

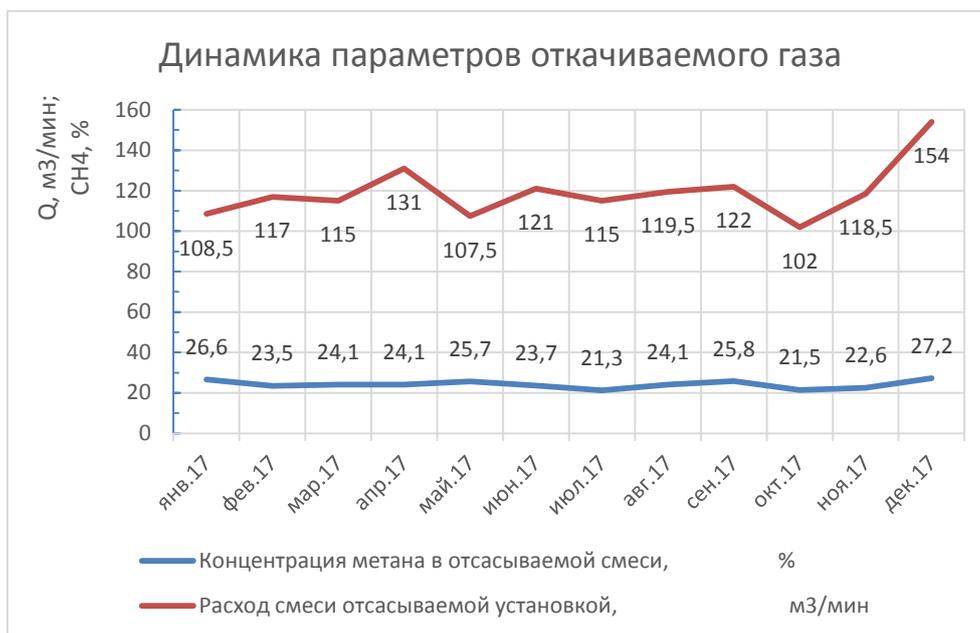


Рисунок 2 – Изменение параметров газа, откачиваемого МДУ в течение 2017 года

Учитывая график зависимости требуемого объема МВС от концентрации метана для работы электростанции мощностью 1МВт (рисунок 3), по данным анализа (рисунок 2) нетрудно подсчитать какое количество когенерационных установок можно установить на предприятии и какой электрической мощностью они должны обладать, чтобы утилизировать шахтный газ.

Предположим что использовать мы сможем только 50% общего объема МВС, тогда рядом с дегазационной установкой можно поставить когенерационную установку мощностью:

$$S_{\text{кгу}} = \frac{Q_{\text{д.ус}}}{Q_{\text{кгу}}} \cdot 0,5 \cdot P_{\text{кгу}}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{кгу}}$  – максимальная электрическая мощность установленной КГУ;

$Q_{\text{д.ус}}$  – расход МВС откачиваемой дегазационной установкой, с концентрацией метана 25%;

$Q_{\text{кгу}}$  – расход МВС когенерационной установкой, с концентрацией метана 25 % и мощностью 1 МВт;

$P_{\text{кгу}}$  – электрическая мощность одной когенерационной установки.

$$S_{\text{кгу}} = \frac{119,25}{18} \cdot 0,5 \cdot 1 = 3,3 \text{ МВт.}$$

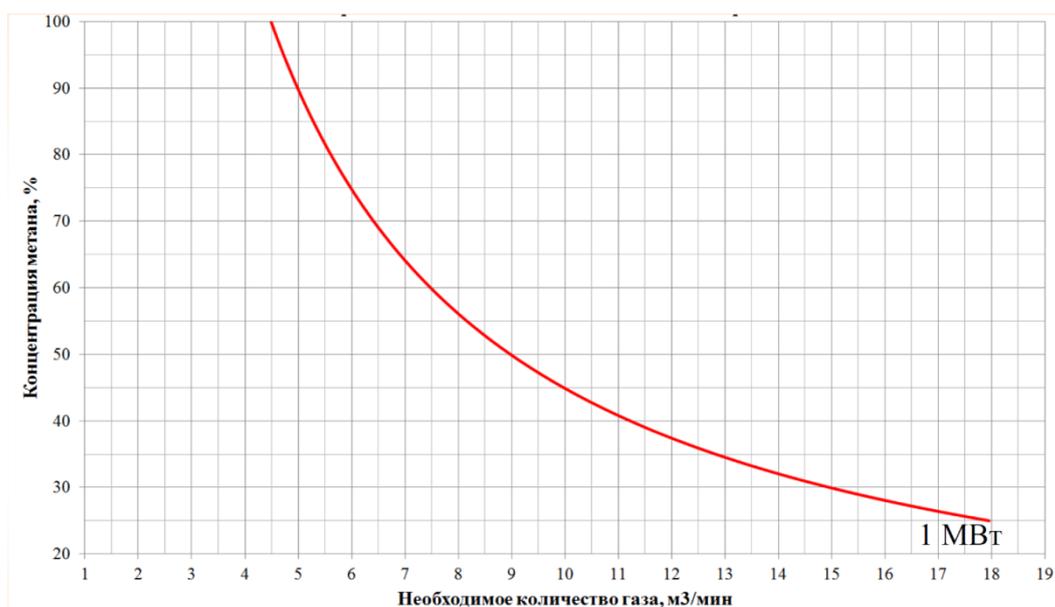


Рисунок 3 – График зависимости требуемой объема МВС от концентрации метана для работы одной электростанции мощностью 1 МВт

Если учесть, что среднее энергопотребление шахты составляет 6÷8 МВт·ч, то совместная работа дегазационной и когенерационной установок, может обеспечить электроэнергией до 50% энергопотребления предприятия.

Дополнительные возможности утилизации шахтного газа предоставляет Киотский протокол. В основе Киотского Протокола — идея контроля за выбросами вредных газов, в число которых входит метан. Эти выбросы измеряются в тоннах углекислого газа, те, кто сокращает выбросы, могут получить углеродные кредиты с правом их дальнейшей перепродажи.

По своему воздействию на окружающую среду метан является более опасным газом и поэтому 1 т сокращенных выбросов метана приравнивается к 21 т углеродного газа. На 08.02.2018 цена одного карбонового кредита составляла 8,88 евро за одну тонну диоксида углерода CO<sub>2</sub>, согласно Киотскому протоколу уменьшение количества выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу принесет угольному предприятию дополнительную ежегодную прибыль в размере:

$$P_{\text{г.доп}} = Q_{\text{CO}_2} \cdot C_{\text{CO}_2} \cdot \text{€}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{CO}_2}$  – сокращенное количество выбросов метана угольным предприятием эквивалентное диоксиду углерода, т;

$C_{\text{CO}_2}$  – цена одного карбонового кредита, евро;

€ – курс евро на 08.02.2018, руб.

$$Q_{\text{CO}_2} = 21 \cdot Q_{\text{КГУ}} \cdot T_{\text{КГУ}} \cdot \rho, \quad (3) \text{ где}$$

$Q_{\text{КГУ}}$  – расход метана КГУ при концентрации 100%, м3/ч;

$T_{\text{КГУ}}$  – количество часов работы в КГУ в год, ч;

$$\rho = 0,554 \text{ кг/м}^3$$

$\rho$  – плотность метана, .

$$Q_{CO_2} = 21 \cdot (3,3 \cdot 18 \cdot 0,25 \cdot 60) \cdot 6500 \cdot \frac{0,554}{1000} = 67\,378 \text{ т/год};$$
$$P_{\text{г.доп}} = 67\,378 \cdot 8,88 \cdot 70 = 41\,882\,358 \text{ руб/год.}$$

Выгода от использования когенерационных систем является очевидной. Помимо обеспечения до 50% энергопотребления предприятия, когенерационные установки сокращают количество выбросов вредных веществ на 67,5 тыс. т в год.

В заключение стоит отметить, что шахтный метан является крупным источником энергетического топлива, который практически не используется. Каптирование и использование шахтного метана, кроме обеспечения безопасности труда на шахте, решают проблемы экологического и экономического характера. Из всевозможных вариантов использования шахтного газа производство электроэнергии с помощью газопоршневых электростанций позволяет добиться наибольшей финансовой отдачи, в то же время обеспечивая шахту электроэнергией [2].

#### Библиографический список

1. Пармон В.Н. Каталитические технологии в децентрализованной теплоэнергетике / Вторая международная конференция Института Адама Смита «Российская электроэнергетика: финансирование и инвестиции». Москва 22-24 ноября 2010 г. URL: <http://oldcpd.mrsksevzap.ru/307.pdf-t=ru>. 1-Valentin\_Parmon.pdf (дата обращения: 08.02.2018)
2. Чекменев Ю. В., Фурса А. Н., Чекменев А. Ю. Применение шахтного метана // Уголь. 2014. №5. С. 92-95.

УДК 622.271

## МЕТОДИКА ОТСТРОЙКИ БОРТОВ И ОТКОСОВ УСТУПОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ

Попроцкий Ю.Н., Мишин С.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Смирнов С.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет.*

*г. Новокузнецк, e-mail: poprocky2010@yandex.ru*

В данной статье рассматривается методика отстройки бортов и откосов уступов при отработке глубоких горизонтов железорудных карьеров. За счет применения технологии упреждающего обрушения, опасных участков учитывающей развитие разрывных нарушений, нерабочие борта уступов карьеров приводятся в безопасное состояние.

Ключевые слова: отстройка бортов и откосов уступов, разработка глу-

боких горизонтов, конструкция бортов, предохранительный вал, нарушения.

Отстройка бортов и откосов уступов глубоких горизонтов может быть осуществлена на основе детального изучения разрывных нарушений и естественной блочности в обнажениях вышележащих откосов карьера [1].

В процессе разработки глубоких горизонтов карьеров возникают серьезные проблемы с обеспечением устойчивости нерабочих уступов и сохранением берм. Чаще всего это связано с наличием в бортах уступов не обнаруженных ранее разрывных нарушений. Сказывается и отрицательное воздействие массовых взрывов, производимых вблизи проектного контура карьера.

Известно [2, 3], что конструкция нерабочих бортов карьера зависит от углов откосов уступов и их высоты, а также ширины и общего количества берм всех назначений. До 1992г. при разработке рудных месторождений параметры уступов и берм карьеров строго регламентировались требованиями Единых правил безопасности. В связи с чем конструктивный угол наклона борта, отстроенного с учетом этих параметров, достигал фиксированного максимума и ни при каких обстоятельствах не подлежал изменению даже в зоне разрывных нарушений, а также контактов рудного тела с вмещающими породами.

Отстроенные откосы уступов со временем разрушались и ширина предохранительных берм сокращалась, а оставшаяся часть заполнялась осыпью. Очищать такие бермы технически невозможно. Такие борта необходимо было реконструировать и очищать бермы от осыпи, что требовало дополнительных затрат.

В настоящее время с вводом в действие новых нормативных документов по промышленной безопасности появилась возможность регулировать общий угол наклона борта, изменяя высоту нерабочих уступов и ширину предохранительных берм. Эти параметры можно принимать исходя из физико-механических свойств пород и геологической структуры законтурного массива. Появилась возможность придавать «гибкость» конструкции борта, реагирующей на изменения свойств горных пород, и сблизить значения конструктивного и расчетного углов наклона борта. В настоящее время, как правило, в качестве проектного принимается расчетный угол, а конструкция борта вписывается в его расчетный контур. При этом в полной мере учитываются природные свойства массива.

При углублении карьеров учитывается тектоническая ситуация и экологические соображения, на предприятии может внедряться в производство технология упреждающего обрушения законтурного массива, осложненного разрывными нарушениями и формирование высоких (до 60 метров) откосов нерабочих уступов. Принятая технология отработки исключает обрушение, осыпание и образование оползней с течением времени.

При постановке нерабочих бортов уступов по применявшейся ранее технологии, в дальнейшем на этом участке было возможно возникновение осыпания и даже оползневых деформаций. Поэтому для обеспечения безопас-

ности горных работ на нижележащих горизонтах может применяться методика отстройки с приведением опасных участков в безопасное состояние.

Выбирается наиболее рациональный вариант заоткоски, когда  $\alpha \approx \lambda$  (рисунок 1).

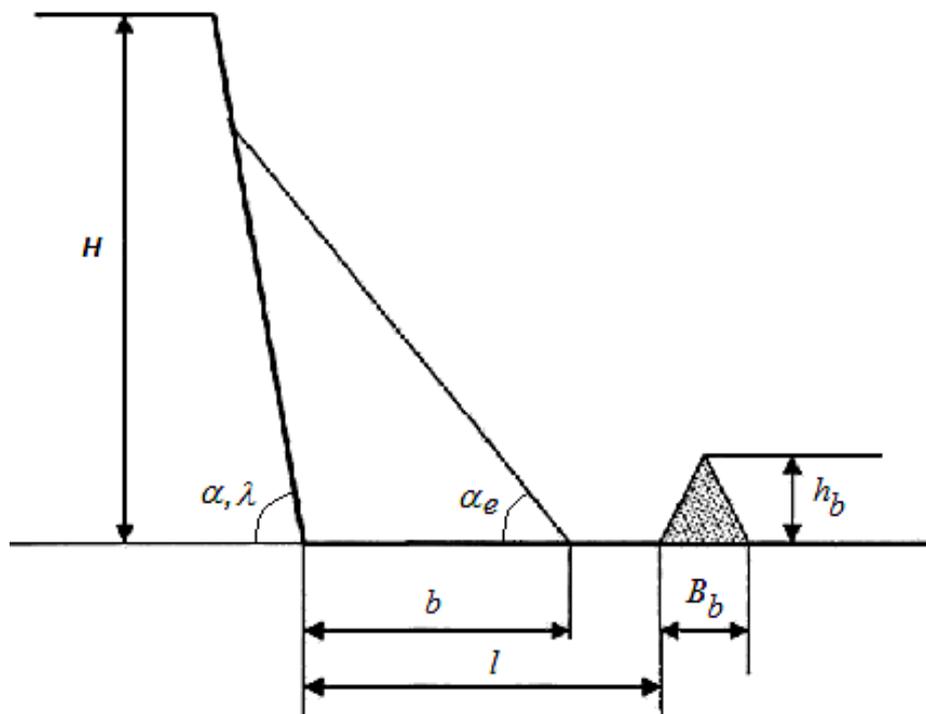


Рисунок 1 – Конструкция нерабочего борта уступа и элементы рабочей площадки.

При подрезании откоса уступа разрывным нарушением продольного и согласного с откосом залегания, объем разрыхленной породы при возможном обрушении разместится на площадке шириной  $b$

$$b = H \sqrt{K_p (Ctg \alpha_e - Ctg \lambda)(Ctg \lambda - Ctg \alpha)},$$

где  $H$  - высота уступа;

$K_p$  - коэффициент разрыхления, доли ед.;

$\alpha_e$  - угол естественного откоса, градус;

$\lambda$  - угол наклона плоскости ослабления разрывного нарушения, градус;

$\alpha$  - угол заоткоски, градус.

Для задержания падающих кусков породы на нижних горизонтах обработки карьера применяются предохранительные валы /3/.

Высота предохранительного вала определяется из выражения:

$$h_b = 2 \cdot p^2 \cdot (B_n - l),$$

где  $p$  - коэффициент восстановления нормальной составляющей скорости породного куска после отскока от поверхности бермы;

$B_n$  - длина пути на берме камня, падающего с откоса, м;

$l$  - расстояние от нижней бровки уступа до предохранительного вала, м.

Ширина предохранительного вала  $B_b$  вычисляется по формуле:

$$B_b = R \times \left( \frac{4v_H}{g \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot k_2} \right)^{1/3}$$

где  $v_H$  - скорость набегания куска на предохранительный вал, м/с;

$g$  - ускорение свободного падения тела м/с<sup>2</sup>;

$\varphi$  - угол откоса предохранительного вала, град;

$k_2$  - линейный коэффициент трения качения по горизонтальной поверхности, м;

$R$  - средний приведенный радиус породного куска, м.

Скорость набегания куска на предохранительный вал определяем по формуле:

$$v_H = \sqrt{v - 2 \cdot g \cdot l \cdot k_2 / R},$$

где  $v$  – скорость движения куска породы по уступу.

#### *Выводы*

1. За счет применения технологии упреждающего обрушения, опасных участков учитывающей развитие разрывных нарушений, нерабочие борты уступов карьеров приводятся в безопасное состояние.

2. Формирование предохранительного вала задерживает падающие куски породы и является защитным мероприятием, обеспечивающим безопасную работу на нижележащих горизонтах карьера.

#### *Библиографический список*

1. Смирнов С.М., Бобрицкий М.В. Влияние разрывных нарушений и естественной блочности на устойчивость восточного борта Тейского карьера, Горный журнал, 2001, №7 стр. 30-32.

2. Галустян Э.Л. Совершенствование конструкции нерабочих бортов карьеров, Горный журнал № 1-2, 1996 г, стр. 93-98.

3. Певзнер М.Е., Мозжухин А.В., Федоров Ю.И., Архипова С.Е. Безопасность горных работ при разработке месторождений нагорного типа, Горный журнал, № 2, 1991 г., стр. 17-18.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИМПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ЗАБОЕ**

**Обрядин А.А., Черешнева Е.В., Риб С.В., Никитина А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: artem.obryadin@mail.ru., Chereshneva2012@mail.ru*

Целью данной статьи является сравнительная технико-экономическая оценка эффективности применения отечественного и импортного оборудования в подготовительном забое.

Ключевые слова: проходческий забой, совершенствование горно-подготовительных работ, выемочный столб, проходческий комбайн, отечественное и импортное оборудование, повышение темпов проходки.

Условия подземной добычи угля постоянно усложняются вследствие увеличения глубины залегания разрабатываемых угольных пластов, повышения их газоносности, выбросоопасности и геологической нарушенности. В то же время, изменяются и технологические параметры: увеличивается производительность забоев, скорость их подвигания, размеры выемочных столбов [1 - 3].

Перспективы совершенствования горно-подготовительных работ на угольных шахтах связаны в первую очередь с рационализацией технологических схем подготовки выемочных столбов. Поэтому, концентрация горных работ и резкий рост нагрузки на очистной забой вызывают необходимость значительного увеличения скоростей подвигания подготовительных забоев. Скоростная проходка подготовительных выработок позволяет значительно повысить эффективность ведения горно-подготовительных работ [4].

В настоящее время нагрузки на очистной забой достигли 20-30 тыс. т/сут. Обеспечение такой нагрузки возможно благодаря применению эффективной производительной проходческой техники. Анализ работы проходческих бригад в устойчивом режиме показал, что в настоящее время достигнутые скорости проведения выработок с учетом различных факторов и условий составляют 120-435 м/мес. Данные скорости не отвечают в полной мере требованиям своевременной подготовки выемочных столбов для эффективной их отработки с высокими нагрузками. Горно-подготовительные работы должны обеспечивать своевременную подготовку выемочных столбов с резервом времени не менее двух месяцев [5].

Планируемые на угольной шахте ОАО «Антоновская» высокие нагрузки на очистные забои по отрабатываемым пластам вызывают увеличения скорости проходки в 2-4 раза по отношению к достигнутым. Объемы проведения выработок при парной подготовке увеличатся более чем в 2 раза, что требует

перехода на новую, более совершенную, мощную и габаритную технику [6].

Способность комбайна обеспечивать совмещение основных операций во времени позволяет значительно сократить продолжительность рабочего цикла проведения выработки. Такие технические характеристики заложены в комплексах непрерывного действия типа «Континиус Майнер»: МВ-670 (Sandvik) и 12СМ30 (JOY), которые позволяют обрабатывать забой сразу по всему сечению выработки.

За счет сокращения в два-три раза времени обработки забоя и в два раза операций по бурению шпуров и установке анкерров, а также совмещения операций по обработке забоя и креплению выработки, применение комплексов непрерывного действия позволит сократить продолжительность проходческого цикла до 30 мин на 1 м проходки.

Достоинства предложенных комбайнов:

1. возможность проведения выработок с широким диапазоном по сечениям;
2. высокая производительность с возможностью осуществления отбойки прочных пород с  $\sigma_{сж}=100$  МПа;
3. высокая суммарная энерговооруженность;
4. высокая скорость проведения выработки;
5. возможность совмещения во времени процессов отбойки и крепления горной выработки комбайнами непрерывного действия.

В целом зарубежные проходческие комбайны имеют ряд преимуществ по сравнению с отечественными, основные из которых связаны с оснащением их системами автоматизации, средствами диагностики узлов и агрегатов машины, средствами бурения, с устройствами для возведения анкерной или рамной крепи, обладают более высокой энерговооруженностью, ресурсом и производительностью [7].

Проведение проходческих работ для подготовки выемочных полей по пласту 26а требует усовершенствование горнопроходческого оборудования. Средняя скорость проведения составит 600-650 м/мес.

Одним из основных параметров, влияющим на технико-экономические показатели работы подготовительных забоев, являются темпы проходки. Поэтому, целесообразно производить анализ влияния стоимости оборудования от темпов проведения горных выработок [1].

В таблицах 1 и 2 приведены результаты технико-экономического сравнения работы двух видов проходческих комбайнов: избирательного действия и фронтального (непрерывного действия).

Переход от проходки одиночных горных выработок к проведению их спаренными забоями позволяет достигать высоких показателей работы проходческих забоев и имеет следующие преимущества:

1. Иметь неограниченную протяженность проходимых горных выработок.
2. Существенно повысить темпы проведения горных выработок.

3. Обеспечить нормальное проветривание тупиковых забоев за счет общешахтной депрессии.

4. Оптимизировать транспортировку горной массы из проходческих забоев и доставку в них необходимых материалов и людей.

Таблица 1 - Расчёт стоимости проходческих комплексов

Параметр	Ед. изм.	Проходческие комбайны	
		избирательного действия	фронтального действия
Стоимость	руб.	107799000	316519000
Производительность	п.м./месяц	150	350
Установленная мощность	кВт	524	746
Персонал на выход	чел./сутки	36	49
Расход резцов	шт./м <sup>3</sup>	0,018	0,015
Стоимость резцов РШ 32-85/16	руб./шт.	620	620
Расход масла	литр/п.м.	2,55	1,07
Стоимость масла	руб./литр	40	176

Таблица 2 - Элементы затрат на содержание проходческого оборудования

Расходы	Проходческие комбайны	
	избирательного действия	фронтального действия
На электроэнергию	0,63	0,54
ФОТ	21,9	19,82
На масло и зубцы	0,35	0,54
ППР	12,02	6,88
ТО, текущие ремонты	6,34	12,45
Возврат капитальных затрат	19,41	11,52
Итого	60,65	51,75

Основным направлением в развитии угольной промышленности является применение высокопроизводительного оборудования, средств автоматизации, научной организации труда, концентрации и стабильной работы.

В данной работе, проанализировав технологию угледобычи и технических средств, разработаны технико-технологические требования к оборудованию.

В данной работе предложено для условий ОАО «Шахта «Антоновская» использование высокопроизводительного проходческого комбайна МВ 670. Данный комбайн сокращает время проходческого цикла за счет исполнительного органа барабанного типа, а также совмещения основных операций по креплению и выемке, что позволяет проходить 600м/мес и более. Предлагаемое оборудование позволит обеспечить своевременную подготовку выемочных столбов для их последующей высокоэффективной отработки.

#### Библиографический список

1. Рыжков Ю.А. Сравнительная оценка горно-геологических условий разработки, техники и технологии при подземном способе добычи угля в России и за рубежом/ Ю.А. Рыжков, Е. В. Игнатов // Вестник КузГТУ. -2006.- №1.- С.67-74.

2. Домрачев А.Н Выбор и обоснование алгоритма моделирования работы длинного очистного забоя с учетом влияния неравномерности метановыделения [Текст] / А.Н. Домрачев, С.В.Риб, А.М. Никитина – Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 1 (19). - С. 44-45.

3. Шадэ Т.А. Разработка технико-технологических решений по внедрению новых технических средств и совершенствованию вспомогательного транспорта в условиях шахты «Осинниковская» [Текст] / Т.А. Шадэ, А.М. Никитина, С.В. Риб – Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2015 г. Вып. 19. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 37–40.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014 – 200с.

5. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» [Текст] – М.: Горное дело: Киммеринский центр, 2014. - 256 с.

6. Техническая документация ОАО «Шахта «Антоновская».

7. Казанин О. И. О проектировании технологических схем подготовки и отработки выемочных участков угольных пластов [Текст] / О. И. Казанин, В. В. Козулин, М. В. Барабаш, Е. П. Ютяев // Уголь. – 2010. - №6. - С. 24-28.

УДК 622.235

## **АППАРАТУРА РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

**Агеев Д.А., Апенкин В.Е., Майшев Н.Е., Грыдин И.О.**

**Научный руководитель: к. т. н. Машуков И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет*

*г. Новокузнецк*

Для регистрации сейсмических колебаний земной поверхности от массовых взрывов разработана сейсмостанция, которая включает сеймоприёмники СМ-3КВ, коммутатор, аналогово-цифровой преобразователь модели Е-440 и персональный компьютер. Обработка цифрового сигнала, записанного программой "L-GRAF" разработана программа "Seismikanaliz". Методика и аппаратура применяется для регистрации сеймики на разрезах и шахтах Кузбасса.

Ключевые слова: массовые взрывы, сейсмика, колебания, регистрация, сейсмоприемники, программы обработки, скорость колебаний

Методика регистрации сейсмических колебаний горного массива осно-

вана на записи аналоговых электрических сигналов сейсмоприемников на персональный компьютер (ПК). Для перевода аналогового электрического сигнала в цифровой код применялись аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) модели Е-440. Запись сигналов датчиков в цифровом коде осуществляется на жесткий диск (винчестер) ПК. Методика регистрации широко применяется при оценке уровня сейсмического воздействия массовых взрывов на шахтах Таштагольской, Шерегешской, Казской Горно-Шорского филиала АО «Евразруда» [1-3] и при оценке уровня сейсмических колебаний поверхности при разработке угольных разрезов Кузбасса: ООО «Разрез Березовский», ООО «Разрез Бунгурский-Северный», ООО «Разрез «Корчаковский», ОАО «Разрез «Томусинский», ОАО «Междуречье», ООО «Энергоуголь» [4].

Внешний модуль АЦП модели Е-440 имеет следующие характеристики: диапазон входного сигнала:  $\pm 10$ ,  $\pm 2,5$ ,  $\pm 0,625$  и  $\pm 0,15625$  В и для этих диапазонов коэффициент усиления соответственно составляет величины: 1, 4, 16 и 64, количество дифференцированных входов – 16 или 32 с общей «землей». Частота оцифровки принималась равной 1 кГц, т.е. один отсчет в одну мс.

Для получения сейсмических колебаний по трем осям использовались три датчика – один вертикальный и два горизонтальных датчика, устанавливаемых в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Принцип действия магнитоэлектрического сейсмоприемника основан на том, что при колебании грунта корпус прибора вместе с магнитной системой перемещается относительно неподвижной электрической катушки. При этом магнитные силовые линии пересекают витки катушки и в катушке наводится электродвижущая сила, пропорциональная скорости перемещения корпуса датчика.

Для регистрации сейсмических колебаний применялись сейсмоприёмники СМ-3КВ. Технические характеристики сейсмоприемников СМ-3КВ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики сейсмоприемников СМ-3КВ

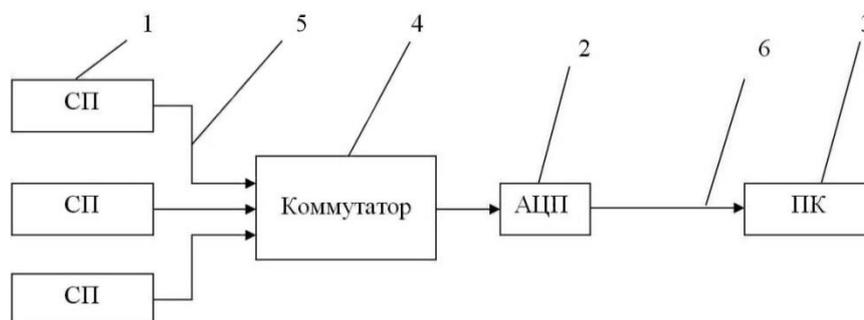
Наименование характеристики	Величина по ТУ
Коэффициент преобразования, мВ × сек/см: рабочей катушки	$1350 \pm 270,25$
катушки затухания	$130 \pm 10,95$
калибровочной катушки	$18 \pm 3,6$
Электрическое сопротивление, Ом: рабочей катушки	1600 – 2400
катушки затухания	35 – 53
калибровочной катушки	56 – 84
Воздушное затухание маятника	0,02
Период собственных колебаний маятника, с	$2 \pm 0,1$
Масса, кг, не более	7,5

Внешний вид вертикального сейсмоприёмника СМ-3КВ приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид вертикального сейсмоприемника СМ-3КВ

Регистрация фактических колебаний массива горных пород и определения уровня сейсмического воздействия массовых взрывов на горных предприятиях выполнялась на переносной сейсмостанции, которая включает сейсмоприёмники, коммутатор, АЦП и персональный компьютер. Блок-схема переносной сейсмостанции приведенной на рисунке 2.



1 – сейсмоприемники СМ-3КВ регистрации горизонтальных и вертикальных колебаний, 2 – внешний модуль АЦП Е-440, 3 – персональный компьютер, 4 – коммутатор с соединительным кабелем к входу АЦП, 5 – соединительный кабель сейсмоприемника с коммутатором, 6 – кабель соединения внешнего модуля АЦП с персональным компьютером

Рисунок 2 – Блок-схема переносной сейсмостанции регистрации сейсмических колебаний

Обработка и регистрация сейсмических сигналов в цифровом коде с АЦП модели Е-440 осуществляется программой «L-GRAF».

Для обработки кодовых значений цифрового сигнала, записанного программой "L-GRAF" в значения скорости смещения грунта и пересчета номера отсчета во временной интервал осуществляется программой "Seismikanaliz" на языке Pascal в среде Delphi. Программа позволяет определить сигнал из всего файла данных и выделить его для обработки и размещения в Excel и для представления в графическом виде.

## Библиографический список

1. Еременко А. А., Опыт проведения мощного массового взрыва в условиях высокого горного давления на Шерегешевском месторождении / А.А. Еременко, П.А. Филиппов, А. П. Гайдин, И.В.Машуков и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, МГГУ, М., 2002, № 1, С. 92 – 94.
2. Еременко А.А., Сейсмическое действие технологических взрывов на удароопасных месторождениях / А.А.Еременко, В.Н. Филиппов, В.И.Куликов, И.В.Машуков и др. // Кемерово: Вестник Российской академии естественных наук, Западно-Сибирское отделение. 2005 г., Выпуск 7, С. 148-158.
3. Машуков И.В., Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, МГГУ, М., 2014, № 4, С. 216 – 221.
4. Доманов В.П. Мониторинг сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве массовых взрывов, проводимых на разрезах Кузбасса / В.П. Доманов, И.В. Машуков // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности / ВостНИИ.- Кемерово.- 2013. - №1-1. - С. 60-64.

УДК 622.235

### **РЕГИСТРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПОС. ГАВРИЛОВКА ОТ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ РАЗРЕЗА СТЕПАНОВСКИЙ**

**Семина А.А., Клишкин М.А., Апенкин В.Е., Агеев Д.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Машуков И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

При производстве массовых взрывов на разрезе Степановский проводилась регистрация сейсмических колебаний земной поверхности в пос. Гавриловка. Получены зависимости величины скорости колебаний от массы ВВ, расстояния до взрыва.

Ключевые слова: массовые взрывы, сейсмические колебания, допустимые скорости колебаний, сейсмоприемники, зависимость, масса ВВ, расстояние до взрыва

Поселок Гавриловка находится на юге Кузбасса в 20 км от г. Новокузнецка. Вблизи от пос. Гавриловка на расстоянии 1,5 км ООО «Разрез Степановский» обрабатывает открытым способом угольное месторождение «Разведчик». При ведении вскрышных работ производятся взрывные работы с проведением массовых взрывов. Массовые взрывы проводятся один – два раза в неделю. В планах развития горных работ предполагается уменьшение

расстояния до поселка до 500 м. Наибольшую опасность для зданий и сооружений представляет ударная воздушная волна и сейсмическое воздействие. При многократном сейсмическом воздействии на сооружение, возможно появление трещин в основании и стенах, потеря несущей способности здания. От жителей поселка стали поступать жалобы на колебания зданий от массовых взрывов.

По договору с ООО «Разрез Степановский» кафедрой открытых работ и электромеханики с участием студентов четвертого и третьего курсов проводится мониторинг уровня сейсмических колебаний зданий и оценка их допустимым значениям. Мониторинг сейсмического воздействия при производстве массовых взрывов на разрезе проводился в пункте регистрации, расположенном по адресу ул. Молодежная дом 1. Замеры производились с помощью переносной сейсмостанции, включающей в себя сейсмоприемники модели СМ-ЗКВ, аналого – цифровой преобразователь Е-440 и персональный компьютер.

В пос. Гавриловка жилые здания по конструктивным характеристикам относятся к бескаркасным зданиям с несущими стенами и по состоянию относятся к II категории (в несущих конструкциях трещины до 0,5 мм. В стенах из кирпича и крупных блоков до 3 мм. Вертикальность массива фундамента нарушена, повреждения в размере до 40 %). По СНиП 2.01.07-85 здания относятся к II классу ответственности. Грунты (суглинки и глины мягкопластичные) в основаниях зданий и сооружений п. Гавриловка согласно классификации ГОСТ 25100-95 соответствуют II группе.

Допустимые скорости колебаний грунта для бескаркасных с несущими стенами социальные здания п. Гавриловка с II классом ответственности по данным РТМ 36.22.91 составляют для жилых зданий - 2 см/с.

Результаты регистрации сейсмических колебаний величины максимальной скорости колебаний грунта, параметры массового взрыва и расстояния от массового взрыва до пункта наблюдения за 2018 год представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Величина максимальной скорости колебаний грунта

Дата регистрации	Масса ВВ, кг	Расстояние, м	Макс. скорость колебаний, см/с
10.01.2018	45401	1830	0,0356
15.01.2018	45520	1984	0,0080
16.01.2018	36012	2464	0,0154
16.01.2018	35223	1769	0,0281
18.01.2018	45650	1357	0,0878
29.01.2018	44656	1475	0,0493
29.01.2018	45459	2550	0,0251
31.01.2018	24973	2558	0,0096
02.02.2018	30613	1979	0,0240
02.02.2018	45441	1566	0,0416
06.02.2018	30469	1323	0,1240

Продолжение таблицы 1

Дата регистрации	Масса ВВ, кг	Расстояние, м	Макс. скорость колебаний, см/с
07.02.2018	40418	1625	0,0361
09.02.2018	45590	1352	0,0736
13.02.2018	28476	1415	0,0331
13.02.2018	43339	2001	0,318
14.02.2018	45413	1903	0,0186
16.02.2018	44502	2024	0,0214
19.02.2018	25694	2580	0,0143
19.02.2018	45533	1576	0,0442
20.02.2018	33980	1720	0,0319
21.02.2018	29918	1556	0,0381
26.02.2018	40309	1693	0,0290
01.03.2018	45579	1876	0,0204
05.03.2018	45540	1330	0,064
06.03.2018	40369	2021	0,0216

Величина максимальной скорости колебаний грунта изменялась от 0,0080 до 0,1240 см/с, что существенно в 16 - 250 раз меньше предельно допустимого значения 2 см/с. Расстояние до массового взрыва составляло от 1323 до 2580 м и масса заряда во взрыве изменялась от 25694 до 45579 кг.

Для анализа полученных результатов были построены зависимости максимальной скорости колебаний от расстояния (рисунок 1), от массы ВВ (рисунок 2), от приведенного расстояния (рисунок 3) и приведенной массы заряда (рисунок 4).

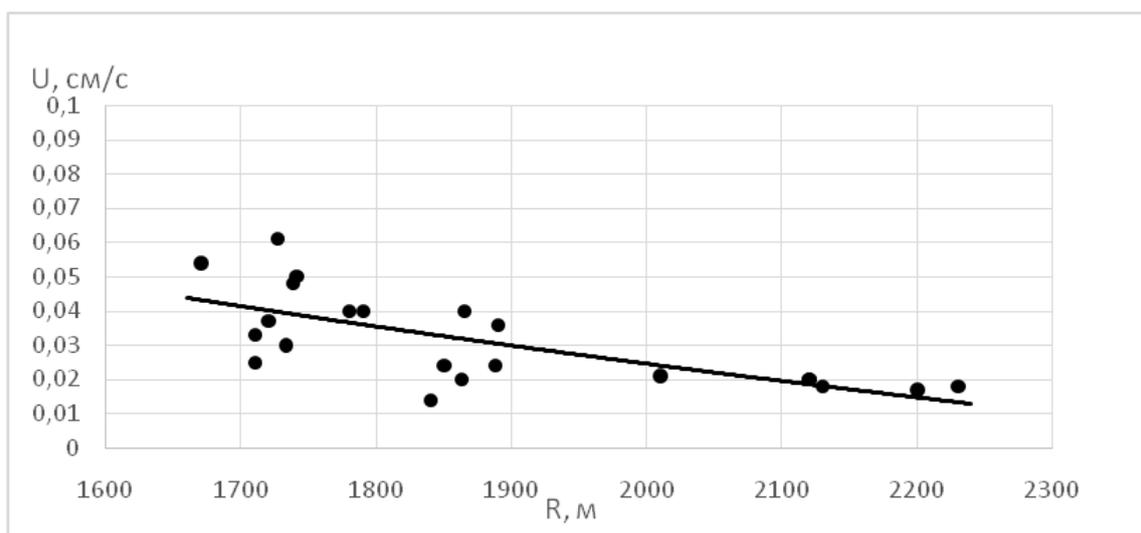


Рисунок 1 – Зависимость максимальной скорости колебаний от расстояния

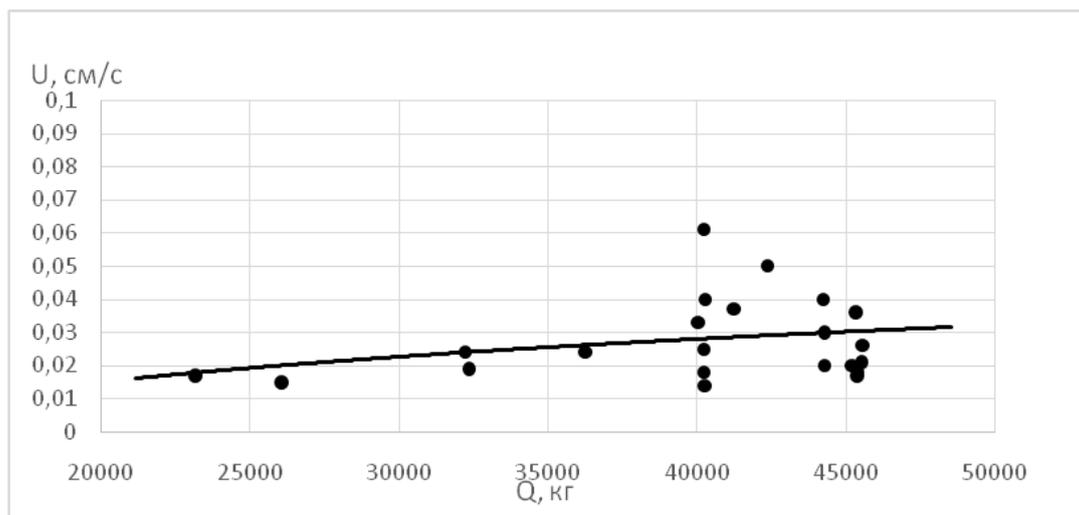


Рисунок 2 – Зависимость скорости сейсмических колебаний от массы ВВ

Приведенное расстояние ( $\bar{r}$ ) и приведенная масса заряда ( $\bar{q}$ ), определяется из соотношений

$$\bar{r} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \quad \text{и} \quad \bar{q} = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$$

где  $\bar{r}$  – приведенное расстояние, м/кг<sup>1/3</sup>;

$\bar{q}$  – приведенная масса заряда, кг/м;

R – абсолютное расстояние, м;

Q – масса заряда, кг.

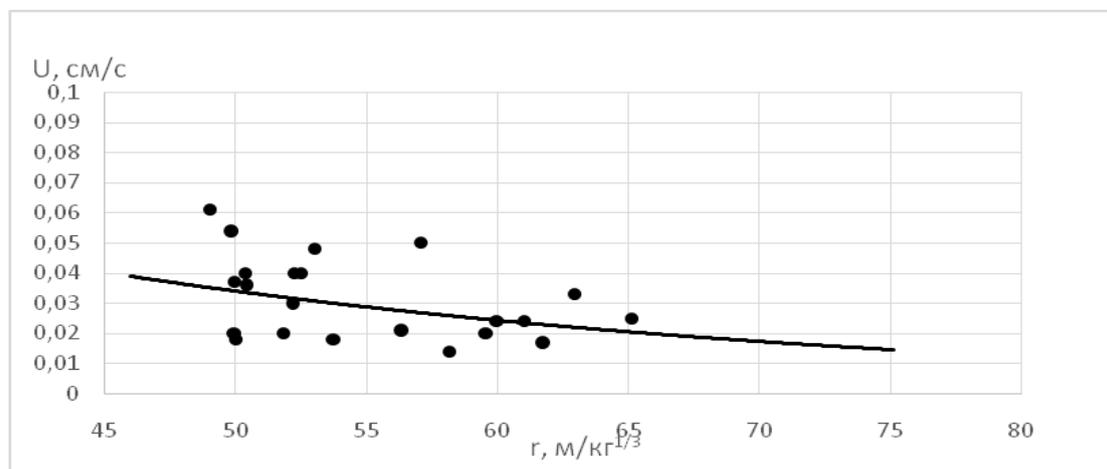


Рисунок 3 – Зависимость скорости сейсмических колебаний от приведенного расстояния

Получены следующие зависимости:

- с увеличением абсолютного и приведенного расстояния до взрыва максимальная скорость сейсмических колебаний экспоненциально уменьшается;
- с увеличением абсолютной массы и приведенной массы ВВ во взрыве

максимальная скорость сейсмических колебаний увеличивается.

Полученные зависимости не противоречат общепринятым положениям и соответствуют теоретическим представлениям сейсмических колебаний от взрывов.

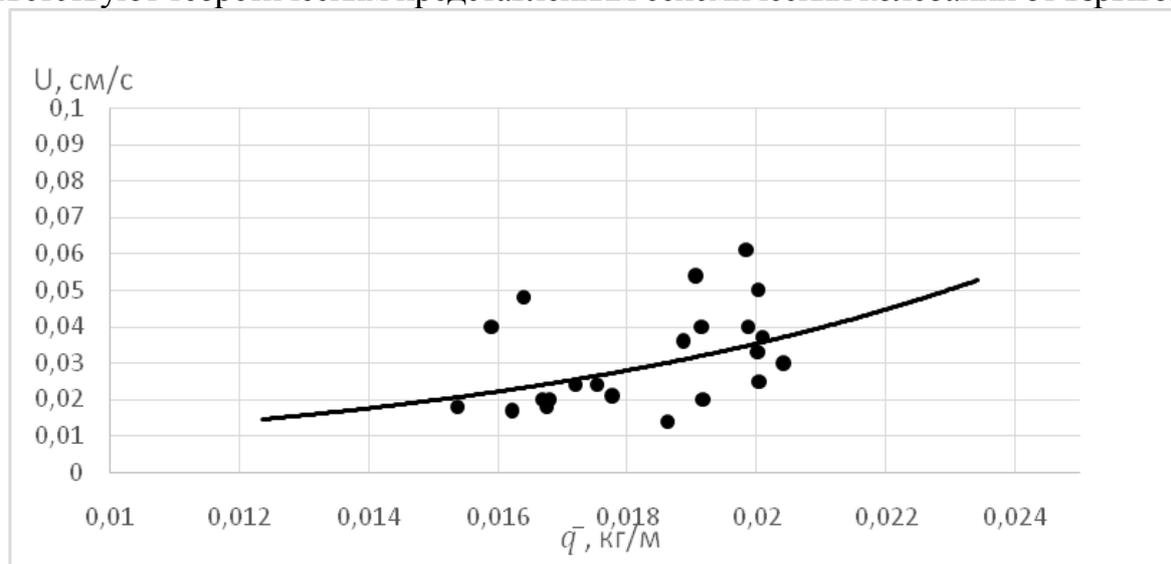


Рисунок 4 - Зависимость скорости сейсмических колебаний от приведенной массы заряда

#### *Выводы.*

1. В настоящее время взрывы с массой ВВ до 45526 кг на расстоянии до 1670 м не вызывают опасных колебаний грунта в пос. Гавриловка.
2. Получены зависимости увеличения максимальной скорости сейсмических колебаний с увеличением абсолютной массы и приведенной массы ВВ во взрыве и с уменьшением абсолютного и приведенного расстояния до взрыва.
3. При приближении горных работ к пос. Гавриловка сейсмические колебания будут усиливаться и следует проводить наблюдения за их величиной.

УДК 622.235

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ**

**Климкин М.А., Семин А.А., Агеев Д.А., Апенкин В.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Машуков И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

При производстве массовых взрывов на шахтах АО "Евразруда" Таштагольской, Шерегешской и Казской проводилась регистрация сейсмических колебаний земной поверхности. Получены зависимости величины скорости колебаний от массы ВВ, расстояния до взрыва.

Ключевые слова: массовые взрывы, сейсмические колебания, допустимые скорости колебаний, сейсмоприемники, зависимость, масса ВВ, расстояние до взрыва

АО "Евразруда" на шахтах Таштагольской, Шерегешской и Казской производит добычу руды подземным способом с применением систем разработки: системой этажного принудительного обрушения, этажно-камерной с отбойкой руды глубокими скважинами и Шерегешской шахте с подэтажной отбойкой руды веерами скважин.

Непосредственная отбойка руды ведется с применением массовых взрывов и при этом проявляется негативное сейсмическое воздействие.

Сейсмические колебания земной поверхности от массовых взрывов оказывают негативное влияние на здания и сооружения, находящихся на расстоянии до двух километров от места их проведения. Допустимые скорости колебаний грунта в основании охраняемых сооружений определяют по РТМ 36.22.91, в зависимости от класса ответственности зданий по СНиП 2.01.07-85 и группы грунтов.

За период с 2014 по 2017 год проводились замеры сейсмических колебаний земной поверхности от массовых взрывов на шахтах Таштагольской, Шерегешской и Казской. Регистрация проводилась в социально значимых и в жилых зданиях, в зоне воздействия массовых взрывов. Допустимые скорости колебаний грунта для бескаркасных с несущими стенами социальные здания (больница, детский сад, школа) с первым классом ответственности по данным РТМ 36.22.91 составляют 1 см/с и для жилых зданий - 2 см/с.

Замеры производились с помощью переносной сейсмостанции, включающей в себя сейсмоприемники модели СМ-3КВ, аналого – цифровой преобразователь Е-440 и персональный компьютер.

За это время была проведена регистрация 9 массовых взрывов. Расстояние от места взрыва до пункта регистрации находилось в диапазоне от 445 до 4128 м, масса заряда изменялась от 7362 до 182000 кг.

Результаты регистрации сейсмических колебаний земной поверхности (максимальная скорость колебаний грунта), место регистрации, расстояние до взрыва и параметры массовых взрывов (масса ВВ,) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты регистрации сейсмических колебаний

Дата регистрации, блок массового взрыва	Масса ВВ, кг	Место регистрации	Расстояние, м	Макс. скорость колебаний, см/с
25.12.2014 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва № 12 рудного тела 6-9 в этаже (-280)...(-350) м	72000	Ул. Ленина, 46, Школа №1	1236	0,781

Продолжение таблицы 1

Дата регистрации, блок массового взрыва	Масса ВВ, кг	Место регистрации	Расстояние, м	Макс. скорость колебаний, см/с
31.08.2015 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва блока № 4 восточного участка рудного тела 1 в этаже (-140)...(-210) м	182250	Ул. Наградская, 7, бассейн «Кристалл»	364 4	0,11
		Ул. Ленина, 46, Школа №1	106 5	1,8
31.08.2015 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва по блока №4	148376	Ул. Наградская, 7, бассейн «Кристалл»	360 0	0,11
		Ул. Ленина, 46, Школа №1	100 0	1,8
17.04.2016 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва по обрушению блока №4	16165	Ул. Наградская 7, бассейн «Кристалл»	364 4	0,15
		Ул. Ленина, 46, Школа №1	900	1,2
16.10.2016 г. п.г.т. Каз	7362	Космодемьянской, дом 44	610	0,6
25.12.2014 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва, по обрушению блока № 12 восточного участка рудного тела 6-9 в этаже (-280)...(-350) м	72000	Ул. Ленина, 46, Школа №1	123 6	0,781
31.08.2015 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва по обрушению блока № 4 восточного участка рудного тела 1 в этаже (-140)...(-210) м	182250	Ул. Наградская, 7, бассейн «Кристалл»	364 4	0,11
		Ул. Ленина, 46, Школа №1	106 5	1,8
31.08.2015 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва по обрушению блока №4	148376	Ул. Наградская, 7, бассейн «Кристалл»	360 0	0,11
		Ул. Ленина, 46, Школа №1	100 0	1,8
17.04.2016 г. г. Таштагол при проведении массового взрыва по обрушению блока №4	16165	Ул. Наградская 7, бассейн «Кристалл»	364 4	0,15

На рисунке 1 представлена сейсмограмма скорости сейсмических колебаний поверхности от массового взрыва 02.04.2017 г. на шахте Таштагольской АО «Евразруда» в городе Таштагол в пункте наблюдения школа №1.

На основе полученных данных были построены графики зависимости максимальной скорости колебаний земной поверхности от расстояния до места проведения массового взрыва (рисунок 2) и от массы ВВ (рисунок 3).

Для более детального анализа построены зависимости скорости сейсмических колебаний от приведенного расстояния ( $\bar{r}$ ), представленной на рисунке 4 и приведенной массы заряда ( $\bar{q}$ ), представленной на рисунке 5, которые определяются из соотношений

$$\bar{r} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \quad \text{и} \quad \bar{q} = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$$

где  $R$  – абсолютное расстояние, м;

$Q$  – масса заряда, кг.

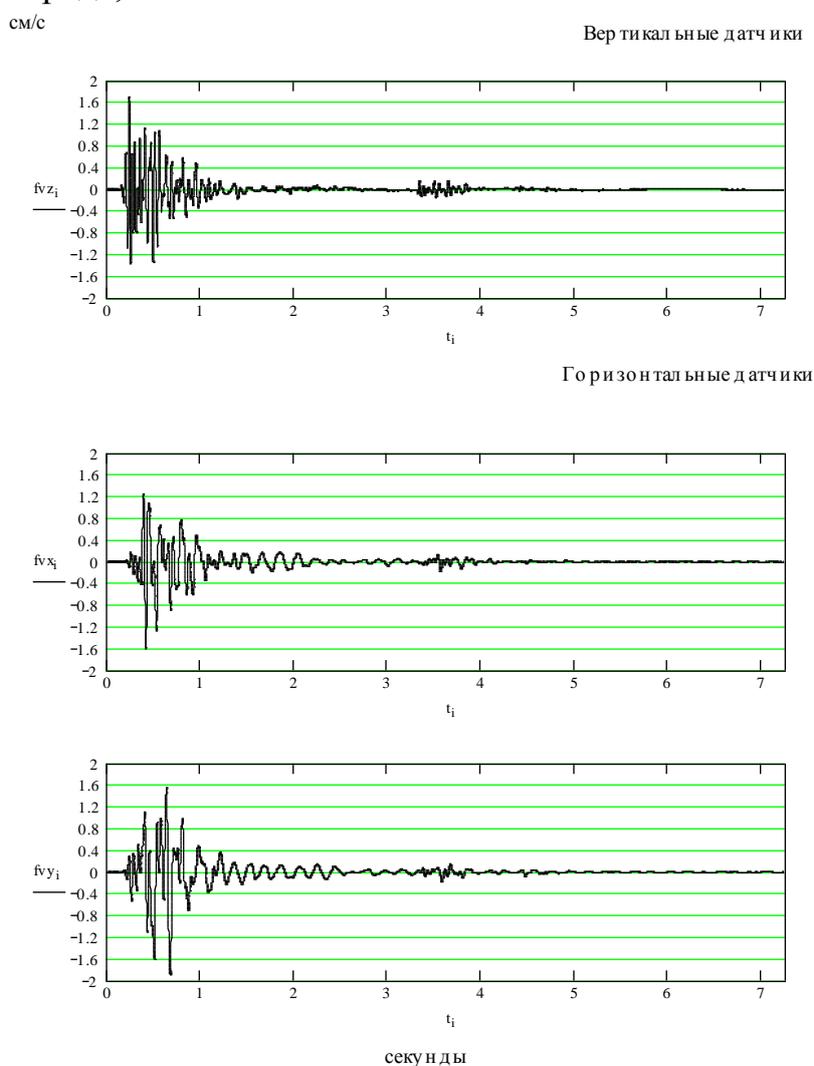


Рисунок – 1 Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности от массового взрыва 02.04.2017 г.

Из рисунка 1 видно, что максимальная скорость колебаний зафиксирована в горизонтальном направлении и составляет 1,9 см/с. Основной сейсмический импульс приходится в пределах одной секунды. При чем максимальные колебания в вертикальном направлении и в горизонтальном в направлении взрыва зарегистрированы в начальный момент импульса, а в горизонтальном поперечном направлении в конце сейсмического импульса. В горизонтальных направлениях наблюдаются низкочастотные колебания в конце сейсмического импульса.

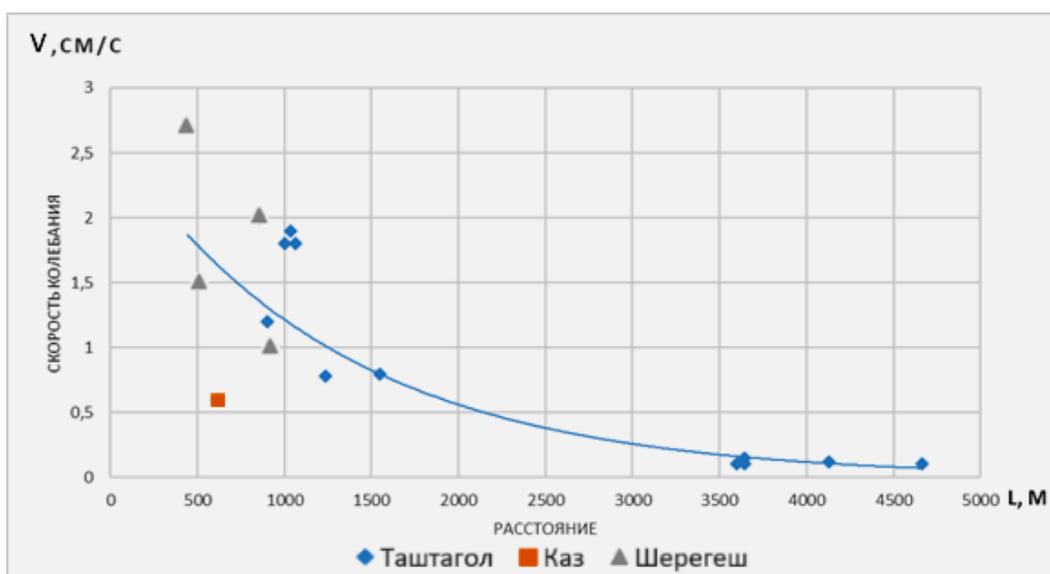


Рисунок 2 – Зависимость максимальной скорости колебаний земной поверхности от расстояния

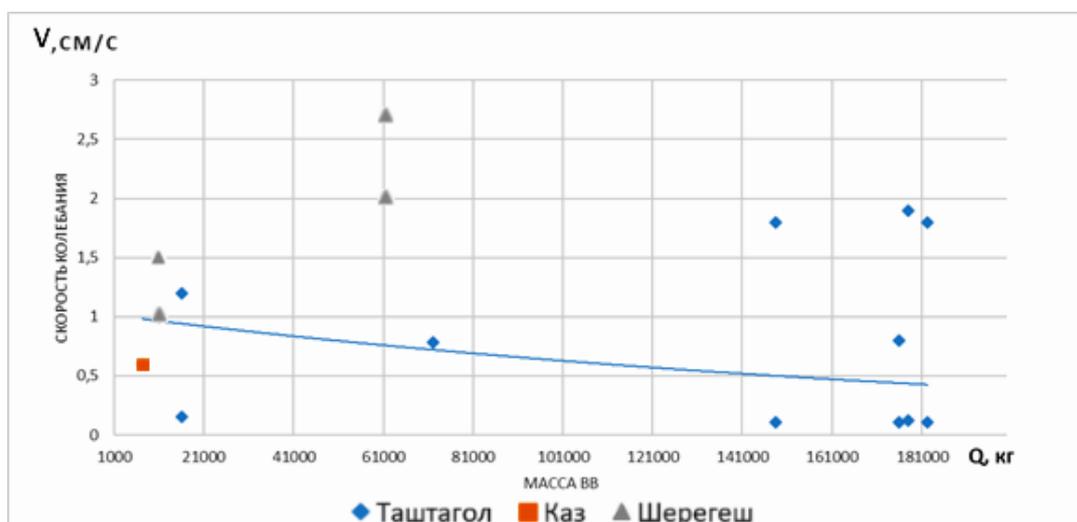


Рисунок 3 – Зависимость максимальной скорости колебаний земной поверхности от массы ВВ

В зависимости максимальной скорости колебаний земной поверхности от расстояния подтверждается общая закономерность – с увеличением расстояния от взрыва уровень сейсмических колебаний снижается.

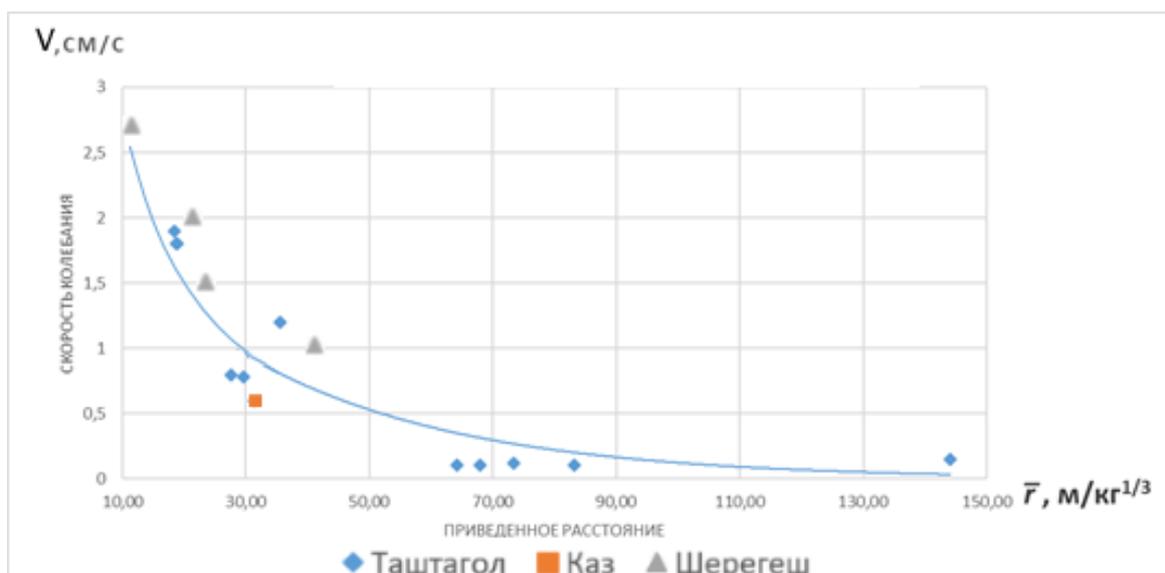


Рисунок 4 – Зависимость скорости сейсмических колебаний от приведенного расстояния

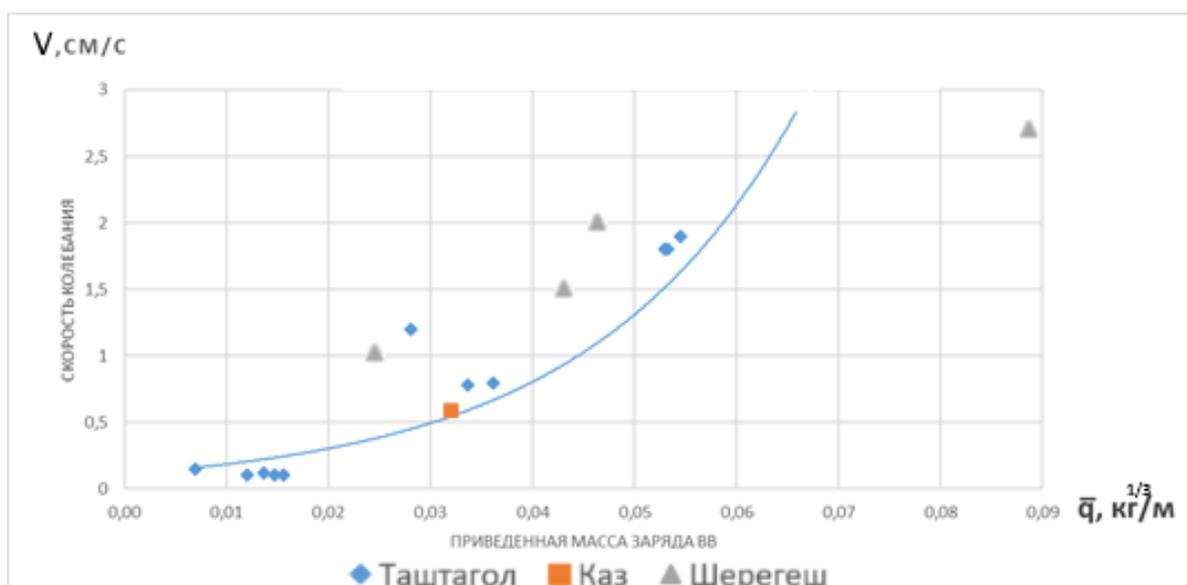


Рисунок 5 - Зависимость скорости сейсмических колебаний от приведенной массы заряда

Зависимость максимальной скорости колебаний земной поверхности от массы ВВ не прослеживается закономерность увеличения уровня сейсмических колебаний от увеличения массы ВВ. Это объясняется тем, что при этом существенным влияющим фактором является расстояние, на котором производится регистрация.

Зависимость уровня сейсмических колебаний от приведенного расстояния ( $\bar{r}$ ) и приведенной массы заряда ( $\bar{q}$ ) полностью соответствует закономерностям: с увеличением расстояния до взрыва - уровень сейсмических колебаний уменьшается и с увеличением массы ВВ уровень сейсмических колебаний увеличивается.

*Выводы:*

- С увеличением расстояния до места проведения взрыва максимальная скорость сейсмических колебаний экспоненциально уменьшается;
- Скорость сейсмических колебаний возрастает при увеличении массы заряда ВВ;
- Полученные зависимости не противоречат общепринятым положениям и соответствуют теоретическим сейсмическим положениям;
- Скорость сейсмических колебаний в первую очередь зависит от массы ВВ, расстояния до взрыва, а так же системы разработки, физико-механических свойств пород в месте проведения взрывов и пункте регистрации, направления отбойки относительно пункта регистрации, количества и площади свободных поверхностей, применения короткозамедленного взрывания.

### **III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 669.1

#### **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ АПРОБИРОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЖИДКОГО ЧУГУНА**

**Неунывахина Д.Т.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: neunyvakhina92@mail.ru*

В настоящее время производители стальной металлопродукции для обеспечения стабильного технологического процесса производства стали на различных этапах используют теплоизолирующие и шлакообразующие смеси для уменьшения тепловых потерь, защиты поверхности металла от взаимодействия с кислородом воздуха и обеспечения рафинирования стали от неметаллических включений. Практически все предприятия отрасли импортируют теплоизолирующие и шлакообразующие смеси из-за рубежа, стоимость таких смесей в ряде случаев превышает \$1000 за 1 т. В связи с этим разработка теплоизолирующих и шлакообразующих смесей для черной металлургии из доступных компонентов и отходов промышленного производства является актуальной задачей, направленной на импортозамещение. В работе отражены результаты лабораторных и опытно-промышленных исследований свойств теплоизолирующих смесей.

Ключевые слова: тепловые потери, теплоизолирующая смесь, чугун, сталь, энергоэффективность.

В настоящее время годовой объем производства чугуна и стали в России превышает 120 млн.т. При этом на различных стадиях производства используются теплоизолирующие смеси для снижения тепловых потерь с поверхности жидкого расплава и шлакообразующие смеси для рафинирования стали. Централизованное производство таких смесей на территории России отсутствует, доля импорта теплоизолирующих смесей превышает 50 %, а шлакообразующих – 90 %.

В связи с этим для обеспечения импортозамещения в металлургической отрасли и технологической независимости страны целью работы является разработка составов теплоизолирующих смесей для черной металлургии. Для достижения поставленной цели сформулированы соответствующие задачи:

1) обоснование возможных компонентов теплоизолирующих смесей и исследование их физико-химических характеристик;

2) разработка составов теплоизолирующих смесей, исследование их свойств и оценка эффективности их использования.

Физические характеристики защитных шлаковых покрытий – это комплекс свойств исходных твердых материалов, смесей и их расплавов. Важнейшими физическими характеристиками исходных твердых материалов и смесей являются: температура и время плавления, сыпучесть порошков, их фракционный состав, насыпная масса, коэффициент теплопроводности, влажность, температура воспламенения и скорость горения.

При выборе компонентов теплоизолирующих смесей учитывались стоимость и доступность материалов на рынке, их химический состав и теплоизолирующие свойства. Химический состав исследуемых материалов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав материалов

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	п.п.п
Вермикулит вспученный	40,58	16,51	10,66	1,93	17,18	3,41	1,46	1,25	0,09	0,24	0,04	6,89
Микрокремнезем	>85	<2	-	<3	-	<2		-	-	-	-	-
Перлит вспученный	72	13	<1	<1	<1	4	4	-	-	-	-	<5
Зола лузги зерновых культур	77,90	0,29	1,23	2,8	2,26	7,64		-	-	0,75	0,05	-
Зола ТЭЦ	62,5	19,3	7,2	1,9	2,1	0,5	1,0	0,2	0,4	0,2	0,6	-

На первом этапе исследований была определена температура плавления основных компонентов.

Для измерения температуры плавления шлакообразующих смесей и их компонентов в работе использован оптический метод [1], который имеет точность того же порядка, что определение температуры расплава термопарой погружения. Определение тугоплавкости материала этим методом обеспечивает высокую производительность.

Для проведения исследований выполнили модернизацию лабораторной установки для определения температуры плавления металлургических шлаков. Для фиксирования фазовых превращений исследуемых материалов при увеличении температуры оптический бинокляр заменили цифровым микроскопом, обеспечивающим передачу изображения на персональный компьютер при максимальном увеличении  $\times 500$  (рисунок 1).

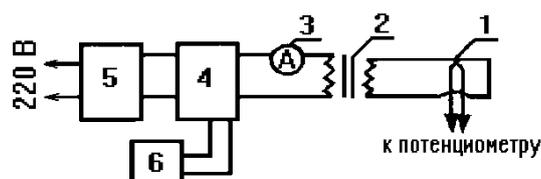
Схема установки и электрическая схема представлены на рисунках 2 и 3. Изменение степени нагрева платиновой пластинки, шириной 0,005 м, толщиной  $5 \cdot 10^{-4}$  м, установленной в водоохлаждаемых медных токопроводах (рисунок 3, позиция 5), осуществляется с помощью тиристорного регулятора напряжения (рисунок 2, позиция 4) и контролируется через "горячий" спай

Pt–PtRh термопары (рисунок 3, позиция 2) с помощью потенциометра ПП-63. Контроль силы тока промышленной частоты в электрической цепи после понижающего трансформатора (рисунок 2, позиция 2) осуществляется амперметром (рисунок 2, позиция 3) в интервале от 2 до 6 ампер. Стабилизация напряжения происходит через стабилизатор СН-500 (рисунок 2, позиция 5).



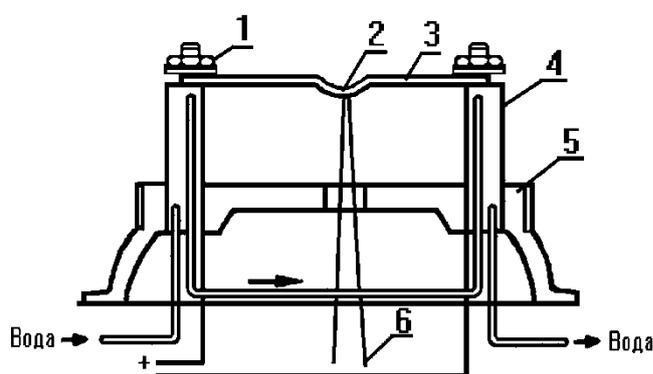
1 – цифровой микроскоп; 2 – изображение платиновой пластины;  
3 – показания термопары

Рисунок 1 – Лабораторная установка для определения температуры плавления металлургических шлаков



1 – платиновая пластина с термопарой; 2 – трансформатор; 3 – амперметр;  
4 – блок регулирования; 5 – стабилизатор СН-500; 6 – пульт управления

Рисунок 2 – Электрическая схема микропечи



1 – крепление нагревателя; 2 – “горячий” спай термопары; 3 – платиновая пластина; 4 – токопроводы; 5 – корпус; 6 – термопара

Рисунок 3 – Схема устройства микропечи

Платиновая пластина и "горячий" спай термопары периодически градуируются по стандартной термопаре, а также по точкам плавления солей и окисла марки ЧДА (чистый для анализа) с температурой плавления, °С:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 851,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  – 1069.

Наблюдение за процессом плавления частиц материала, помещенных на "горячий" спай, производили при 30-тикратном увеличении. Исследуемую пробу материала в количестве нескольких крупинок (дробление до размера зерна  $(2-6) \cdot 10^{-5}$  м) помещали на "горячий" спай термопары, вваренный в платиновую пластину. Регулирование скорости нагрева производили в определенной последовательности. Сначала до температуры 900-1000°С скорость должна составлять 100-150 град/с, в дальнейшем до температуры 1000-1300°С – 20-30 град/с и, наконец, 3-5 град/с. Плавление материала производится в атмосфере воздуха. За температуру размягчения принимается температура, при которой происходит округление острых кромок частиц материала, а плавления – переход пробы материала в жидкое состояние и растекание на пластинке. Правильность выбранных признаков размягчения и растекания материала подтверждается хорошей воспроизводимостью результатов при многократном повторении опытов. Тугоплавкость каждого материала определяли 3-5 раз, полученные результаты усредняли.

Кроме перечисленных компонентов были определены температуры плавления теплоизолирующих смесей Аккутерм-1650 и ТИС-3П, результаты лабораторных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Температура плавления исследуемых материалов

Наименование материала	Температура плавления, °С
1. Зола зерновых культур	1360,71
2. Зола ТЭЦ	1304,65
3. Вспученный вермикулит	1326,00
4. Вспученный перлит	1303,61
5. Микрокремнезем	1352,40
6. Аккутерм-1650	1297,38
7. ТИС-3П	1315,03

Анализ полученных результатов показал, что максимальную температуру плавления имеет зола зерновых культур, однако готовой к использованию золы зерновых культур образуется незначительное количество, что ограничивает ее использование в составе смесей. В тоже время зола ТЭЦ имеет температуру плавления, близкую температуре плавления вспученного перлита.

При разработке теплоизолирующих смесей для чугуновозных ковшей применяли следующие материалы: лужга зерновых культур; перлит; кокс; зола ТЭЦ.

Компоненты смешивались в различном соотношении. Количество теплоизолирующей смеси, подаваемой на поверхность металла, пересчитано на лабораторные условия в соответствии с реальным расходом в доменных це-

хах. На ковш с чугуном подается около 200 кг теплоизолирующей смеси или  $28,3 \text{ кг/м}^2$  поверхности. Лабораторные тигли имеют диаметр 50 мм, соответственно расход теплоизолирующей смеси составил  $\sim 55$  гр.

Для проведения исследований были подготовлены смеси: 1) лузга зерновых культур (90 %) и перлит (10 %); 2) лузга зерновых культур (80 %), перлит (10 %) и кокс (10 %); 3) гранулы смеси лузги зерновых культур (90 %) и перлита (10 %); 4) гранулы смеси лузги зерновых культур (80 %), перлита (10 %) и кокса (10 %); 5) гранулы смеси золы ТЭЦ (40 %) и лузги зерновых культур (60 %).

При проведении исследований навеску твердого чугуна или стального лома  $m = 500$  гр расплавляли в печи сопротивления. После расплавления и нагрева до температуры  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$  для чугуна и  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  для стали тигель с металлическим расплавом устанавливали в стальной короб, наполненный теплоизолирующим материалом, и оставляли охлаждаться на воздухе, при этом осуществляли непрерывный замер и регистрацию температуры поверхности расплава с использованием пирометра TemPro-2200.

Для предотвращения выноса частиц теплоизолирующей смеси конвективными потоками и потоками воздуха при транспортировке ковша с жидким чугуном в реальных условиях смеси были гранулированы экструзионным методом, диаметр гранул составил 10-12 мм.

Анализ результатов, полученных в лабораторных условиях, что при использовании смеси, состоящей из 60 % лузги и 40 % кокса, образуется золы 44,4 % от массы смеси, при этом скорость снижения температуры составляет  $6,28 \text{ }^\circ\text{C/мин}$ . Таким образом, использование в смеси золы ТЭЦ в сочетании с лузгой зерновых культур позволяет создать на поверхности металлического расплава теплоизоляционный слой, при этом горение органической составляющей способствует нагреву золы. При равном расходе смеси, процесс горения гранул, состоящих из 60 % лузги и 40 % золы ТЭЦ, происходит медленнее, а интенсивность снижения температуры поверхности сопоставима с рассмотренными вариантами. В связи с этим для опытно-промышленных испытаний была подготовлена гранулированная теплоизолирующая смесь, состоящая из 60 % лузги зерновых культур и 40 % золы ТЭЦ.

Опытно-промышленные испытания проводили в доменном цехе ПАО «Тулачермет». Испытание теплоизолирующей смеси проводилось в условиях литейного двора доменной печи № 3. Теплоизолирующую смесь, расфасованную по 5 кг в полиэтиленовые пакеты для ручной присадки, подавалась в ковши по 24 пакета (120 кг) на ковш. Для сравнительного анализа использовались четыре ковша поочередного наполнения. Два чугуновозных ковша без применения теплоизолирующей смеси, два ковша с применением теплоизолирующей смеси и обработкой на установке доводки чугуна. Средняя температура окружающего воздуха в период проведения испытаний составляла  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Замер температуры чугуна проводился пирометром во время наполнения каждого из четырех испытываемых ковшей. Фиксировалось время

окончания наполнения испытуемых чугуновозных ковшей.

После закрытия выпуска на доменной печи чугуновозные ковши без теплоизолирующей смеси устанавливались под стендами разливочных машин, ковши с использованием теплоизолирующей смеси отправлялись для обработки на установку доводки чугуна, после чего устанавливались под стендами разливочных машин. Проводился замер температуры чугуна пирометром на желобе во время слива на разливочных машинах. Фиксировалось время начала слива и температура чугуна. В результате проведения опытно-промышленных исследований установлено, что скорость снижения поверхности температуры жидкого чугуна в ковше от налива до слива составила без применения теплоизолирующей смеси 0,73 °С/мин, в то время как с использованием теплоизолирующей смеси – 0,49 °С/мин, что подтверждает эффективность использования разработанного состава теплоизолирующей смеси для повышения энергоэффективности процесса производства чугуна.

*Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «У.М.Н.И.К» по теме 11865ГУ/2017.*

#### Библиографический список

1. Чернышева Н.А. Определение температуры плавления сталеплавильных шлаков: метод. указ. / Н.А. Чернышева, Л.А. Ганзер, А.Н.Калиногорский. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 13 с.

УДК 669.1

## **АНАЛИЗ КОКСОЗАМЕЩАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЧУГУНА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

**Садыкина Р.А., Сафонов С.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Rae4ka.95@mail.ru*

В настоящее время в качестве основного топлива при выплавке чугуна в доменных печах используется кокс, доля которого в структуре себестоимости чугуна составляет около 35 процентов. Учитывая тот факт, что стоимость коксующихся марок угля имеет четкую тенденцию к увеличению, большинство отечественных металлургических предприятий внедряют коксозамещающие технологии доменного производства.

Ключевые слова: доменная печь, отходы, пластмассы, рециклинг, чугун, кокс, утилизация.

В настоящее время в качестве основного топлива при выплавке чугуна

в доменных печах используется кокс, доля которого в структуре себестоимости чугуна составляет около 35 процентов. Кроме обеспечения теплового баланса доменной плавки кокс несет нагрузку столба шихтовых материалов и гарантирует проницаемость печи во всем ее объеме для газа и расплавленных продуктов, обеспечивает генерацию восстановительного газа и прямое восстановление железа из оксидов. Учитывая тот факт, что стоимость коксующихся марок угля имеет четкую тенденцию к увеличению, большинство отечественных металлургических предприятий внедряют коксозамещающие технологии доменного производства. Наибольшее распространение получила технология подачи пылеугольного топлива (ПУТ) в горн доменной печи. Расход пылеугольного топлива за рубежом варьируется от 95 до 225 кг/т чугуна (рисунок 1), что приводит к снижению расхода кока (рисунок 2) до 50 %, а природного газа на 60 %. Для успешной реализации рассматриваемой технологии необходимо обеспечение целого ряда условий:

- 1) горячая прочность кокса (CSR) – не менее 62 %;
- 2) зольность шихты для коксования – до 7,5 %;
- 3) высокая стабильность показателей качества шихты для коксования;
- 4) зольность угля для ПУТ – 6,0-8,5%, содержание S < 0,5%;
- 5) стабильность качества показателей углей для ПУТ;
- 6) стабильность качества железорудной шихты;
- 7) содержание мелочи в железорудном сырье до 3...5%;
- 8) повышение температуры дутья до 1200...1250 °С;
- 9) увеличение содержания кислорода в дутье до 33%.

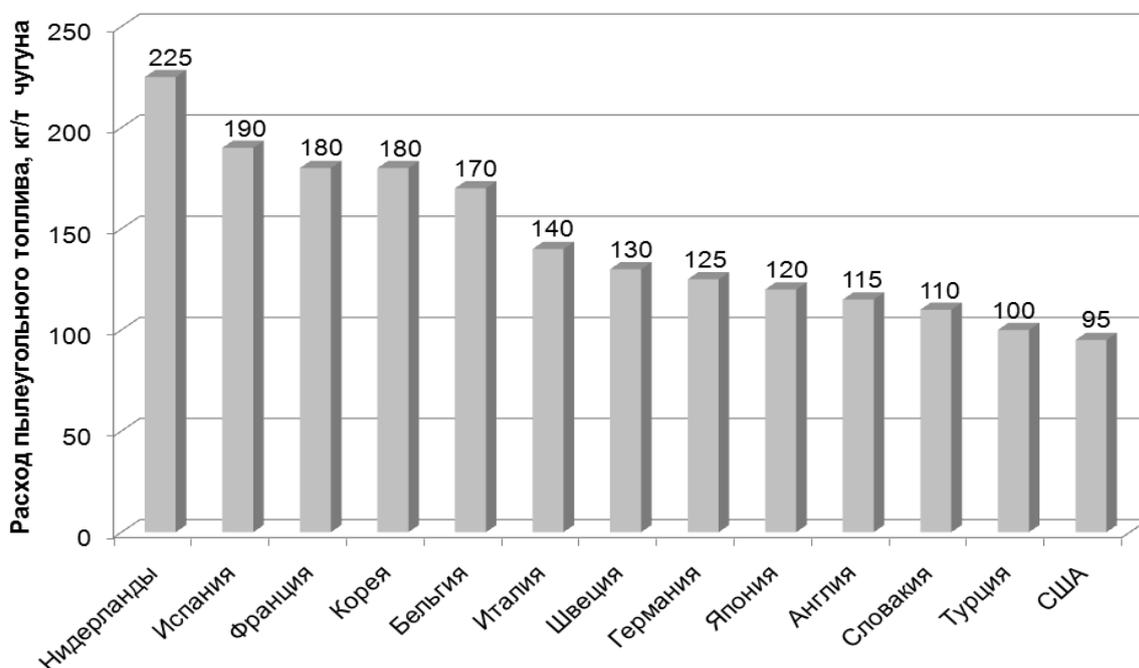


Рисунок 1 – Расход пылеугольного топлива на иностранных металлургических предприятиях

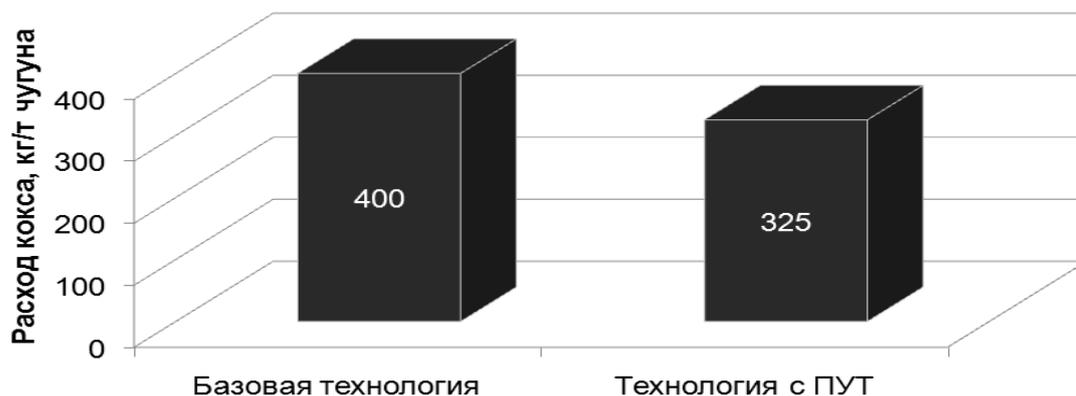


Рисунок 2 – Расход кокса при базовой технологии и с подачей пылеугольного топлива с расходом 95 кг/т чугуна

В то же время на некоторых иностранных предприятиях [1-2] в качестве альтернативного топлива в доменных печах применяются измельченные пластиковые отходы. В России суммарный объем образования пластиковых отходов оценивается в 3,3 млн.т. ежегодно [3]. В структуре пластиковых отходов преобладают полиэтилен, полиэтилентерефталат (ПЭТФ), ламинированная бумага и поливинилхлорид (ПВХ) (рисунок 3).

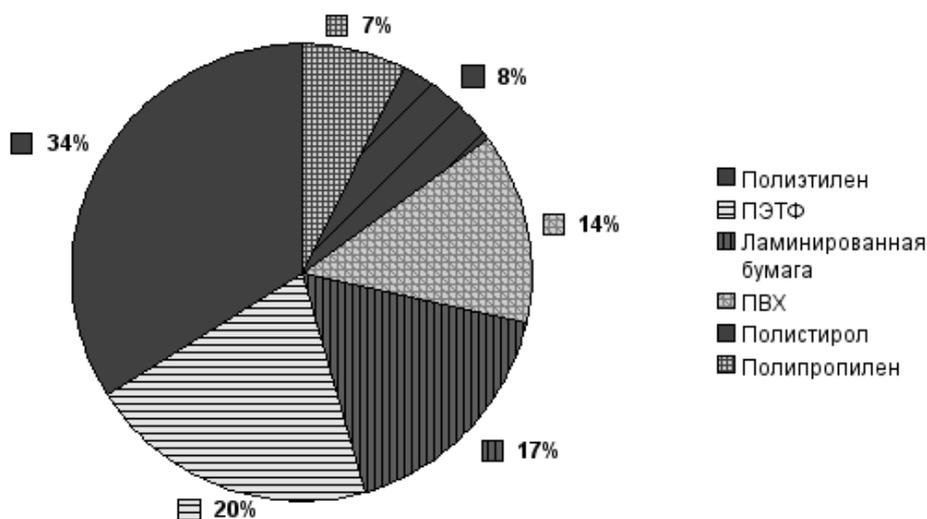


Рисунок 3 – Структура образования пластиковых отходов по материалам, %

По уровню сложности утилизации пластиковые отходы подразделяют на три основные группы:

1. Полимеры с хорошими свойствами. Такие отходы являются чистыми, рассортированными и легко поддаются утилизации. При переработке возможно использование 70–90 % подобных материалов.

2. Полимеры со средними свойствами. К данной группе относят отходы, содержащие определенное количество загрязнений и нуждающиеся в

сортировке. Переработка этих отходов связана с дополнительными издержками по отбору, мойке и т. д. В переработку поступает 20–30 % от первоначального количества такого сырья.

3. Трудно утилизируемые полимеры. Это, прежде всего, сильно загрязненные и смешанные отходы. Их переработка в большинстве случаев не рентабельна. Не более 27 % от общего объема образования пластиковых отходов могут подлежать вторичной переработке (рисунок 4). Это связано в первую очередь с тем, что в России не развита система раздельного сбора мусора, позволяющая не допустить смешивания и загрязнения вторичных ресурсов. Почти 90 % образуемых в России пластиковых отходов вывозится на свалки или сжигается. Не более 12 % в год (около 400 тыс. т) перерабатываются.

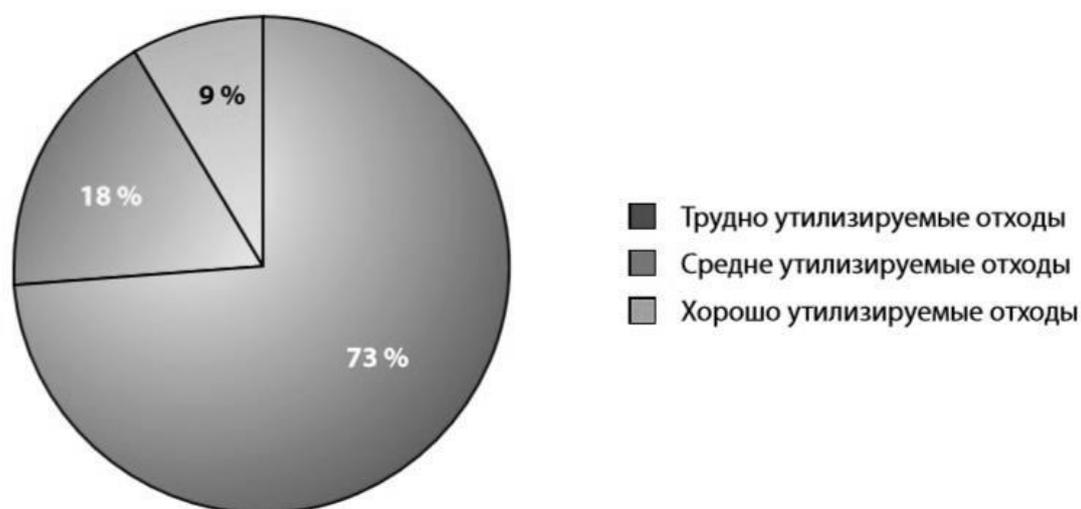


Рисунок 4 – Виды пластиковых отходов в зависимости от сложности и цены утилизации, %

В процессе переработки многие пластиковые материалы теряют первоначальные свойства, что сокращает сферу их применения. В настоящее время практически не существует продукции, полностью изготовленной из переработанного пластика: при производстве вторичное сырье, как правило, добавляется в первичное.

Химический состав пластмасс (таблица 1) и теплота сгорания позволяют рассматривать их использование в качестве топлива при выплавке чугуна в доменной печи.

В Японии на предприятии NKK Keihin Works [1] реализована технология подготовки и подачи пылевидных пластиковых отходов в горн доменной печи. Подготовка отходов к переработке включает разделение по видам (пленочные, кусковые), измельчение и гранулирование (рисунок 5). В дальнейшем подготовленные пластиковые отходы через воздушные фурмы поступают в горн доменной печи, где происходит генерация восстановительного газа с выделением тепла.

Таблица 1 – Сопоставление химического состава пластмасс с ископаемыми топливами

Составные элементы топлив	Природный газ	Виды ископаемого топлива		
		Уголь энергетический	Мазут	Пластмассы
Углерод	70-75	75-80	85-87	75-80
Водород	22-26	4-5	10-12	10-14
Зола	0	8-12	0,05-0,10	4-6
Сера	до 0,001	0,6-1,2	2,0-2,5	0,5-1,5
Хлор	0	0,1-0,3	до 0,05	до 1,5
Фтор	0	до 0,01	до 0,001	до 1,5
Калий	0	0,2-0,3	до 0,001	0,03-0,06
Натрий	0	до 0,1	до 0,001	0,08-0,12

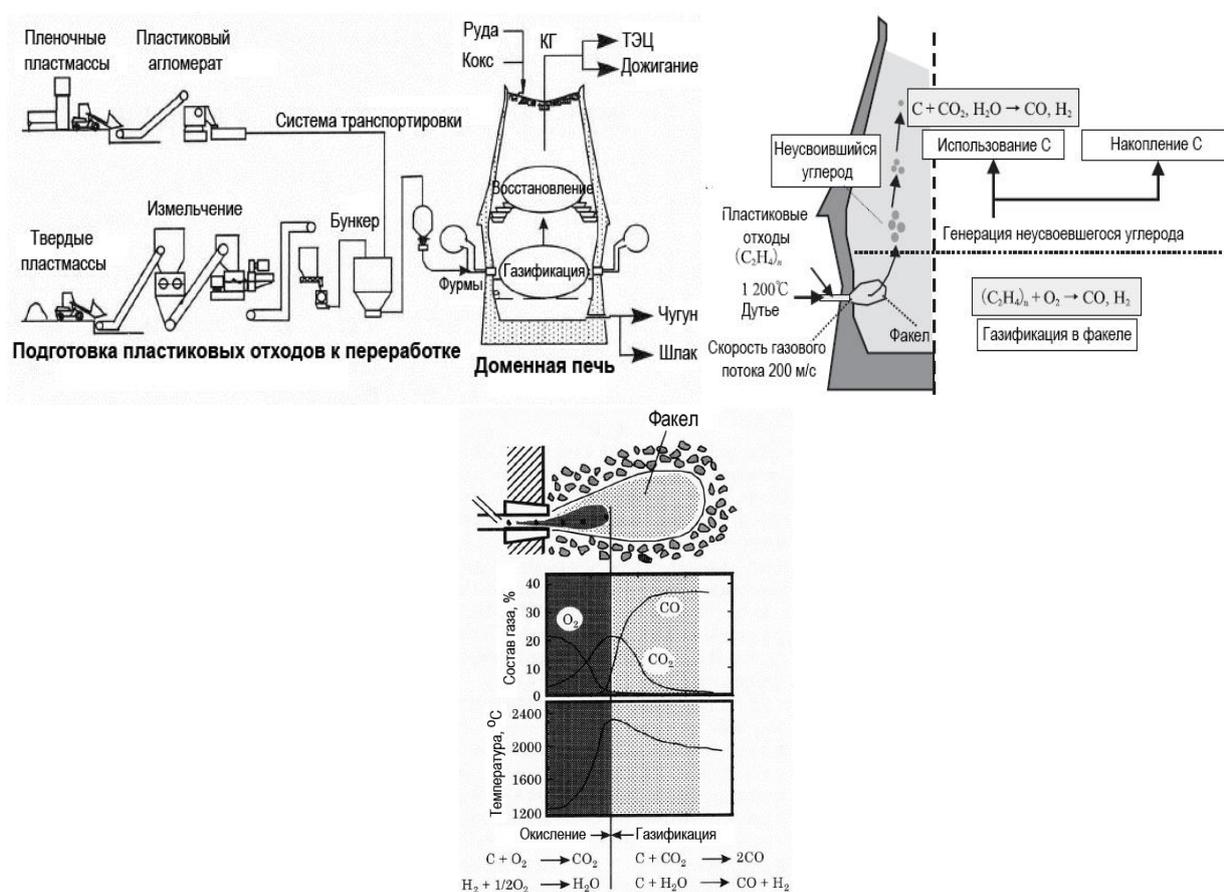


Рисунок 5 – Технологическая схема подготовки и утилизации отходов пластмасс при выплавке чугуна в доменной печи

Преимуществом технологии является отсутствие жестких требований к используемым пластиковым отходам, а недостатками – трудности при транспортировке пленочных пластмасс и возможное попадание хлора в доменную печь при переработке хлорсодержащих пластмасс. Предотвратить негативное влияние хлора на процесс выплавки чугуна возможно при изменении технологии подготовки пластиковых отходов к утилизации. Напри-

мер, японская компания JFE Steel [2] для удаления хлора использует высокотемпературный гранулятор (рисунок 6).

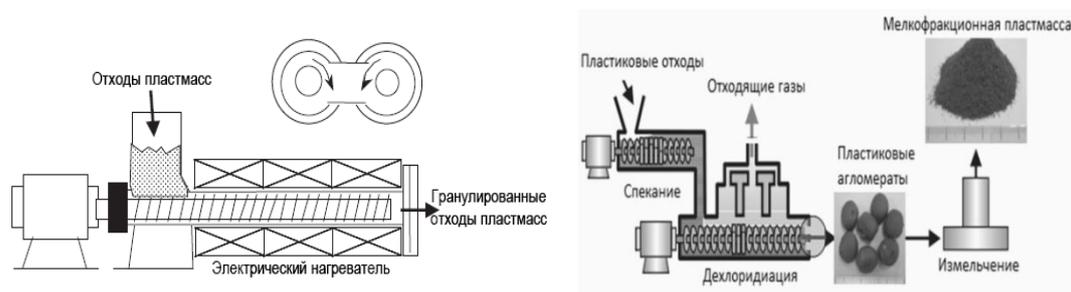


Рисунок 6 – Технологическая схема подготовки отходов пластмасс к утилизации в доменной печи

Анализ производственных данных показывает, что при одинаковом расходе мелкофракционных углеродсодержащих материалов расход кокса при использовании отходов пластмасс ниже, чем при использовании пылеугольного топлива на ~10 %.

#### Библиографический список

1. Ogaki Y. Recycling of Waste Plastic Packaging in a Blast Furnace System / Y. Ogaki, K.Tomioka, A.Watanabe, K.Arita, I.Kuriyama, T.Sugayoshi. – NKK TECHNICAL REVIEW No. 84(2001). – Pp. 1-7.
2. Asanuma M. Development of Waste Plastics Pulverization for Blast Furnace Injection / M. Asanuma, K. Terada, T. Inoguchi, N. Tokashima. – JFE TECHNICAL REPORT No. 19 (Mar. 2014). – Pp. 110-117.
3. Рынок переработки пластиковых отходов. – Твердые бытовые отходы. – 2011. – №1.

УДК 669.046.55

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА СЛИТКОВ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ НА ИХ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВЕЛИЧИНУ ОТХОДОВ

**Денисов Я.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: umanskii@bk.ru*

С использованием методики множественного регрессионного анализа проведены комплексные статистические исследования влияния технологических параметров выплавки, внепечной обработки и разлива стали марки Зпс в кислородно-конвертерных цехах №1 и №2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» на ка-

чество слитков и получаемых из них заготовок.

Ключевые слова: слитки, сталь, разливка в изложницы, химический состав, неметаллические включения.

Повышение качества металлопродукции является актуальной задачей для любого металлургического предприятия, поскольку от данного показателя напрямую зависит конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках сбыта. Показатели качества готовой продукции в значительной степени определяются структурой и свойствами исходных слитков, что делает исследования процессов формирования качества последних также актуальными.

В представленной работе с использованием методики множественного регрессионного анализа проведены комплексные статистические исследования влияния технологических параметров выплавки, внепечной обработки и разливки конвертерной стали на качество слитков и получаемых из них заготовок. В качестве объекта исследований использовали случайную выборку из 200 плавов стали марки 3пс, произведенных в кислородно-конвертерных цехах (ККЦ-1 и ККЦ-2) АО «ЕВРАЗ ЗСМК» в 2017 г. В качестве параметров оптимизации выбрали: отбраковку заготовок по рванинам и дополнительную обрезь слитков из-за наличия внутренних дефектов. Анализировали влияние на параметры оптимизации следующих технологических факторов: состав металлошихты, химический состав стали и шлака, температура выпуска стали из конвертера, характеристики качества шлакообразующих материалов, продолжительность продувки стали в ковше инертным газом, температура и длительность разливки стали, продолжительность «газовыделения» при разливке стали.

В результате установлено, что на отбраковку заготовок по рванинам значимое влияние оказывают следующие параметры: доля оборотного лома в металлозавалке, потери при прокаливании (ППП) используемой извести, отношение марганца к сере в готовой стали. Полученные уравнения регрессии для плавов ККЦ-1 и ККЦ-2 имеют следующий вид:

$$B_{PB} = -1,147 - 0,019 \cdot (D_{OL}) + 0,231 \cdot (ППП_{ИЗВ}) - 0,063 \cdot (Mn/S); \quad (1)$$

$$B_{PB} = -1,492 - 0,017 \cdot (D_{OL}) + 0,244 \cdot (ППП_{ИЗВ}) - 0,048 \cdot (Mn/S), \quad (2)$$

где  $B_{PB}$  – отбраковка заготовок по рванинам, т/плавка;

$D_{OL}$  – доля оборотного лома в металлозавалке, %;

$ППП_{ИЗВ}$  – потери при прокаливании извести, %;

$Mn/S$  – отношение марганца к сере в готовой стали.

Из полученных уравнений регрессии видно, что повышение доли оборотного лома в металлозавалке и увеличение отношения  $Mn/S$  в стали снижает отбраковку заготовок по рванинам, а повышение показателя ППП извести увеличивает брак по данному виду поверхностных дефектов.

Влияние доли оборотного лома в металлозавалке и показателя ППП (потери при прокаливании) извести на качество поверхности заготовок

связано с концентрацией водорода, вносимого компонентами исходной шихты. Так обратный лом вносит меньшее количество водорода по сравнению с копровым ломом (по имеющимся литературным данным [1] в металлоломе, покрытом слоем ржавчины, содержание водорода может на несколько порядков превышать концентрацию водорода в чистом металлическом ломе), а показатель ППП извести прямо пропорционален содержанию в ней водорода [2].

Механизм влияния отношения Mn/S в стали на качество поверхности заготовок объясняется нейтрализующим воздействием марганца по отношению к сере. Марганец обладает большим химическим сродством к железу по сравнению с серой в результате чего происходит разрушение легкоплавких эвтектик FeS, температура плавления которых ниже температуры горячей прокатки, и образование тугоплавкого сульфида марганца MnS [3]. Указанная химическая реакция приводит к устранению хрупкости стали («красноломкости») при прокатке слитков и обуславливает снижение количества рванин на поверхности слитков и заготовок.

Установлено, что повышение температуры разливки слитков и продолжительности «искрения» слитков снижают дополнительную обрезь слитков по внутренним дефектам, а увеличение продолжительности разливки плавки способствуют увеличению дополнительной обрезки со слитков:

$$D_B = 73,425 - 0,047 \cdot (t_{РАЗЛ}) + 0,037 \cdot (T_{РАЗЛ}) - 0,021 \cdot (T_{ИСКР}); \quad (3)$$

$$D_B = 54,232 - 0,035 \cdot (t_{РАЗЛ}) + 0,043 \cdot (T_{РАЗЛ}) - 0,019 \cdot (T_{ИСКР}), \quad (4)$$

где  $D_B$  – дополнительная обрезь слитков по внутренним дефектам, т/плавка;

$t_{РАЗЛ}$  – температура разливки стали, °С;

$T_{РАЗЛ}$  – продолжительность разливки плавки, мин.;

$T_{ИСКР}$  – длительность «искрения» слитков при разливке, сек.

Механизм влияния температуры разливки на дополнительную обрезь слитков заключается в следующем. При пониженной температуре разливки повышается вязкость стали, в результате чего затрудняется процесс всплывания неметаллических включений. В соответствии с известными закономерностями затвердевания стали [4] неметаллические включения имеют свойство концентрироваться в образующихся внутренних несплошностях слитка, которые в слитках полуспокойной стали расположены до уровня 35-45 % высоты слитка. Неметаллические включения, представляющие собой, как правило, сложные оксиды имеют низкую температуру плавления и при температурах прокатки слитков находятся в жидкой фазе. В результате в процессе технологической обрезки слитков после прокатки на блюминге обнаруживаются скопления неметаллических включений в расплавленном состоянии, выход которых на поверхность торца раската обуславливает необходимость дополнительной обрезки вплоть до полного удаления дефектного участка.

Влияние продолжительности разливки на дополнительную обрезь аналогично влиянию вышерассмотренного параметра с той разницей, что дли-

тельность разливки определяет не начальную, а конечную температуру разливки стали, то есть температуру разливки последних слитков.

Характер влияния длительности «искрения» (газовыделения) при разливке слитков полуспокойной стали на дополнительную обрезь объясняется тем, что данный параметр служит показателем оптимальной степени раскисленности стали. В свою очередь от степени раскисленности полуспокойной стали напрямую зависит расположение усадочных пустот в слитке [5]. При нормальной раскисленности, когда интенсивность газовыделения достаточна, над усадочной раковинной формируется «мост» плотного металла толщиной, обеспечивающей изоляцию усадочной раковины от атмосферы с ее последующим полным завариванием при прокатке. В случае перераскисления, показателем чего служит незначительная длительность «искрения» металла в изложнице, слитки получаются с недостаточной толщиной «моста», что ведет к появлению дополнительной обреза.

#### Библиографический список

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
2. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В. А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 423 с.
3. Власов Н.Н. Разливка черных металлов/ Н.Н. Власов, В.В. Король, В.С. Радя. – М.: Металлургия, 1987. – 272 с.
4. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали / В.А. Ефимов. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
5. Китаев Е.М Затвердевание стальных слитков / Е.М. Китаев. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.

УДК 669.168:662.749

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦКОКСА ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СИЛИКОМАРГАНЦА

**Израильский О.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Нохрина О.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Ускорение научно-технического прогресса и подъем на качественно новый технический уровень электротермического производства ферросплавов неразрывно связаны с подбором недефицитных углеродистых восстановителей, обеспечивающих эффективность технологического процесса и требуемое качество металла. Традиционно используют в качестве восстановителей углеродистые материалы такие как, древесные и каменные угли, кокс,

нефтяной кокс, а также торфяные брикеты и торфяной кокс, антрацит, полукокс различны по свойствам.

Ключевые слова: кокс, восстановительная смесь, спцкокс.

При производстве марганцевых ферросплавов в рудотермических печах (РТП) углеродотермическим способом большое значение имеет выбор восстановительной смеси, состав которой влияет на электрическое сопротивление ванны. Этот показатель можно увеличить за счет использования углеродистых восстановителей с высоким исходным электросопротивлением, отчего в результате зависит рабочее напряжение печи. Также немаловажное значение при выборе восстановителя имеют и экономические показатели.

Восстановительные процессы при использовании чистого кокса имеют ряд недостатков, хотя и значимость последних зависит от конкретно выбранного сплава. На подбор и поиск оптимального сочетания восстановителей при работе рудотермической электропечи может уйти не один месяц и не всегда расчетные показатели совпадают с результатами, полученными на практике. В состав восстановительной смеси могут входить несколько компонентов. Кроме того, предъявляются требования к гранулометрическому составу восстановителей и способу загрузки на колошник печи (центр либо периферия). Поиск оптимального состава восстановительной смеси, позволяющей максимально эффективно вести процесс (максимальное восстановление элементов, посадка электродов, электрические параметры электродов) при минимальных затратах, является очень важным вопросом при производстве любого сплава.

Целью данной работы было изучение возможности использования спецкокса в качестве восстановителя.

Спецкокс - твердый высокорекреакционный углеродный восстановитель, используемый для электротермического производства кристаллического кремния, ферросплавов, фосфора, карбида кальция, агломерации руд. Он относится к углеродистым сорбентам многоцелевого назначения, обладает большой удельной поверхностью- 17 м<sup>2</sup>/гр., активность по йоду – 2–5 %, содержание твердого углерода (сухая масса) в зависимости от марки – 91,9 – 95,3 (среднее значение).

Для оценки эффективности применения спецкокса в качестве восстановителя были проведены опытные плавки выплавки силикомарганца.

Используемые сырьевые материалы: марганцевая руда фр. 5-75 мм, кварцит, шлак ферросилиция, шлак оборотный, уголь марки ТО, спецкокс.

В таблице 1 приведен технический анализ углеродистых восстановителей.

Таблица 1 – Технический анализ углеродистых восстановителей

Сырье	Массовая доля, %			
	летучие	зола	влага	Ств
Уголь тощий	15,0	9,5	3,4	74,3
Спецкокс	3,3	6,7	1,8	88,6

В качестве восстановителя в опытный период был спецкокс. Показатели опытного периода выплавки силикомарганца сравнивали с показателями базового периода (восстановитель – уголь ТО).

В таблице 2 приведены основные средние производственные показатели за сутки.

Таблица 2 – Производственные показатели за сутки

Производство, физ.т	Производство, баз.т	Съем эл/эн, МВт/ч	Факт мощность, МВт	Кол-во шлака, т	Основность шлака
базовый период					
41,67	43,7	175,6	7,41	35,5	0,79
опытный период					
48,37	50,86	190	7,84	46,5	0,8

Анализ полученных результатов за опытную кампанию показал, что применение спецкокса при выплавке силикомарганца позволяет:

- увеличить производительность печи на 16,4 % (до 50,9 т/сут) за счет введения большей мощности на печь и за счет высокой реакционной способности восстановителя;
- сократить удельный расход электроэнергии на 7 % (до 3735 кВтч/т);
- увеличить полезную мощность на 7,2 % (до 7,94 МВт) за счет уменьшения нагрузки на газоочистку.

Однако, несмотря на значительное улучшение производственных показателей, недостатком материала «спецкокс» является его высокая стоимость, что существенно увеличивает себестоимость продукта. Поэтому следует рассматривать спецкокс, как дополнительный углеродсодержащий материал в восстановительных смесях с углем.

УДК 669.1

## УТИЛИЗАЦИЯ МЕЛОЧИ ПРИ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

Федотова Н.К.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Нохрина О.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail:natalykim1976@mail.ru*

В данной статье представлено описание процессов утилизации дисперсных фракций ферросилиция. Процессы основаны на рациональной переработки мелочи от дробления ферросилиция путем окускования и возврата в основное производство, а также на внедрении технологии производства порошковой проволоки для внепечной обработки стали и чугуна. Используя данные варианты, возможно, не только утилизировать отходы производства

и сократить потери металла, но и увеличить выход продаваемых классов, получив прибыль от продаж.

Ключевые слова: утилизация ферросилиция, окускование, производство порошковой проволоки.

Ферросилиций используют в качестве раскисляющих и легирующих добавок чугуна и стали. Возрастающие требования потребителей к фракционному составу ферросилиция приводят к операции дробления и фракционирования ферросилиция.

На металлургических предприятиях обычно переработка ферросилиция осуществляется в специальных цехах на технологических линиях, включающих в себя полный цикл технологических операций: многостадийное дробление, грохочение, фракционирование, упаковку и отгрузку готовой продукции. При дроблении ферросилиция образуется значительное количество дисперсных фракций от 0 до 15 мм (до 18 %) [4].

Основные факторы, влияющие на образование мелочи: толщина слитка; крупность исходного материала; стадийность дробления; рабочий зазор дробилки; размер шага и высоты профиля зуба дробящих щек; траектория движения подвижной щеки.

Всё технологическое оборудование и места пересыпок оборудованы местными пылеотсосами. Мелкодисперсная пыль улавливается аспирационными системами, и образуются побочный продукт фракции 0-0,4 мм.

При сложившейся структуре производственных заказов существуют трудности с реализацией мелких фракций. Тем более предприятие несет финансовые убытки при продаже мелочи. Убытки связаны с тем, что продажная цена на мелочь значительно ниже цены остальных товарных фракций – на 40 %. Продажа осуществляется случайным потребителям и мелкими партиями.

Пыль от дробления ферросилиция обладает воспламеняющимися и взрывными свойствами, а при взаимодействии с влагой выделяет в атмосферу токсичные газы, мышьяк и пр. В связи с этим долгое хранение ферросилиция потенциально опасно.

Таким образом, отходы ферросплавов необходимо утилизировать обычно в следующих направлениях: окускование и возвращение в плавку; использование для производства вяжущих и строительных материалов, а также для изготовления пиротехники.

Технология окускования и брикетирования мелкой фракции обеспечивает практически безотходное производство, брикеты переплавляют в рудотермической или в индукционной печи. Брикетирование осуществляют методом полигонной заливки (мелочь связывают со связующим жидким стеклом, заливают в кассетные формы и оставляют до полной просушки) и методом гидроимпульсного брикетирования (на брикет-прессе, работающем по гидроимпульсному принципу). Также мелочь окомковывают в тарельчатом грану-

ляторе. Размер окатышей 10 – 25 мм. Такие окатыши удовлетворяют потребительским требованиям, они пригодны для транспортировки и хранения [3].

С целью утилизации фракций 0-0,4 и 0-5 предлагается внедрить на ферросплавных предприятиях технологию производства порошковой проволоки, которая представляет собой тонкостенную трубку из малоуглеродистой стали значительной протяженности, заполненную порошком из ферросплавов, предназначенная для внепечной обработки чугуна и стали: для раскисления, легирования и модифицирования.

Процесс осуществляется на автоматизированной линии по производству проволоки производительностью 800 тонн/месяц и сводится к следующим этапам:

- подготовка исходных материалов;
- формирование профиля в формовочном стане;
- засыпка сердечника ферросилицием в профиль;
- волочение (с суммарным уменьшением наружного диаметра на 4%);
- сматывание в бунты и контроль [5].

Порошковая проволока характеризуется в соответствии с коэффициентом заполнения – соотношения массы сердцевины к единице длины изготовленной проволоки. Для каждой марки рассчитывается свой показатель, но в среднем коэффициент укладывается в 25 -40 %.

Порошковая проволока вводится в жидкую сталь или чугун с требуемой скоростью специальным устройством – трайб-аппаратом. Это позволяет регулировать глубину погружения легирующих добавок [2].

Внепечная обработка порошковой проволокой обладает неоспоримыми преимуществами:

- небольшие капитальные вложения и производственные затраты;
- простота и надежность конструкций машин;
- совместимость с существующими в цехе технологическими процессами;
- небольшой расход материалов и точное регулирование заданного химического состава готового металла;
- минимальные трудозатраты обслуживающей рабочей бригады;
- соблюдение жестких требований техники безопасности, промышленной санитарии и взрывобезопасности;
- отсутствие пыли- и дымовыделений.

С экологической стороны можно также отметить, удобство транспортирования и безопасное хранения проволоки.

Что касается экономической стороны данного вопроса, то в среднем себестоимость порошковой проволоки составляет около 38 тысяч рублей за тонну, стоимость на рынке от 62 тысяч рублей и выше за базовую тонну с коэффициентом заполнения 40 % . При продаже проволоки прибыль составит 24 %.

В настоящее время порошковую проволоку с различными сердечниками уже производят на многих предприятиях России (Магнитогорском, Челябинском, Ключевском заводах и др.).

Используя варианты рациональной технологической переработки мелочи от дробления ферросилиция, возможно, не только утилизировать отходы производства и сократить потери металла, но и увеличить выход продаваемых классов и получить прибыль от продаж.

#### Библиографический список

1. Белкин, А.И. Исследование пылеобразования и обеспечение пожаровзрывоопасности при производстве фракционированных ферросплавов [Текст]// А.И. Белкин/ Сталь, 2004 – №12. - с. 51 – 57.
2. Кац Я.Л. Состояние и перспективы развития внепечной обработки стали в России [Текст]// Я.Л. Кац/ Металлург, 2006, №2, с.49-55.
3. Нохрина, О.И. Использование отходов фракционирования ферросилиция для раскисления и легирования стали [Текст]// О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, А.В. Маркушев / Тезисы докладов X Межд. научной конференции Современные проблемы электрометаллургии стали. – Челябинск, 1998. – с. 89 – 90.
4. Павлов, С.Ф. Отходы и выбросы при производстве ферросилиция [Текст]// С.Ф. Павлов, Ю.П. Снитко, С.Б. Плюхин / Электрометаллургия, 2004 - №4. – с. 22 – 28.
5. Особенности производства порошковой проволоки/ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://promtu.ru/linii-proizvodstva>.

УДК 621.771.65

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПОМОЛЬНЫХ ШАРОВ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ МЕТОДОМ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ, НА ИХ УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ**

**Щукин А.Г.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [umanskii@bk.ru](mailto:umanskii@bk.ru)*

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено значимое влияние флокенов на снижение ударной стойкости помольных шаров диаметром 50 и 60 мм, произведенных методом поперечно-винтовой прокатки. Достоверность полученных результатов подтверждена фрактографическими исследованиями изломов шаров.

Ключевые слова: помольные шары, макроструктура, флокены, ударная стойкость, излом.

Требования к качеству макроструктуры исходных заготовок для изготовления помольных шаров определяются тем фактом, что помольные шары

в процессе эксплуатации в размольно-дробильном оборудовании подвергаются многократным ударным нагрузкам [1]. Наличие внутренних несплошностей значительно повышает вероятность хрупкого раскола помольных шаров, поэтому в исходных заготовках такие дефекты являются недопустимыми. По данным работы [2] наиболее опасными для помольных шаров являются флокены и остатки усадочной раковины.

Существует мнение, что на образование флокенов значимое влияние оказывает характер напряжений (растягивающие или сжимающие). Так в работах [3, 4] отмечается, что только растягивающие напряжения при совместном действии с водородом могут вызывать образование флокенов, что объясняется обогащением зон растягивающих напряжений водородом, который, собираясь возле дислокаций и других зародышей трещин, способствует зарождению и распространению трещин, особенно на межфазных границах. Однако, с другой стороны, наличие на поверхности сжимающих напряжений может препятствовать диффузионному удалению водорода с поверхности и, как следствие, увеличить вероятность образования флокенов. В процессе поперечно-винтовой прокатки шаров в отличие от стандартных методов продольной прокатки имеют место только растягивающие напряжения.

С целью определения характера и степени влияния внутренних дефектов на ударную стойкость шаров проведена серия экспериментальных исследований. В качестве объекта исследований выбрали шары, полученные методом поперечно-винтовой прокатки, диаметром 50 и 60 мм. При этом использовали шары, прокатанные из заготовок ранее забракованных из-за наличия флокенов и шары, прокатанные из заготовок без выявленных внутренних дефектов. Шары подвергали испытаниям на ударную стойкость на копровой установке.

В результате экспериментальных исследований установлено, что стойкость шаров, прокатанных из заготовок с наличием флокенов, значительно ниже по отношению к шарам, прокатанным из заготовок без видимых внутренних дефектов. Так при проведении испытаний шаров диаметром 60 мм доля расколовшихся после 50 ударов шаров составила: 100% для шаров, прокатанных из заготовок с флокенами и 9% – для шаров, прокатанных из годных заготовок. При испытаниях шаров диаметром 50 мм 100 % шаров, прокатанных из заготовок с флокенами, раскололись после 8-10 ударов, а 100 % шаров, прокатанных из годных заготовок, выдержали 70 ударов без расколов.

Фрактографические исследования поверхности разрушения шаров после испытаний на ударную стойкость показали наличие в изломах флокенов для шаров, прокатанных из заготовок с данными дефектами. На поверхности разрушения имеются участки в виде светлых пятен, имеющих более крупнокристаллическое строение по отношению к основному металлу (рисунок 1). В соответствии с классификацией изломов, данной Л.П. Герасимовой с соавторами в справочнике «Изломы конструкционных сталей» [5], указанные дефекты имеют основные признаки флокенов «... имеют гладкую серебри-

стую кристаллическую поверхность стенок.», «Если поверхность флокенов совпадает с плоскостью излома, то они резко выделяются своим блеском ... на фоне излома с кристаллическим строением менее заметны и отличаются более светлой окраской.».



Рисунок 1 – Общий вид изломов шаров с флокенами после испытаний на ударную стойкость

Исследования поверхности разрушения шаров, прокатанных из заготовок без видимых внутренних дефектов, показали наличие изломов кратковременного нагружения (рисунок 2). Характер изломов характеризуется кристаллическим строением основной площадки излома и наличием рубцов, лучеобразно расходящихся из зоны начала разрушения. У начала разрушения они мелкие, а по мере продвижения становятся грубее. Наблюдается достаточно чёткая граница между зоной медленного разрушения и зоной, где разрушение шло с большей скоростью.



Рисунок 2 – Общий вид изломов шаров без видимых внутренних дефектов после испытаний на ударную стойкость

Таким образом, подтверждено, что наличие флокенов оказывает значительное влияние на снижение ударной стойкости помольных шаров.

#### Библиографический список

1. Крутилин А.Н. Мелющие тела. Проблемы. Перспективы / А.Н. Крутилин, Н.И. Бестужев, А.Н. Бестужев, Д.Н. Каленкович // Литье и металлургия. – 2009. – №4 (53). – С. 26-33.
2. Ефременко В.Г. Металлографический анализ причин разрушения стальных катаных тел для барабанных мельниц / В.Г. Ефременко // Вестник Приазов-

ского государственного технического университета. – 2000. – №9. – С. 89-91.

3. Башнин Ю.А. Термическая обработка крупногабаритных изделий и полуфабрикатов на металлургических заводах / Ю.А. Башнин, В.Н. Цурков, В.М. Коровина. – М.: Металлургия, 1985. – 176 с.

4. Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.

5. Герасимова Л.П. Изломы конструкционных сталей: справочное издание / Л.П. Герасимова, А.А. Ежов, М.И. Маресев. – М.: Металлургия, 1987. – 272 с.

УДК 661.625

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ**

**Черновский Г.Н.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Исследована термоокислительная устойчивость нанокристаллического карбида кремния на воздухе. Установлено, что температура начала окисления карбида кремния при изменении размера наночастиц от 40 до 95 нм возрастает с 891 до 936 К.

Ключевые слова: карбид кремния, нанокристаллическое состояние, окисление на воздухе.

Исследование термоокислительной устойчивости наноразмерных карбидов имеет важное научное и прикладное значение, поскольку способствует решению вопросов обеспечения стабильности их структуры и достигнутого при получении комплекса свойств.

Исследованию процессов окисления карбидов металлов IVa – VIa групп, а также карбидов бора и кремния, на воздухе и в среде кислорода посвящено большое количество работ, результаты которых обобщены в [1, 2]. По данным [3], при окислении карбида кремния образование оксикарбидов и выделение свободного углерода не отмечается. Окисление микророшков карбида кремния зеленого зернистостью M5, M10 начинается при температуре 950 – 990 К.

Термоокислительная устойчивость синтезированных нанодисперсных порошков карбида кремния исследовалась термогравиметрическим методом в интервале температур 298 – 1373 К. В качестве объектов исследования использовались образцы нанокарбида кремния, подвергнутые рафинированию.

Для предотвращения тления нанопорошков карбида кремния толщина насыпного слоя при съемке дериватограмм не превышала 1 мм. Характеристики нанопорошков и температуры начала их окисления на воздухе приведены в таблице. В таблице 1 приведены также для сравнения характеристики нанопорошков карбида и борида ванадия.

Таблица 1 – Характеристики термоокислительной устойчивости нанопорошков карбида кремния

Соединение и его состав	Размер* частиц	Температура начала окисления, К	Состав продуктов окисления
$\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$	40	$891 \pm 10$	аморфны
$\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$	48	$899 \pm 10$	аморфны
$\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$	53	$905^{**} \pm 10$	аморфны
$\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$	62	$913 \pm 10$	аморфны
$\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$	76	$924 \pm 10$	аморфны
$\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$	95	$936 \pm 10$	аморфны
$\text{VC}_{0,85}\text{N}_{0,05}$	45	$553^{**} \pm 10$	$\text{V}_2\text{O}_5$
$\text{VB}_2$	32	$620^{**} \pm 10$	аморфны

\* Рассчитан по величине удельной поверхности.  
 \*\* По данным [4].

Дериватограммы нанопорошков карбида кремния приведены на рисунке 1. Их анализ и термохимические расчеты показывают, что температура начала окисления карбида кремния зависит от наноуровня и при изменении среднего размера частиц от 40 до 95 нм возрастает с 891 до 936 К. Процессы окисления протекают с относительно малой скоростью: увеличение массы образцов в рассматриваемом интервале температур не превышает 14 – 16 % масс.

Относительно слабая зависимость температуры начала окисления от наноуровня и малая скорость окисления связаны, по-видимому, с образованием аморфной пленки из диоксида кремния, обладающей защитными свойствами. По термоокислительной устойчивости карбид кремния значительно превосходит введенные ранее в обращение нанопорошки карбидов ванадия, титана, хрома и циркония и их боридов [4]. Окисление нанопорошка карбида ванадия начинается при более низких температурах по сравнению с карбидом кремния температурах и протекает в два этапа (рисунок ж): разрушение карбида в интервале температур (548÷560) – (648÷660) К с образованием оксида и одновременным выделением углерода в свободном состоянии и его сгорание в интервале температур (730÷770) – (770÷830) К. Окисление нанопорошка борид ванадия представляет собой сложный многоступенчатый процесс, о чем свидетельствует наличие на термограмме (рисунок 1) неидентифицированных ввиду аморфности продуктов окисления ряда экзотермических эффектов.

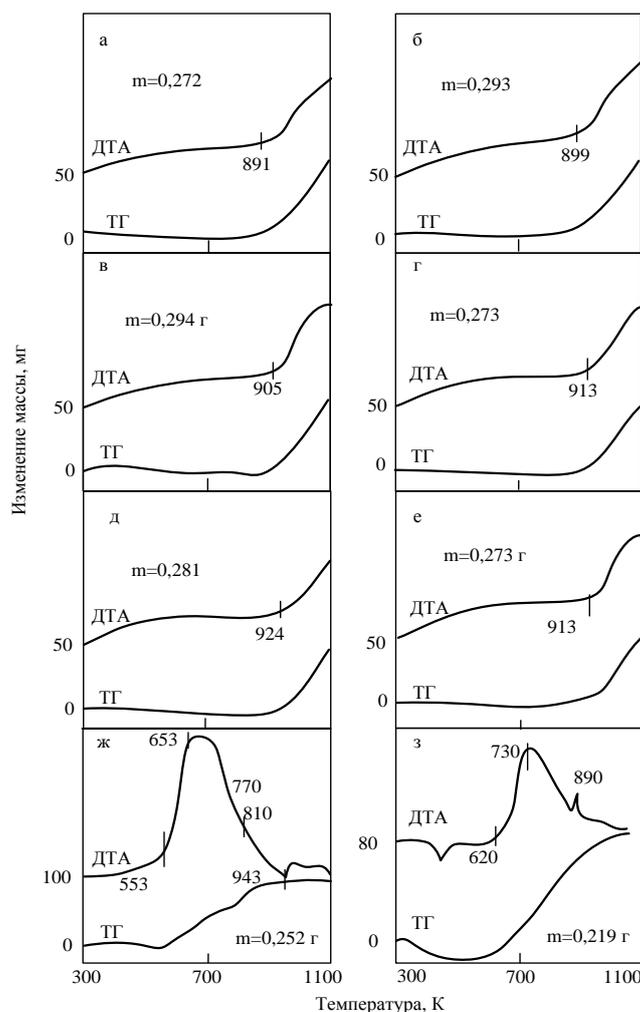


Рисунок 1 – Дериватограммы нанопорошков карбида кремния со средним размером частиц, нм: 40 (а), 48 (б), 53 (в), 62 (г), 76 (д), 95 (е), карбида (ж) и борида (з) ванадия

Зависимость температуры начала окисления карбида кремния на воздухе от размера частиц описывается уравнением вида

$$T_{ок} = 45 \log_{2,3} dч + 690 (F/F_{0,95} (3, 10) = 0,332/3,7),$$

где  $T_{ок}$  – температура начала окисления, К;

$dч$  – размер частиц, нм.

Анализ уравнения показывает, что термоокислительная устойчивость карбидных нанопорошков изменяется значительно медленнее, чем характеристики их дисперсности. По-видимому, указанное свойство карбида кремния определяется факторами, более сложным образом связанными с размером частиц. Таким фактором может быть энергия возбуждения поверхностных атомов, определяемая, в частности, степенью искажения решеток при переходе на наноуровень.

*Заключение.*

Температура начала окисления карбида кремния зависит от наноуров-

ня и при изменении размера частиц от 40 до 95 нм возрастает с 891 до 936 К. Эта зависимость описывается уравнением вида

$$\text{Ток} = 45 \log_{2,3} dч + 690.$$

Относительно слабая зависимость температуры начала окисления от наноуровня и малая скорость окисления связаны, по-видимому, с образованием защитной аморфной пленки диоксида кремния. По термоокислительной устойчивости на воздухе наноразмерный карбид кремния значительно превосходит нанопорошки металлоподобных карбидов и боридов.

#### Библиографический список

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений : справочник / Под ред. Т. Я. Косолаповой. – М. : Metallurgia, 1986. – 928 с.
2. Войтович Р. Ф. Окисление карбидов и нитридов / Р. Ф. Войтович. – Киев: Наукова думка, 1981. – 192 с.
3. Помыткин А. П. Кинетика высокотемпературного окисления карбидов титана, ниобия, хрома, бора и кремния в кислороде : автореф. дис.... канд. хим. наук / А. П. Помыткин ; ИПМ АН УССР. – Киев, 1985. – 26 с. : граф. – Библиогр.: С. 25-26 (8 назв.).
4. Галевский Г. В. Плазмохимический синтез тугоплавких карбидов и боридов – высокодисперсных компонентов композиционных материалов : дис.... док. тех. наук: спец. 05.17.01 : защищена 15.05.90 ; утв. 01.02.91 / Г. В. Галевский. – Ленинград, 1990. – 433 с. – Библиогр. с. 340-389. – 2348/10.

УДК 661.625

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ КЕРАМИКИ В РОССИИ**

**Черновский Г.Н.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Проведен анализ состояния и перспектив развития производства карбидокремниевой конструкционной керамики в России.

Ключевые слова: карбид кремния, конструкционная керамика, машиностроение.

Производство карбида кремния является одним из важнейших в структуре современной металлургии. Сочетание исключительных теплофизических, механических и физико-химических свойств карбида кремния делает

его востребованным многими отраслями техники. При этом одной из наиболее динамично развивающихся областей применения карбида кремния является производство износостойкой керамики для нефтяного и химического машиностроения.

Целью настоящей работы является оценка состояния и перспектив развития производства в России карбидокремниевой конструкционной керамики.

В настоящее время в России производство конструкционной карбидокремниевой керамики осуществляется с использованием двух основных технологий – горячего прессования в ООО «Завод технической керамики» [1] и твердофазного спекания в ООО «Вириал» [2, 3].

Компания ООО «Завод технической керамики» (г. Москва) создана в 1992 г. и занимается производством керамических режущих сменных многогранных пластин и износостойких изделий для различных отраслей промышленности и техники, а также разработкой новых композиционных материалов для режущих инструментов. Износостойкие изделия включают керамические сопла для струйной очистки и гидроабразивной резки, насадки газовых горелок, направляющие, фильеры, волокна, глазки, регулируемую и запорную арматуру, керамические ножи, керамические подшипники. Производство керамических изделий имеет полный технологический цикл: от размола и обжига керамического куска до производства готовых шлифованных изделий, включая высокотемпературное газостатическое доуплотнение изделий.

Карбид кремния в виде микропорошка используется для производства элементов запорной и регулирующей арматуры, а также керамических подшипников.

Керамические регулирующая и запорная арматура обладает способностью противостоять гидро- и абразивному износу, коррозионному и температурному воздействию, а также стойкостью к агрессивным жидкостям. Это позволяет использовать ее в нефтяном и химическом оборудовании для регулирования технологических процессов. В комплект арматуры входят задвижки, поворотные заслонки, вентили, регулирующие клапанные шары (шар-седло), втулки сальникового узла, кольца для уплотнений и др.

Керамические подшипники являются одним из наиболее перспективных видов керамической продукции. Благодаря высокой твердости и способности керамики выдерживать температуры до 1000 °С, возникающие при трении, керамические подшипники превосходят стальные по сроку службы в 100 раз и работают при этом без смазки. В силу низкой плотности керамики применение керамических подшипников дает выигрыш в массе до 60 %, что при высоких скоростях также уменьшает центробежные силы. Химическая стойкость, радиационная устойчивость, высокие диэлектрические свойства, отсутствие магнетизма, низкая плотность позволяют использовать керамические подшипники скольжения для комплектации оборудования в нефтяном и химическом производстве, в атомных и силовых установках. Использование керамических подшипников также эффективно в точных и навигационных

приборах, в оборонной промышленности, например, в гироскопах и высокооборотных машинах – турбинах, компрессорах, обрабатывающих центрах.

Изделия и полуфабрикаты из карбида кремния изготавливают способом горячего прессования, т.е. прессованием при температуре спекания. Данный способ обеспечивает получение меньшего размера зерна и повышение механических свойств (плотности, прочности, ударной вязкости) относительно материалов, полученных традиционной технологией прессования и спекания. Имеющееся в компании оборудование позволяет осуществлять горячее прессование при температуре до 2200 °С в защитных средах – азоте, аргоне, вакууме, а также на воздухе. Однако горячее прессование обеспечивает получение деталей и заготовок достаточно простой геометрии. Поэтому для получения изделий сложной формы используются оборудование для горячего изостатического прессования, позволяющего благодаря изотропной природе находящегося под высоким давлением газа, обеспечить сжатие во всех направлениях.

Компания ООО «Вириал» (г. Санкт-Петербург), созданная в 1991 г., занимает устойчивое лидирующее положение в отечественном секторе износостойкой керамики для машиностроения. Основные направления работы предприятия – производство и поставка изделий из износостойкой машиностроительной керамики крупнейшим предприятиям страны, изготавливающим мощные погружные центробежные насосы для добычи нефти, торцевые уплотнения и запорную арматуру. В общем объеме производства значительное место занимают износостойкие изделия из карбида кремния, в номенклатуру которых входят кольца, втулки, опоры, подшипники, сопла и узлы в сборе, включающие эти изделия. Эти изделия используются в парах трения (радиальные и осевые подшипники скольжения) погружных центробежных насосов, торцевых уплотнениях и клапанах насосов для перекачки агрессивных и абразивосодержащих жидкостей, для футеровки различных мельниц. Износостойкие изделия из карбида кремния отмечаются экстремально высокими эксплуатационными характеристиками: эрозионной стойкостью, химической и термоустойчивостью, надежностью и долговечностью, что обеспечивается уникальным сочетанием таких свойств карбида, как прочность, твердость, высокий модуль упругости, высокая теплопроводность, низкий коэффициент линейного температурного расширения, высокие трибологические характеристики. Так, предприятие производит полную номенклатуру подшипников скольжения из карбида кремния для герметичных насосов (по ОСТ 26-06-1492-87). Подшипники скольжения из карбида кремния являются прогрессивной заменой подшипников из силицированного графита, обеспечивая существенное увеличение ресурса агрегата. Действительно, подшипники скольжения из реакционноспеченного карбида (SiSiC) и спеченного карбида кремния (SSiC) имеют целый ряд преимуществ по физико-механическим свойствам и коррозионной стойкости по сравнению с подшипниками из силицированных графитов типа СГ-П и СГ-Т (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Основные физико-механические свойства карбида кремния и силицированного графита

Показатель	SSiC	SiSiC	СГ-П
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	3150	3030	2200
Твердость по Виккерсу, ГПа, в пределах	28 – 33	23-33 (по каркасу SiC)	50 – 70 HRC
Прочность на изгиб, МПа, в пределах	350 – 450	280 – 450	90 – 100
Модуль Юнга, ГПа, в пределах	390 – 420	340 – 400	200 – 250
Трещиностойкость, МПа·м <sup>1/2</sup> , в пределах	3 – 4	3,5 – 4,5	3 – 4
Прочность на сжатие, МПа, не менее	2500	2500	410
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К, в пределах	80 – 130	120 – 160	110 – 115
Коэффициент термического расширения, 10 <sup>6</sup> К <sup>-1</sup> , в пределах	2,8 – 4	2,4 – 3,6	3,8 – 4,2

Таблица 2 – Коррозионная стойкость карбида кремния и силицированного графита (убыль массы мг/см<sup>2</sup> в год)

Среда	SSiC (нет Si)	SiSiC, (<15 % Si)	СГ-П, (20 % Si, 35 % C)
98 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 100 °С	1,8	55,0	106,0
50 % NaOH, 100 °С	2,5	>1000	>1000
53 % HF, 25 °С	<0,2	7,9	14,3
85 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 100 °С	<0,2	8,8	9,1
70 % HNO <sub>3</sub> , 100 °С	<0,2	0,5	2,5
45 % KOH, 100 °С	<0,2	>1000	>1000
25 % HCl, 70 °С	<0,2	0,9	1,1
HF + HNO <sub>3</sub> , 25 °С	<0,2	>1000	>1000

Можно видеть, что по химической стойкости спеченный карбид кремния (SSiC) превосходит реакционнospеченный карбид кремния и многократно превосходит силицированный графит, в связи с чем рекомендуется как универсальный материал для работы в химически агрессивных жидкостях с рН от 0 до 14.

Для производства карбидокремниевой керамики используется микро-низированный карбид с размером частиц 1 мкм и менее, поставляемый компанией «Saint-Gobian». При этом реализуется традиционная технологическая схема, включающая стадии подготовки пресс-порошков, формования, спекания, механической обработки и сборки, выходного контроля. Процесс подготовки пресс-порошков обеспечен всем современным комплексом оборудования – от шаровых мельниц, вибромельниц, планетарных мельниц до интенсивных атриторов и грануляторов, которые могут производить шихту любой требуемой рецептуры, как при сухом смешении, так и в различных жид-

ких средах в количестве до нескольких сотен кг в сутки. Особенностью стадии формования и спекания является использование уникального оборудования с очень высокими термосиловыми параметрами. Так, для формования заготовок используется автоматический четырехуровневый пресс с усилием до 150 т, гидравлический пресс с объемом камеры 0,07 м<sup>3</sup> и давлением в рабочей камере до 200 МПа, гидростатический пресс с объемом камеры 0,02 м<sup>3</sup> и давлением в рабочей камере до 300 МПа. Для спекания используются печи сопротивления и среднечастотные вакуумные печи. Комплекс печного оборудования позволяет проводить спекание материалов в вакууме в восстановительной или неокислительной атмосфере при температуре до 2200 °С, на воздухе до температуры 1700 °С. Для получения горячепрессованных изделий с высокими эксплуатационными свойствами используется газостатический пресс с давлением в рабочей камере до 200 МПа и температурой до 2000 °С. Механообрабатывающее и сборочное производство обеспечивает все виды высокоскоростной и высокоточной обработки (токарно-фрезерную, шлифовальную и др.) и позволяет получать керамические изделия сложной геометрии, а также узлы, состоящие из керамических и металлических деталей. Контроль структуры и механических свойств материала проводится на стадии получения полуфабриката, что сводит к минимуму возможность выпуска изделий из некачественных по материалу заготовок и позволяет снизить издержки на производство. Готовые изделия проходят 100-процентный контроль по основным параметрам и выборочный – по физико-механическим характеристикам.

В настоящее время компания обеспечивает половину отечественного спроса на техническую карбидокремниевую керамику и планирует увеличение объема за счет строительства производственного комплекса на территории Ленинградской области в рамках одобренного ГК «РоснаноТех» проекта «Создание промышленного производства конкурентоспособной продукции из наноструктурных керамических и металлокерамических материалов».

#### *Заключение*

Исследовано состояние технологии конструкционной керамики и выполнен сравнительный анализ потенциально пригодных, заявленных и опробованных для этих областей материалов, сформулированы требования, предъявляемые к конструкционному карбиду кремния. Выявлены значительные перспективы применения карбида кремния в наносостоянии.

#### Библиографический список

1. Торгово-промышленная палата Российской Федерации [Электронный ресурс] / Аналитические материалы комитета ; разр. РБК СОФТ. - Электрон. дан. – М.: ТПП РФ, 2002 – Режим доступа : <http://tpprf.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

2. Сопла керамические [Электронный ресурс] / Завод технической керамики.– Электрон. дан. – М.: ЗТК, 2008 –. Режим доступа: [http:// techceram.ru](http://techceram.ru), свободный. – Загл. с экрана.

3. Износостойкие изделия из карбида кремния [Электронный ресурс] / ООО «Вириал».– Электрон. дан. – М.: Вириал, [2003]. – Режим доступа : <http://virial.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 661.625

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА И МОДИФИЦИРОВАНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА**

**Черновский Г.Н.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)*

Проведен термодинамический анализ высокотемпературных взаимодействий в системах Si–C–H–N, Si–C–N, описывающих синтез и модифицирование карбида кремния и определены температурно-концентрационные условия достижения его 100 %-ного выхода.

Ключевые слова: карбид кремния, синтез, модифицирование, плазменный поток.

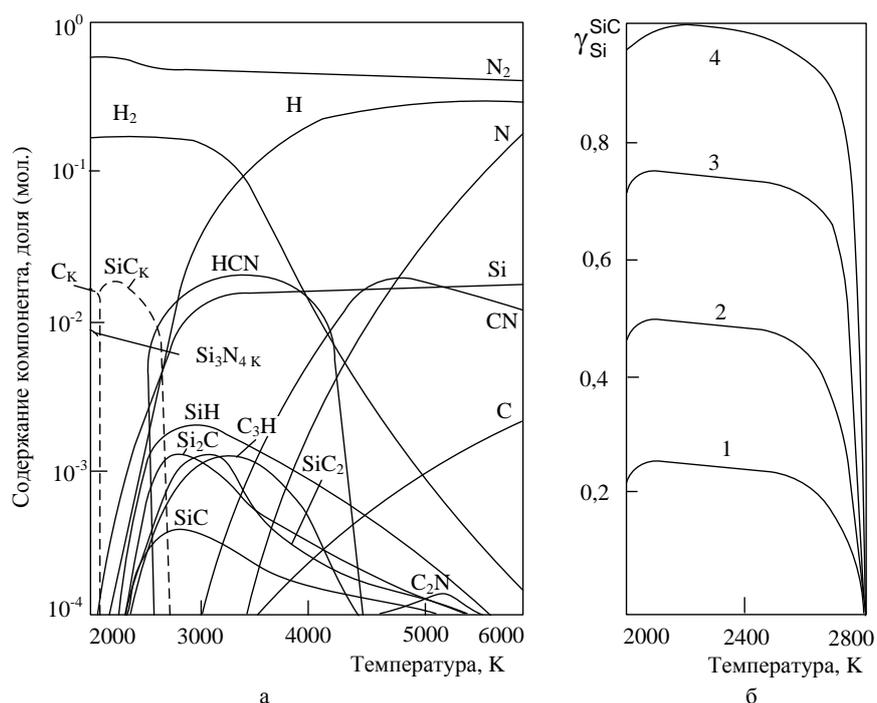
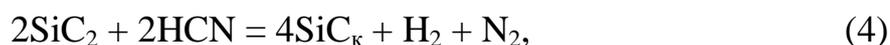
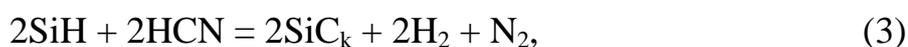
Термодинамический анализ процессов синтеза и модифицирования карбида кремния проведен с целью прогнозирования оптимальных параметров получения карбида кремния (соотношения компонентов и температуры), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в карбид, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы карбидообразования газофазных реакций, обеспечивающих в условиях плазмометаллургических технологий эффективную переработку дисперсного сырья. В связи с использованием в процессах синтеза и модифицирования в качестве кремнийсодержащего сырья – кремния и карбида кремния, углеводородного сырья – метана и плазмообразующего газа – азота объектами исследования являлись системы Si-C-N, Si-C-H-N. Необходимые для анализа равновесные составы газообразных и конденсированных продуктов рассчитывались «константным» методом.

При расчетах рассматривалась область температур 1000 – 6000 К при общем давлении в системе 0,1 МПа. Исходными данными служили константы равновесия реакций образования соединений из элементов. Выбор в исследуемых системах соотношений исходных компонентов определялся стехиомет-

рией реакций образования целевых продуктов и параметрами технологического оборудования. Расчеты выполнялись с использованием программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA», имеющей встроенную базу данных продуктов взаимодействия для оксидо-, боридо-, карбидо- и нитридообразующих систем.

Анализ систем Si-C-N и Si-C-H-N выполнен с учетом возможности существования в газовой фазе компонентов системы C-H-N, Si, Si+, Si2, Si3, SiH, SiH2, SiH3, SiH4, SiN, SiC, SiC2, Si-, Si2C2, Si3C, Si2N, конденсированной – Si, Si3N4, SiC, C. Результаты расчетов представлены на рисунках 1 – 3.

В системе Si-C-H-N образование карбида кремния с участием газообразных компонентов может происходить при температуре 2800 – 3000 К (рисунок 1 а) по следующим реакциям:



а – равновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении (4) Si : C : H : N = 1 : 1 : 4 : 20;

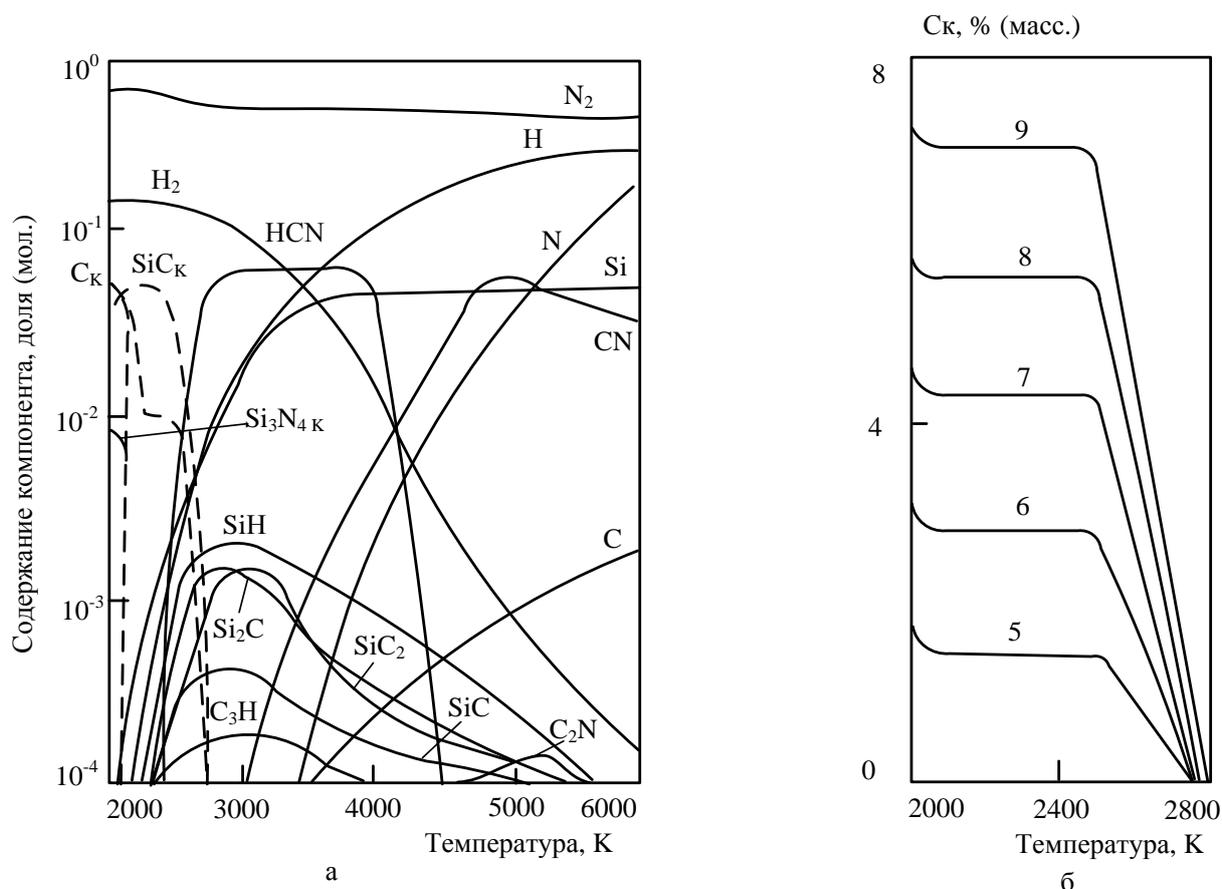
б – зависимость степени превращения Si в SiC от соотношения Si : C = 1 : 0,25 (1); 1 : 0,5 (2); 1 : 0,75 (3); 1 : 1 (4)

Рисунок 1 – Результаты термодинамических расчетов системы Si-C-H-N при соотношении Si : C = 1 : (0,25 ÷ 1)

До 90 % масс.  $\text{SiC}_k$  образуется по реакции (1). 100 %-ное превращение кремния в карбид достигается уже при стехиометрическом соотношении компонентов (рисунок 1 б).

При избытке углерода в системе возможно получение карбид-углеродной композиции заданного состава (рисунок 2). Так, при изменении соотношения  $\text{Si} : \text{C} = 1 : (1,05 \div 1,25)$  содержание углерода в конденсированной фазе изменяется в пределах от 1,5 до 7 % масс.

В системе  $\text{Si-C-N}$  (рисунок 3), отвечающей условиям процесса модифицирования карбида кремния, углерод газифицирован лишь в высокотемпературной области (выше 4000 К) в форме циана  $\text{CN}$ .



а – равновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении (9)  $\text{Si} : \text{C} : \text{H} : \text{N} = 1 : 1,25 : 5 : 20$ ;  
 б – зависимость равновесной концентрации в конденсированной фазе углерода от соотношения  $\text{Si} : \text{C} = 1 : 1,05$  (5);  $1 : 1,10$  (6);  $1 : 1,15$  (7);  $1 : 1,20$  (8);  $1 : 1,25$  (9)

Рисунок 2 – Результаты термодинамических расчетов системы  $\text{Si-C-H-N}$  при соотношении  $\text{Si} : \text{C} = 1 : (1,05 \div 1,25)$

В связи с этим основной вклад в процесс карбидообразования вносит реакция



реализация которой в условиях плазменного потока представляется кинетически маловероятной. Это предопределяет необходимость введения в систему водорода, обеспечивающего газификацию углерода в широком интервале температур и способствующего образованию карбида по газофазной реакции (1) в соответствии с закономерностями высокотемпературных взаимодействий в системе Si-C-N (рисунок 1). Полная газификация углерода достигается при минимальной концентрации водорода в плазмообразующем газе 5,5 % об.

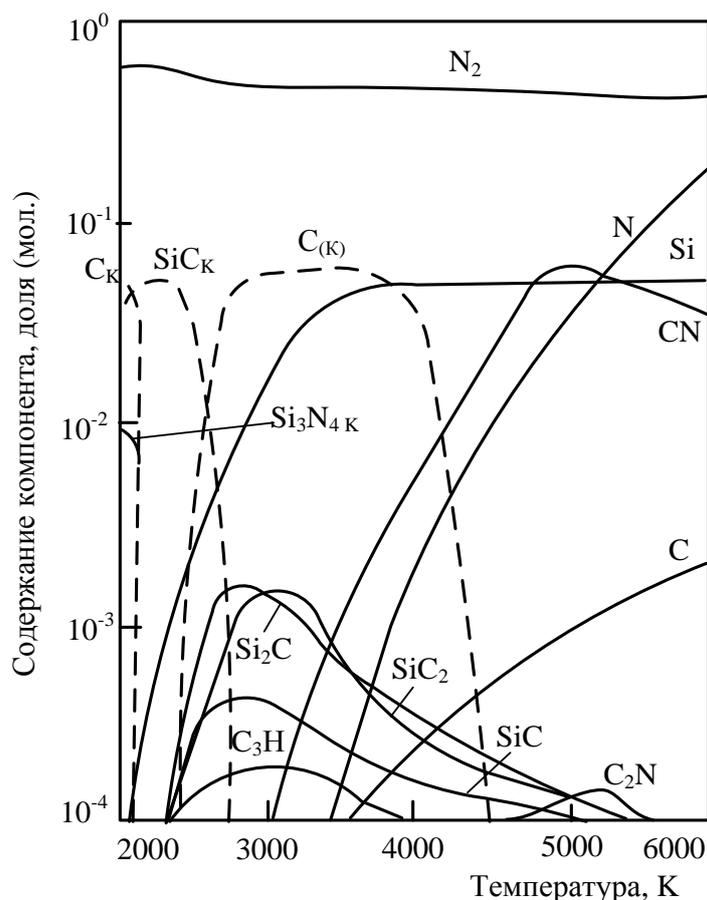


Рисунок 3 – Равновесный состав системы Si-C-N при соотношении компонентов Si : C : N = 1 : 1 : 20

### Заключение

100 %-ный выход карбида кремния достигается в системе Si-C-N при стехиометрическом соотношении компонентов в интервале температур 2800 – 3000 К с образованием по газофазным реакциям, что позволяет ожидать его получение с высоким выходом в реальных условиях плазмосинтеза и плазмообработки.

## ДИНАМИКА МОЩНОСТИ ДОЗЫ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОЙ МАТРИЦЫ ДЯТ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Zr-Al

Пермикин А.А., Юрченко М.Д., Чурсин С.С.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Долматов О.Ю.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: aap71@tpu.ru*

В работе рассмотрено применение метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза при получении интерметаллидной матрицы на основе Zr-Al для дисперсионного ядерного топлива, проведена оценка динамики остаточной активности матрицы после вывода ДЯТ из под облучения.

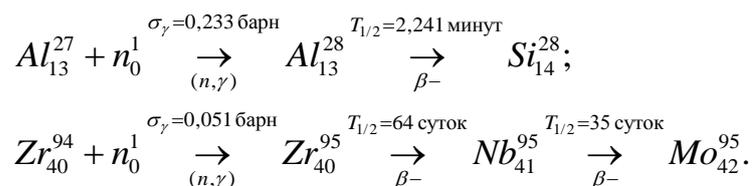
Ключевые слова: СВ-синтез, интерметаллиды, ядерное топливо, ДЯТ, матричный материал.

На сегодняшний день 20% всей электроэнергии России генерируется атомными электростанциями (АЭС). Задача повышения эффективности работы АЭС в первую очередь связана с разработкой новых улучшенных видов ядерного топлива. Одной из наиболее перспективных топливных композиций в данный момент считается дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ).

ДЯТ представляет из себя неактивную матрицу с диспергированными в неё топливными частицами. Высокую эффективность, благодаря своим теплофизическими характеристиками, имеют матрицы основанные на интерметаллидах. Для получения таких соединений предпочтительно использовать метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). СВС – перспективная материаловедческая технология, основанная на способности ряда химических элементов и соединений вступать в экзотермические реакции [1].

В рамках данной работы рассмотрена модель изменения нуклидного состава интерметаллидной матрицы на основе системы Zr-Al, полученной методом СВС, при облучении ДЯТ в активной зоне ядерного реактора.

В расчетах учитывались (n,γ) реакции и β-распады изотопов, в результате чего в задаче рассматривалось порядка 100 цепочек ядерных превращений, таких как [2]:



В качестве исходных порошков использовались: алюминиевая пудра ПАП-2 и порошок циркония ПЦрК-1. Элементный состав шихты приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Элементный состав порошков шихты

ПАП-2	Доля в порошке, %	Доля в шихте, %
Fe	0,5	0,25
Si	0,4	0,2
Cu	0,05	0,025
Mn	0,01	0,005
Al	99,04	49,52
ПЩрК-1	Доля в порошке, %	Доля в шихте, %
Fe	0,05	0,025
H	0,15	0,075
C	0,0005	0,025
Cl	0,003	0,0015
Ca	0,05	0,025
Zr	99,69	49,85

Для расчетов использовался математический пакет Wolfram Mathematica. График зависимости активности матрицы от флюенса нейтронов представлен на рисунке 1.

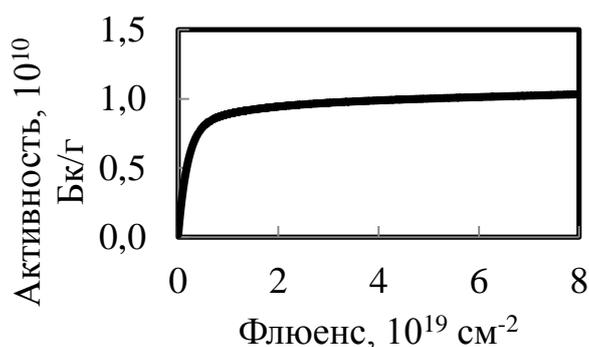


Рисунок 1 – Накопление активности образца в процессе облучения

Анализируя полученные зависимости был сделан вывод, что при достижении флюенса нейтронов порядка  $10^{20} \text{ см}^{-2}$  активность образца выходит на стационарный уровень. Так же анализ показал, что основной вклад в активность вносят два изотопа  $\text{Zr}^{95}$  и  $\text{Nb}^{95}$ . Динамики активности данных изотопов приведены на рисунках 1 и 2.

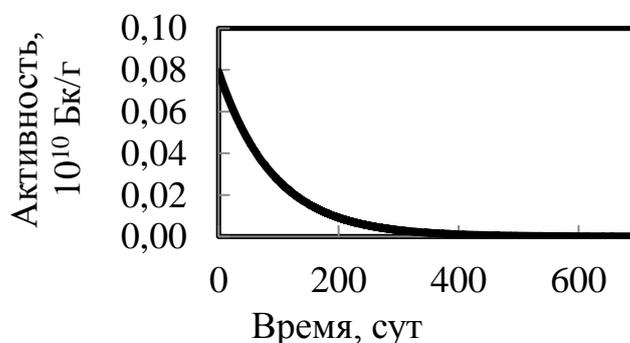


Рисунок 2 – Динамика активности  $\text{Zr}^{95}$  после окончания облучения

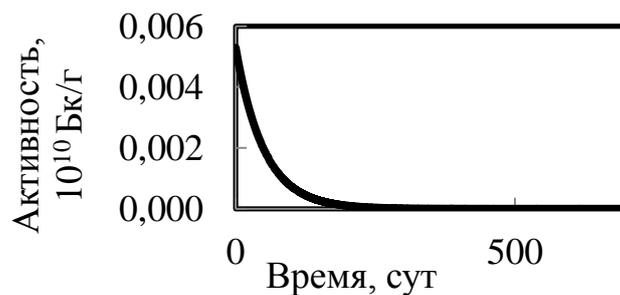


Рисунок 3 – Динамика активности  $\text{Nb}^{95}$  после окончания облучения

Так же в работе осуществлен расчет динамики мощности экспозиционной дозы матрицы. Зависимость мощности экспозиционной дозы от времени представлена на рисунке 4.

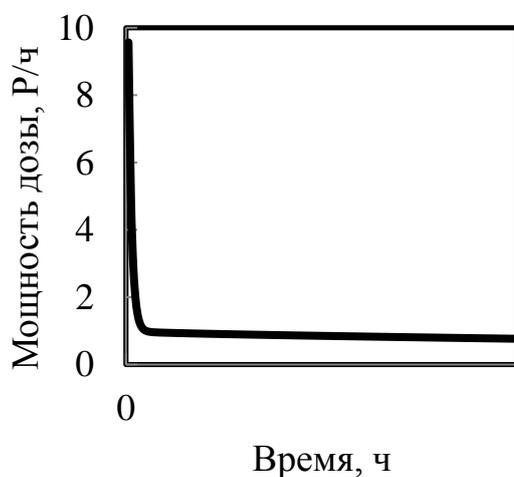


Рисунок 4 – Динамика мощности экспозиционной дозы матрицы

Данная работа позволяет осуществлять прогноз остаточной активности матрицы после её извлечения из зоны облучения, что необходимо для дальнейшего изучения радиационной стойкости интерметаллидных матриц получаемых с использованием метода СВС.

#### Библиографический список

1. Мержанов А. Г. 4 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: о прошлом, настоящем и будущем //Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2006. – №. 5. – С. 5-8.
2. C.L. Dunford et al., ENDF Utility Codes, BNL, NNDC, 2005.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПЛАЗМЕННОГО И СЫРЬЕВОГО ПОТОКА ПРИ СИНТЕЗЕ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ**

**Алексеева Т.И.**

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.,  
д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Проведено моделирование взаимодействия плазменного и сырьевого потока при синтезе карбида циркония. Сформулированы требования к порошкообразным исходным материалам для получения карбида циркония в трехструйном реакторе по крупности.

Ключевые слова: карбид циркония, плазмосинтез, моделирование теплообмена, плазменный и сырьевой потоки, цирконий-углеродсодержащее сырье.

*Цели, задачи, анализ и описание математической модели*

Моделирование теплообмена плазменного и сырьевого потоков проведено с целью прогнозирования условий эффективной «газификации» различных видов порошкообразного – цирконий-углеродсодержащего сырья: термодинамических и теплофизических свойств плазмы и сырья, начальной температуры плазмы, крупности, массовой расходной концентрации и скорости ввода сырья.

Математическая модель взаимодействия плазменного и сырьевого потоков А.Л. Моссэ – И.С. Бутова достаточно хорошо адаптирована к условиям трехструйного прямоточного реактора: учитывает вынужденную турбулизацию плазменного потока, влияние дисперсного сырья и теплоизоляции канала на теплообмен плазма-стенка реактора, изменение коэффициентов теплоотдачи от плазмы к стенке канала и от плазмы к дисперсному сырью по длине реактора. Положительный опыт применения этой модели изложен в работах [1, 2]. В основе модели – решение тепловой задачи нагрева, плавления и испарения частиц порошкообразного сырья при движении его в турбулентном высокоэнтальпийном газовом потоке, истекающем в охлаждаемый канал.

При построении модели приняты следующие допущения: среда является двухскоростной и двухтемпературной, т.е. в каждой точке имеются две скорости (скорость газа и скорость частицы) и две температуры (температура газа и температура частицы); давление создается только газом; гравитационные и электрические силы отсутствуют; частицы являются сферами одного и того же радиуса, не взаимодействуют между собой и стенками реактора, равномерно распределены по его поперечному сечению, занимают пренебрежительно малый объем и имеют температуру, равную их средне-массовой; температура и скорость плазменного потока в поперечном сече-

нии реактора одинаковы и равны среднemasсовым; нагрев и испарение равномерны по объему частицы; начальное сечение реактора  $x = 0$  соответствует точке соударения плазменных струй и сырьевого потока. Поэтому рассматриваемая тепловая задача не имеет точного решения, а результаты моделирования носят прогнозный характер.

Начальные условия решения соответствуют:  $x = 0$ :  $\tau = 0$ . Граничные условия соответствуют следующим: диаметр реактора постоянен  $D = \text{const}$ ; температура плазмы больше температуры частицы  $T_g > T_p$ , температуры плавления и испарения перерабатываемых материалов  $T_{pm}$  и  $T_{pr}$ .

Структурно модель состоит из 3-х блоков: блока (1) задания начальных условий; блока (2) изменения гидродинамических условий, описывающего движение частиц дисперсного сырья и плазменного потока; блока (3) изменения тепловых условий, описывающего теплообмен плазменного потока со стенками канала реактора и дисперсным сырьем.

*Анализ результатов расчета параметров эффективной переработки цирконий-углеродсодержащего сырья в плазменном потоке азота*

Расчеты выполнялись с использованием программы компьютерного моделирования «BIS-80/MSW» в соответствии со следующей блок-схемой (рисунок 1). Необходимые для расчетов данные взяты из [3].

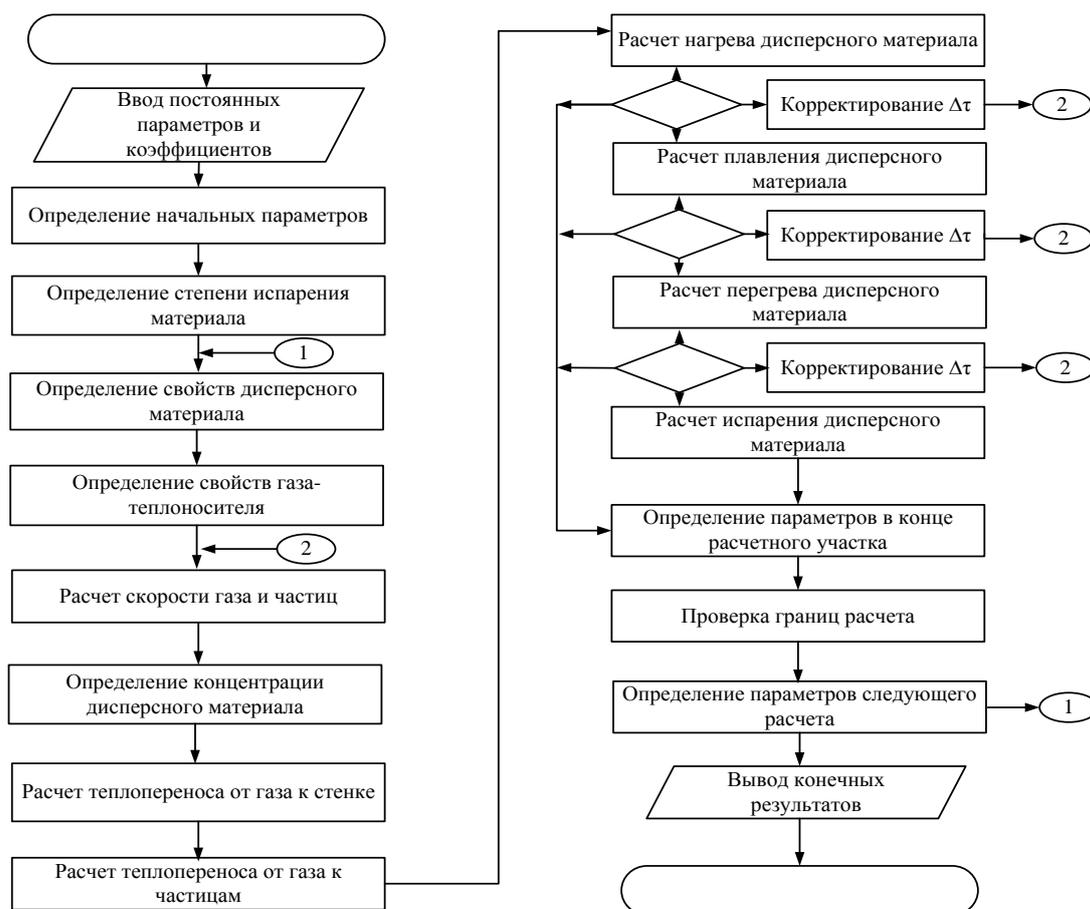


Рисунок 1 – Блок-схема программы расчёта

Анализ результатов расчёта движения и нагрева частиц оксида циркония (IV) показывает, что рабочие параметры реактора обеспечивают полное испарение частиц крупностью до 5 мкм, причём взаимодействие частиц с потоком происходит в условиях сопоставимых скоростей, составляющих для частиц размером 3 мкм 33-60 м/с, а 5 мкм – 27-54 м/с за время соответственно  $15 \cdot 10^{-5}$  -  $18 \cdot 10^{-5}$  и  $54 \cdot 10^{-5}$ - $85 \cdot 10^{-5}$  с (рисунок 2). Максимальная расходная концентрация составляет 0,14 кг/кг для частиц крупностью 3 мкм, а тепловой КПД потока – 0,20. В этих же условиях возможна переработка частиц оксида циркония крупностью 5-7 мкм с приемлемой (0,12–0,14 кг/кг) для технологического процесса расходной концентрацией и значением КПД потока, составляющего для частиц крупностью 5 мкм 0,20.

Проведённое модельно-математическое исследование взаимодействия дисперсного сырья с плазменным потоком азота позволяет сформулировать требования к порошкообразным исходным материалам для получения карбида циркония в трехструйном реакторе по крупности: технологически целесообразно использовать в составе шихт порошки оксида циркония (IV) крупностью менее 5 мкм.

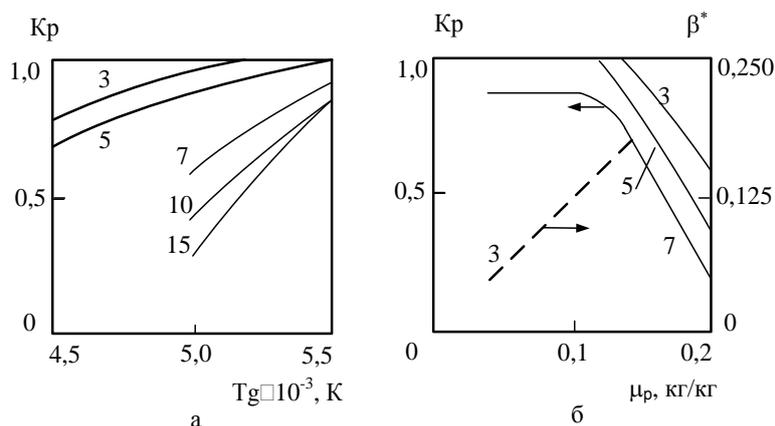


Рисунок 2 – Зависимость степени испарения частиц оксида циркония (IV) и доли энергии, переданной им при нагреве от начальной температуры плазменного потока и массовой расходной концентрации (при  $N=39,05$  кВт,

$$\mu_p = 0,71 \text{ кг/кг}, G_g = 4,64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}, d_p = 3, 5, 7, 10, 15)$$

#### Библиографический список

1. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. /науч. Ред. Г.В. Галевский; дополнительный том. Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии /В.В. Руднева.– М.: Флинта: Наука, 2008. – 387 с.
2. Ноздрин И.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В. Карбид хрома - нанотехнологии, свойства, применение: монография / Саарбрюккен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.–233с.
3. Кржижановский Р.Е., Штерн З.Ю. Теплофизические свойства неметаллических материалов: справочник / Л.: Энергия, 1973. – 333с.

## ПЛАЗМОСИНТЕЗ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ: ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Алексеева Т.И.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Осуществлен выбор порошкообразного сырья и газов – восстановителя и теплоносителя. Проведено исследование технологического варианта, с использованием шихты состава:  $ZrO_2 + CH_4 + N_2$ . Установлена возможность получения карбида циркония в наносостоянии в условиях плазменных азотно – водородного и азотно – углеводородного потоков.

Карбид циркония, плазмосинтез, порошкообразное сырье, технологические газы, плазмохимический реактор.

Среди карбидов тугоплавких металлов высокими эксплуатационными свойствами обладает карбид циркония, что делает его потенциально пригодным для решения многих задач современного материаловедения [1]. Быстро-тепличный синтез в условиях турбулентного химически активного плазменного потока (т.н. плазмосинтез) в непрерывном режиме обеспечивает получение карбида циркония в нанодисперсном состоянии [2].

По результатам моделирования взаимодействия сырьевого и плазменного потоков осуществлен выбор порошкообразного сырья и газов – восстановителя и теплоносителя, характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики порошкообразного сырья и технологических газов.

Порошкообразное сырье и технологические газы	Содержание основного вещества, % не менее
Диоксид циркония ЦрО ГОСТ 21907-76, изм.	99,0
Метан (природный газ)	93,6 (этан-3,0; пропан-2,18; бутан-1,18)
Технический водород ГОСТ 3022 – 80, изм	99,8
Технический азот ГОСТ 9293-84, изм.	99,5 (содержание кислорода не более 0,5)

Процесс синтеза карбида циркония исследовался при помощи трехструйного плазмохимического реактора, созданного совместными усилиями СибГИУ и НИФ «Полимет», включающий также системы электро-, газо-, водоснабжения и вентиляции, контрольно-измерительных приборов и авто-

матики, дозирования шихтовых материалов и улавливания продуктов плазмообработки [3]. Твердые продукты синтеза исследовались методами рентгеновского, химического, масс-спектрометрического, электронно-микроскопического, термогравиметрического анализов и методом БЭТ. Газообразные продукты и продукты термодесорбции исследовались хроматографическим методом. Исследовались технологический вариант, с использованием шихты состава:  $ZrO_2 + CH_4 + N_2$ . При этом оптимизировалось содержание в продуктах синтеза карбида циркония. Получено следующее уравнение, описывающее зависимость содержания карбида циркония от основных технологических факторов:

$$[ZrC] = -109,72 + 0,0371 T_0 + 0,0034 T_3 - 0,0687\{CH_4\},$$

где  $T_0$  – начальная температура плазменного потока (5000 – 5400 К);

$T_3$  – температура закалки (2600 – 2800 К);

$\{CH_4\}$  – количество восстановителя (метана) (100 – 120% от стехиометрически необходимого).

Основные параметры синтеза и характеристики карбида циркония представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры синтеза и характеристики карбида циркония

Параметры синтеза и характеристики карбида циркония	
Состав газа – теплоносителя, % об. азот; водород; природный газ (метан)	74,0; 2-5; 1,0
Крупность цирконийсодержащего сырья, мкм	0,5...5,0
Количество карбидизатора (метана), % от стехиометрического	100 – 130
Начальная температура плазменного потока, К	5000-5400
Температура закалки, К	2300 – 2800
Химический состав, %	
Карбид циркония ZrC	94,12 – 93,61
диоксид циркония ZrO <sub>2</sub>	4,56 – 5,27
углерод свободный C <sub>своб</sub>	1,32 – 1,12
азот N	1,87 – 2,12
Форма частиц	Округлая

Результаты электронно-микроскопического исследования продуктов карбида циркония представлены на рисунке. Можно видеть (рисунок а), что просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) обеспечивает при увеличении 25000 – 30000 только констатацию наноуровня. Метод растровой электронной микроскопии (РЭМ, рисунок б) обеспечивает при увеличении 220000 раз визуализацию отдельных частиц, определение их размеров и формы, а так же выявление соответствующей карбиду примеси пиролитического, несвязанного в карбид, углерода. Карбид циркония получен в виде

ограниченных частиц кубической формы размерного диапазона от 10 до 40 нм. Ограниченная форма частиц карбида циркония свидетельствует об образовании их по механизму «пар-кристалл», предположительно при взаимодействии паров циркония и циана. Синтезированный карбид циркония по наноразмеру и морфологии существенно отличается от его микропорошка, полученного механическим диспергированием.

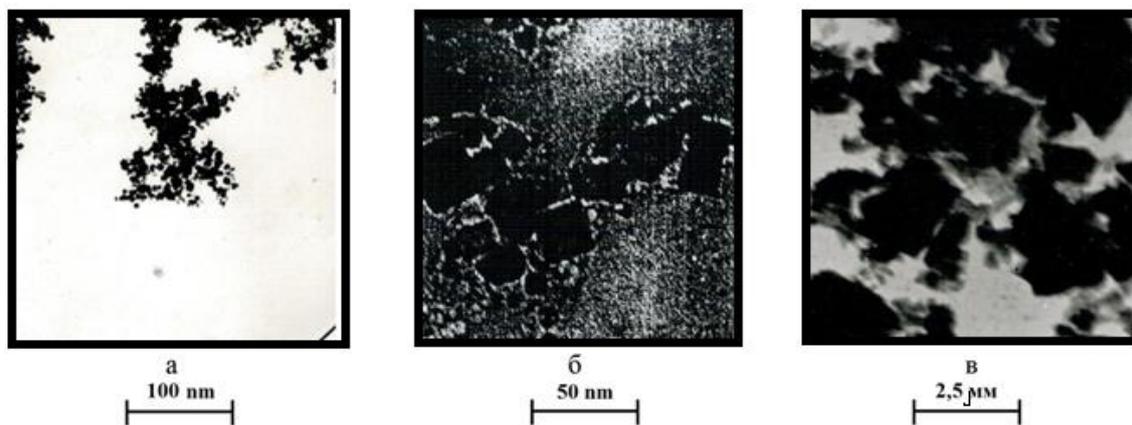


Рисунок – Микрофотографии нано- (а, б) и микроскопического карбида циркония (а – ПЭМ; б – РЭМ; в – ПЭМ)

Установлена возможность получения карбида циркония в наносо­стоянии в условиях плазменных азотно – водородного и азотно – углеводородного потоков. По фазовому и химическому составу, дисперсности карбида циркония предлагаемый способ его получения является конкурентоспособным и может занять лидирующие положения в производстве этого материала для функциональных защитных покрытий.

#### Библиографический список

1. Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, С.Г. Галевский. Технологические решения в производстве карбида циркония: анализ, оценка состояния и перспектив // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2017. Т.23 .№ 1. С. 256–270. DOI: 10.18721/JEST.230126.
2. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. /науч. Ред. Г.В. Галевский; дополнительный том. Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии /В.В. Руднева.– М.: Флинта: Наука, 2008.– 387 с.
3. Ефимова К.А, Галевский Г.В., Руднева В.В., Алексеева Т.И. Реактор для обработки и производства тугоплавких материалов: теплотехнические, ресурсные и технологические характеристики / Minsk International Heat and Mass Transfer Forum MIF-XV. –2016. - pp. 72-76.

## **ПОТРЕБЛЕНИЕ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ: АНАЛИЗ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ**

**Бочарова Г.А., Бурмакина С.А., Коряковцева О.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Каменноугольная смола является уникальным сырьевым источником, покрывающим в настоящее время более 95 % мировой потребности в конденсированных ароматических и гетероциклических соединениях. Перспективы развития в этом направлении трудно переоценить, особенно учитывая, что получение смолы в нашем регионе достаточно распространено в силу наличия угледобывающих и коксохимических производств. В статье проведен анализ основных отраслей потребления каменноугольной смолы, определены доминирующие тенденции и сделаны прогнозы о целесообразности получения каменноугольной смолы в условиях коксохимического производства.

Ключевые слова: каменноугольная смола, кокс, ароматический углеводород, переработка, коксохимическое сырье.

Целью данной работы является изучение основных отраслей потребления каменноугольной смолы. Рассмотрение каменноугольной смолы как физико-химической системы открывает новые возможности для изучения ее свойств и совершенствования технологии ее переработки.

Каменноугольная смола является достаточно уникальным веществом, поскольку является источником получения широкого спектра продукции.

Каменноугольная смола - сырье, выделенное, в свою очередь из другого сырья - угля. Этот продукт можно переработать на шесть основных фракций. В каждой из них содержится внушительное число полезных веществ (основные - бензол, толуол, ксилол, антрацен, нафталин и фенантрен). Эти вещества - стартовые для синтеза разнообразнейших продуктов, в частности красителей, лекарственных препаратов, взрывчатых веществ, ароматизаторов, отдушек, консервантов, синтетических смол, красок и пигментов [1-2].

За последние 15 лет отмечено два серьезных изменения в качестве каменноугольной смолы. Во-первых, снизилось содержание компонентов, нерастворимых в хинолине. Во-вторых, увеличилось содержание в смоле твердых веществ из-за использования более молодых и мелких углей.

Эти изменения вызвали определенные трудности у потребителей продуктов фракционирования каменноугольной смолы, поскольку им требуется пек с высоким содержанием компонентов, не растворимых в хинолине, и низким содержанием несвязанного углерода. В настоящее время реализована широкая программа исследований и разработаны новые методы обеспечения

высоких связующих свойств пеков для производства электродов.

Однако не вся смола доступна для переработки, поскольку некоторые коксовые печи в США и Китае действуют по технологии без улавливания химических продуктов, и смола сжигается непосредственно в процессе производства кокса.

Большое количество каменноугольной смолы используется для различных целей без предварительной дистилляции, в случае использования смолы в качестве топлива предварительная подготовка не требуется.

Зачастую каменноугольная смола используется для покраски древесины, железа, кирпичной кладки для защиты их от коррозионного воздействия. Этот вид покраски, как наиболее дешевый, используется на коксохимических предприятиях. Одним из наиболее распространенных применений для сырой смолы является производство различного рода покрытий. Наибольшее распространение получил этот способ в Германии и США, где большая часть газовой смолы используется для этой цели.

Каменноугольная смола используется для производства сажи. Это осуществляется путем сжигания смолы в печах, соединенных с кирпичными камерами в которых отлагается сажа в больших количествах до того как газы выйдут через дымовую трубу. Большая часть сажи используется без дальнейшей переработки для производства электрического углерода, печатных чернил, обувных кремов, обработка кожи и т.д. Сажа лучшего качества, не содержащая жирных компонентов, получается при прокаливании сажи в смеси с кальцием.

Использование сырой каменноугольной смолы без переработки приводит к прямым потерям ценных продуктов и отрицательно влияет на экологическую обстановку в местах ее применения. По оценкам специалистов, в мире ежегодно подвергается перегонке около 7 млн т каменноугольной смолы. Ряд соединений содержатся в каменноугольной смоле в количестве 1 % и более, то есть ресурсы каждого из этих веществ и возможности его производства значительны [3-4].

Абсолютные количества каждого из этих веществ велики, и потенциально возможно организовать их производство в чистом виде. В крупном промышленном масштабе при переработке каменноугольной смолы получают три группы продуктов:

- чистые и технические ароматические углеводороды - нафталин, индивидуальные крезолы, ксиленолы и их технические смеси, фенолы, основания;
- различные технические масла, смазки и покрытия;
- сырье для производства углеграфитовых материалов - каменноугольный пек и пековый кокс [5].

Важнейшими особенностями полициклических соединений являются их термическая устойчивость и стабильность к окислению, а также токсичность для микроорганизмов. Это позволяет использовать технические смеси на основе продуктов переработки каменноугольной смолы для изготовления различ-

ных защитных покрытий и антисептических масел, защищающих древесину.

Большую ценность представляют индивидуальные крезолы и их смеси, используемые для производства синтетических смол, пластификаторов и антипиренов для полимерных материалов, ядохимикатов для сельского хозяйства, различных стабилизирующих добавок: антиокислителей, ингибиторов полимеризации и др. В настоящее время в небольших количествах выделяют антрацен. Он хорошо растворяется при температуре 50–100 °С в сольвенте, тяжелом бензоле, в легких и тяжелых пиридиновых основаниях. Очищенный антрацен используется в основном для производства антрахинона, который применяют для синтеза особо прочных протравных, кислотных и кубовых красителей для крашения синтетических волокон [6].

Считают перспективной организацию выпуска ряда других индивидуальных веществ, поскольку индивидуальные полициклические ароматические углеводороды и гетероциклические соединения являются уникальным химическим сырьем и представляют большую ценность для народного хозяйства.

Наиболее дорогостоящими являются малотоннажные продукты переработки каменноугольной смолы (пиридиновые основания - около 125 тыс. руб./тонна), пека (углеродные волокна - около 3 млн.руб./тонна) и антрацита (активированный уголь - около 130 тыс. руб./тонна).

В течение последних лет из смолы выделяют чистые вещества: хинальдин, изохинолин, являющиеся исходными компонентами для производства химических продуктов для сельского хозяйства, а также инден, применяемый для получения углеводородных смол. Эти три вещества - хинальдин, изохинолин и инден - получают в настоящее время очень высокой чистоты и используют для синтеза медицинских препаратов.

Запатентовано несколько технологий получения светильного газа из смолы, наиболее значимым из них является процесс Динсмора. К сожалению, этот процесс был раскритикован производителями газа и дальнейшее его развитие не предусматривается.

Спрос на продукты переработки каменноугольной смолы (в частности, на пек, широко используемый в алюминиевой промышленности) не всегда совпадает со спросом на коксующийся уголь и металлургический кокс [7].

Потребность народного хозяйства в целом ряде химических продуктов в настоящее время не может быть удовлетворена без привлечения продуктов переработки каменноугольной смолы. Такое положение сохранится и на длительный период в будущем при следующих условиях:

- 1) качество продуктов переработки смолы будет соответствовать требованиям потребителей;
- 2) технология производства химических продуктов будет рентабельной;
- 3) технология производства будет экологически безопасной.

От выполнения этих условий будет зависеть возможность увеличения объема производства продуктов, ресурсы которых в настоящее время используются не полностью. Отечественная коксохимия по объему перерабатываемой

смола занимает одно из лидирующих мест в Европе, хотя по глубине переработки фракций, ассортименту малотоннажных продуктов, в том числе и реактивов, уступает некоторым зарубежным странам. С одной стороны, это связано с недооценкой роли коксохимии как поставщика ценнейшего ароматического сырья, в ряде случаев не имеющего аналогов в нефтехимии, с другой стороны, - с трудностями организации глубокой переработки фракций смолы в схеме современного коксохимического завода. Немалое значение имеет и тот факт, что не всегда предложенная технология переработки фракций смолы отвечает современным требованиям по показателям качества целевых продуктов, энерго- и материалоемкости, уровню загрязнения окружающей среды.

Одновременно следует отметить тенденцию расширения возможностей по углубленной переработке каменноугольной смолы и открытие новых областей применения получаемых при этом продуктов. Поэтому роль каменноугольной смолы как сырьевого источника будет возрастать.

Также в направлении коксохимии одним из возможных способов загрузки российских коксохимических мощностей, которые сейчас загружены в среднем на 75 %, может быть производство карбида кальция, ориентированное как на его импорт и замещение на отечественном рынке, так и на дальнейшую переработку в высокомаржинальную продукцию - поливинилхлорид, рынок которого также на 48 % зависит от импорта. Указанная цепочка создания добавленной стоимости может быть интересна для проведения детального анализа, как собственникам коксохимических предприятий, так и государственным органам исполнительной власти [8-9].

Таким образом, российская переработка каменноугольной смолы сосредоточена на получении «традиционных» химических продуктов: каменноугольный пек, нафталиновые, антраценовые, фенольные фракции, сырье для технического углерода.

Рынок этих полупродуктов в РФ носит устоявшийся характер: производство привязано к объемам металлургического кокса и по некоторым видам продукции находится в конкуренции с нефтегазовым сектором (например, производство фенолов).

#### Библиографический список

1. Гоголева Т.Я. Химия и технология переработки каменноугольной смолы/ Т.Я. Гоголева, В.И. Шустиков. - М.: Металлургия. 1992. - 256 с.
2. Чистяков А.Н. Химия и технология переработки каменноугольных смол. Учеб.пособие для вузов.- Челябинск.: Металлургия. - 1990.-160с.
3. Павлович О. Н. Состав, свойства и перспективы переработки каменноугольной смолы. Учебное электронное текстовое издание. -Екатеринбург.: УГТУ-УПИ.- 2006.- 41с.
4. Соболева Е.В., Гусева А.Н. Химия горючих ископаемых. Учебник / Е.В. Соболева, А.Н. Гусева. – М.: Издательство Московского университета, 2010. 312 с.
5. Павлович О.Н. Состав, свойства и перспективы переработки камен-

ноугольной смолы. Учебное электронное текстовое издание. - Екатеринбург.: УГТУ-УПИ.- 2006.- 41с.

6. Получение целевых товарных продуктов путем глубокой переработки фракций каменноугольной смолы. В.И. Лозбин, С.В. Мочальников, Г.А. Солодов, А.В. Неведров, А.В. Папин.- Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 2.

7. Исследования рынков [Электронный ресурс]: <https://roif-expert.ru/khimicheskaya-promyshlennost/smoly/rynok-kamennougol-noj-smoly.html> Загл. с экрана.29.03.2018г.

8. Углекислоты. [Электронный ресурс]: научный конспект - Режим доступа:[http://www.uk42.ru/assets/files/PDF/2016/Book\\_Uglechim.pdf](http://www.uk42.ru/assets/files/PDF/2016/Book_Uglechim.pdf) Загл. с экрана.02.04.2018г.

9. Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс]: научный конспект - Режим доступа: [http://www.ngpedia.ru/pg5788285\\_tskCXtR0001334665/](http://www.ngpedia.ru/pg5788285_tskCXtR0001334665/) Загл. с экрана. 01.04.2018 г.

УДК 662.749.3

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ**

**Бочарова Г.А., Бурмакина С.А., Коряковцева О.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)*

Производство каменноугольной смолы связано в первую очередь с процессами коксования углей для нужд металлургии.

К перспективным и приоритетным направлениям нефте и углекислоты относится производство на основе природного органического сырья продуктов топливного и химического назначения. Так, каменноугольную смолу побочный продукт коксохимического производства, можно считать альтернативным источником получения таких ценных товарных продуктов как красители, лаки, удобрения, взрывчатые и фармацевтические вещества, пластические массы, пропитывающие и связывающие пеки, углеродные электродные и графитовые изделия и т.д.

В статье рассмотрен анализ современного состояния производства каменноугольной смолы.

Ключевые слова: коксование, каменноугольная смола, металлургический кокс.

Высокотемпературная каменноугольная смола представляет собой

черную, вязкую, маслянистую жидкость со своеобразным запахом, обусловленным присутствием в ее составе фенолов и нафталина. Ее состав колеблется в довольно широких пределах и зависит от марочного состава угля и технологического режима коксовых печей. Общее число выделенных и достоверно идентифицированных соединений кислого, основного и нейтрального характера составляет более 300. При этом большинство соединений содержится в смоле в количествах менее 1 % [1].

Многокомпонентность состава каменноугольной смолы, образование азеотропных смесей и комплексов превращает ее в своеобразную непрерывную систему, что обеспечивает трудность концентрирования индивидуальных компонентов в отдельных фракциях. Сосредоточить отдельные компоненты в узкие фракции удастся, если ректификации подвергать сырье, освобожденное от фенолов, оснований и тяжелого пекового остатка, что представляет определенные технологические трудности [2].

Каменноугольная смола образуется в основном при пирогенетическом разложении первичной смолы в процессе коксования. Процесс коксования представляет собой нагрев измельченной шихты без доступа воздуха при температуре свыше 900 °С в коксовых печах. При этом происходит выделение паров воды и газов, а потом термическое разложение углей, и они переходят в пластическое состояние, а затем спекаются. Эти процессы сопровождаются сложным комплексом химических реакций. Смола выделяется на протяжении всего периода коксования. На начальной стадии из угольной массы выделяется первичная смола, содержащая преимущественно алифатические соединения. С повышением температуры нагрева начинается образование ароматических углеводородов. С дальнейшим повышением температуры появляются многокольчатые соединения. Например, образование нафталина и антрацена достигает максимума при 1000 °С. Каменноугольная смола является продуктом разложения первичной смолы, т.е. образуется за счет изменения первичной смолы под влиянием высоких температур. Основная масса первичных продуктов (90-95 %) поднимается вверх между стенкой печи и пластическим слоем в подсводовое пространство, где смешивается с газами, выделяющимися из разных слоев загрузки. При этом температура первичных продуктов возрастает, в результате чего происходит первая стадия их разложения и превращение в высокотемпературную смолу, бензол и др. В зависимости от длительности контакта продуктов с нагретыми стенками печи, сводом печи и верхней частью коксового пирога могут протекать и более глубокие процессы разложения, в результате чего возможно резкое изменение количества и свойств продуктов коксования, в частности каменноугольной смолы. Выделение каменноугольной смолы из коксового газа происходит в несколько стадий. Первая при охлаждении коксового газа в газосборнике над смольной водой с 750 до 80 °С. Вторая при охлаждении коксового газа в первичных газовых холодильниках. Каменноугольная смола выпускается в цехах улавливания коксохимических предприятий. Выделенная смола смешивается и

направляется на дальнейшую переработку [5].

Состав, выход и свойства каменноугольной смолы зависят от состава угольной шихты, конструкции печей и условий коксования (прежде всего от температуры подсводового пространства и времени пребывания в печи летучих продуктов [3].

Выход и качество каменноугольной смолы определяется содержанием летучих компонентов в шихте (чем выше содержание этих компонентов, тем лучше в дальнейшем и пек). Поэтому содержание в шихте марок Г, ГЖО, ГЖ («газовые» угли) должно быть максимально возможным, хотя с точки зрения получения металлургического кокса первые две марки относятся к слабо-коксуемым и ограниченно пригодным. Таким образом, необходимость максимального выхода пека не всегда коррелируется с выпуском качественного металлургического кокса. Были внедрены большегрузные печи и увеличена температура коксования. При этом качественная характеристика каменноугольной смолы также существенно изменилась. Повысилась ее плотность, возросло содержание веществ, нерастворимых в толуоле и хинолине, увеличился выход пека. На улучшение качества смолы повлиял и ряд технических решений при коксовании шихты: уменьшение объема подсводового пространства в камере коксования и снижение содержания пылевых фракций в угольной шихте. Однако в середине 90-х годов качество каменноугольной смолы, получаемой на предприятиях бывшего СССР, несколько ухудшилось. Это связано с нарушениями поставок коксуемого угля и нестабильным качеством перерабатываемой угольной шихты. На коксохимических предприятиях СНГ выход каменноугольной смолы от металлургического кокса колеблется в пределах 4,0-4,9 % [4]. Во многом объем выпуска каменноугольной смолы зависит от количества металлургического кокса, потребляемого при производстве чугуна. Доменный процесс, несмотря на развитие альтернативных технологий (например, метод прямого восстановления железа), сохранит свое значение надолго достаточно длительную перспективу. Одновременно расход кокса при выплавке чугуна снижается за счет использования пылеугольного топлива. Тем не менее, увеличение выпуска чугуна способствует сохранению спроса на металлургический кокс % [5].

Более важным, чем любое из применений сырой смолы является промышленное разделение смолы на более чистые компоненты фракционной перегонкой, после которой обычно следует процесс рафинации. На сегодняшний день как производство угольного газа, так и дистилляция смолы наиболее развиты в стране, где и получили свое начало – в Великобритании. Первые разработки в этом направлении были сделаны в 1822 г. Ф.К. Акумом и в 1822 г. докторами Лонгстафом и Далсоном. До конца не известно, кто первый определил, что в легких погонах каменноугольной смолы содержится бензол. Впервые он был выделен из газа Фарадеем не ранее 1925 г. О присутствии бензола в каменноугольной смоле стало известно после независимого открытия А.В. Хофмана, опубликованного в 1945 г. И, несомненно, в

Лондонской лаборатории Хофман разработал метод фракционной дистилляции и выделил отдельные углеводороды. Этот метод лег в основу промышленного применения и осуществил переворот в промышленной переработке каменноугольной смолы [6]. Использование легкой фракции каменноугольной смолы, как и в настоящее время, началось после того, как сер Перкин в 1956 г. открыл первые анилиновые красители, для производства которых требовался бензол и его гомологи. Вскоре после этого начали выделять карболовую кислоту из более тяжелых фракций. Что касается нафталина, а также углеводородов, то их потребление было гораздо меньше, чем могло бы быть получено из каменноугольной смолы, до тех пор, пока производство синтетического индиго не открыло широкое пространство для его использования. Последнее из великих открытий в этом направлении было производство ализарина из антрацена, сделанное Грабом и Либерманом в 1968 г [6].

В настоящее время степень развития отрасли дистилляции каменноугольной смолы можно грубо оценить по объемам производства каменноугольной смолы в разных странах. Считается, что на первом месте Великобритания, которая производит около 700000 тонн смолы в год, большая часть которой подвергается дистилляции, в то время, как Германия и США производят гораздо меньше смолы и основная ее часть используется для производства кровельных покрытий и в других целях.

В России ежегодный объем производства смолы составляет около 1 млн. тонн (1,17 млн. тонн в 2013 г.).

По оценкам аналитиков, лишь около 50 % выпускаемой каменноугольной смолы в мире подвергается дальнейшей перегонке с получением товарной продукции. На данный момент 60 % от всей перерабатываемой каменноугольной смолы российского происхождения направляется на дальнейшую переработку в рамках собственного коксохимического производства, по итогам которой российские предприятия реализуют:

- пековый кокс - 72 тыс. тонн;
- сырье для технического углерода - 219 тыс. тонн;
- нафталин - 30,4 тыс. тонн.

15–20 % ежегодного производства каменноугольной смолы составляют поставки на внутренний рынок для производства технического углерода, коксового пека, нафталина, фенола.

Можно сказать, что для смоло - перерабатывающих предприятий каменноугольная смола тем ценнее, чем меньше материалов не угольной природы было использовано для получения коксового газа. Эти материалы: сланцы, битуминозный лигнит и т.д. насыщают смолу в большей или меньшей степени природными углеводородами, что затрудняет или делает невозможным выделение бензольных углеводородов.

Кузбасс - один из крупнейших по запасам угля и объемам его добычи бассейнов России и главный, а по некоторым позициям единственный, в стране поставщик технологического сырья для российской промышленно-

сти. Кузнецкий угольный бассейн официально признан крупнейшим угольным месторождением в мире [7].

В нашем регионе одно из крупнейших коксохимических предприятий не только в России, но и в мировой коксохимии является КХП АО «ЕВРАЗ объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». Это масштабный и сложный конгломерат подразделений, связанных в единый замкнутый производственный цикл, в одну технологическую цепочку.

Расширение масштабов *производства каменноугольной смолы* сопровождается на металлурго-химических предприятиях быстрой рационализацией всей сферы ее переработки [8].

Одна из крупнейших в мире установок по переработке смолы действует на заводе фирмы Rutgers VFT в Германии в городе Кастроп-Раукселе. Производительность этой установки около 500 тыс. т смолы в год. В схеме используют более тонкое фракционирование, которое позволяет получить 7 фракций с очень узкими температурными пределами кипения и высоким содержанием основного компонента, которые пригодны для получения чистых химических продуктов. В качестве некипящего остатка отделяется пек.

Следует подчеркнуть, что ни одно из реализованных в мировой практике ректификации смолы технических решений не позволяет одновременно улучшить качество и повысить выработку и фракций и пека, снизить энергетические затраты, упростить и удешевить переработку смолы, хотя каждому из них свойственны свои преимущества [9].

Спрос на коксохимическое сырье будет расти вслед за положительной динамикой российского рынка технического углерода, обладающего высоким экспортным потенциалом. А так - же уровень цен на мировом рынке за последние 5 лет, совокупный объем выручки российских предприятий от продажи только тех химических соединений, для производства которых каменноугольная смола является единственно возможным сырьем, может составить более 500 млрд. рублей в год.

Каменноугольная смола является высококачественным сырьем для производства ценных индивидуальных химических соединений, применяемых в качестве компонентов и реактивов в химической промышленности, фармацевтике, органическом синтезе.

Рынок каменноугольных смол в России по итогам года продемонстрировал стабильные темпы роста потребления со стороны основных потребляющих сегментов, при этом за счет существенной базы 2016 года, по итогам 2017 года темп прироста зафиксирован на уровне 4 % против 9 % годом ранее. В целом, в рамках 5-ти летнего периода 2013-2017 годов рынок каменноугольных смол в России показывает стабильную тенденцию увеличения объемности потребления каменноугольной смолы.

Основными предпосылками увеличения внутреннего потребления каменноугольных смол на рынке России является рост спроса со стороны потребителей в рамках последних 2016-2017 годах, при этом роста спроса на

каменноугольную смолу внутри России происходит на фоне снижения экспортных отгрузок каменноугольных смол на рынки зарубежных стран.

Тенденция снижения экспорта каменноугольных смол с рынка России наблюдается в рамках 2014-2017 годов, при этом максимальные показатели сокращения экспорта каменноугольных смол наблюдались в рамках 2016 года - 37% в сравнении с 2015 годом по физическим единицам. По итогам 2017 года значение темпов сокращения экспорта каменноугольных смол с рынка России было зафиксировано на уровне в – 12 %. Основной причиной столь существенного сокращения поставок каменноугольных смол российского производства в рамках 2016-2017 годов обусловлено более чем пятикратным падением закупок со стороны бельгийских потребителей [10].

#### Библиографический список

1. Чистяков А. Н. Химия и технология переработки каменноугольных смол. Учеб. пособие для вузов.- Челябинск.: Металлургия. — 1990. -160с.
2. Гоголева Т. Я. Химия и технология переработки каменноугольной смолы/ Т. Я. Гоголева, В. И. Шустиков. - М.: Металлургия. 1992. — 256 с/
3. Получение целевых товарных продуктов путем глубокой переработки фракций каменноугольной смолы. В.И. Лозбин, С.В. Мочальников, Г.А. Солодов, А.В. Неведров, А.В. Папин.- Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 2.
4. Исследования рынков [Электронный ресурс] научный конспект - Режим доступа: <http://gugn.ru/work/450627/Pererabotka-kamennougolnoj-smoly-poluchchennoj> Загл. с экрана 27.03.2018г
5. Обзор рынка каменноугольной смолы. [Электронный ресурс]: научный конспект - Режим доступа: [http://www.infomine.ru/files/catalog/185/file\\_185.pdf](http://www.infomine.ru/files/catalog/185/file_185.pdf) Загл. с экрана 29.03.2018г
6. Исследования рынков [Электронный ресурс]: <http://masters.donntu.org/2006/feht/skopin/library/stat.htm> Загл. с экрана. 01.04.2018г.
7. Углехимия. [Электронный ресурс]: научный конспект - Режим доступа: [http://www.uk42.ru/assets/files/PDF/2016/Book\\_Uglechim.pdf](http://www.uk42.ru/assets/files/PDF/2016/Book_Uglechim.pdf) Загл. с экрана. 04.04.2018г.
8. Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс]: научный конспект - Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/pg5788285tsk CXtP0001334665/> Загл. с экрана. 05.04.2018г.
9. Павлович О.Н. Состав, свойства и перспективы переработки каменноугольной смолы. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург.: УГТУ-УПИ.- 2006.- 41с.
10. Исследования рынков [Электронный ресурс]: <https://roif-expert.ru/khimicheskaya-promyshlennost/smoly/rynok-kamennougol-noj-smoly.html> Загл. с экрана. 30.03.2018г.
11. Исследования рынков [Электронный ресурс]: <http://www.chemmarket.info/ru/> Загл. с экрана. 04.04.2018 г.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА МОЛИБДЕНА

**Воробьева И.Г.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

### *Актуальность*

В связи с растущим потреблением молибдена в различных отраслях промышленности, а также с повышением требований к химической чистоте и дисперсности целевого продукта, существует необходимость определения наиболее перспективного метода получения нанодисперсного порошка молибдена, при котором рационально сочетались бы эффективные технологические, химические и металлургические операции.

В данной работе рассмотрены основные технологии получения нанодисперсного порошка молибдена. Сравнительным анализом установлено, что наиболее эффективными методами являются плазмохимический и метод электронно-лучевой технологии.

Ключевые слова: молибден, нанодисперсный порошок, реактор, плазма.

Молибден в природе не встречается в свободном состоянии и относится к категории редких металлов, мало распространенных в земной коре. Удачное сочетание его ценных физико-химических и механических свойств, таких как тугоплавкость, высокая жаропрочность, низкий коэффициент термического расширения, коррозионная стойкость, упругость, позволяет использовать этот металл в качестве одного из основных компонентов для производства конструкционных материалов в промышленности. А применение его в нанодисперсном состоянии особенно эффективно для интенсификации технологических процессов [1].

Методы получения металлического порошка молибдена и его сплавов весьма разнообразны. Однако, широкое использование молибдена для решения важнейших фундаментальных и прикладных задач в наиболее наукоемких и инновационных областях российской экономики, постоянное повышение требований к физико-механическим и эксплуатационным свойствам целевого продукта и наличие недостатков существующих технологий, стимулирует исследование и разработку новых методов получения металлического молибдена [2].

Новые технологии должны обеспечивать, в первую очередь, высокое качество продукта, определяемое однородностью химического и фазового составов, отсутствием вредных примесей, низкой энергоёмкостью, простотой процесса и аппаратурного оформления, доступностью и низкой стоимо-

стью исходных веществ (минеральных концентратов).

Основные методы получения НДП молибдена представлены на рисунке 1.

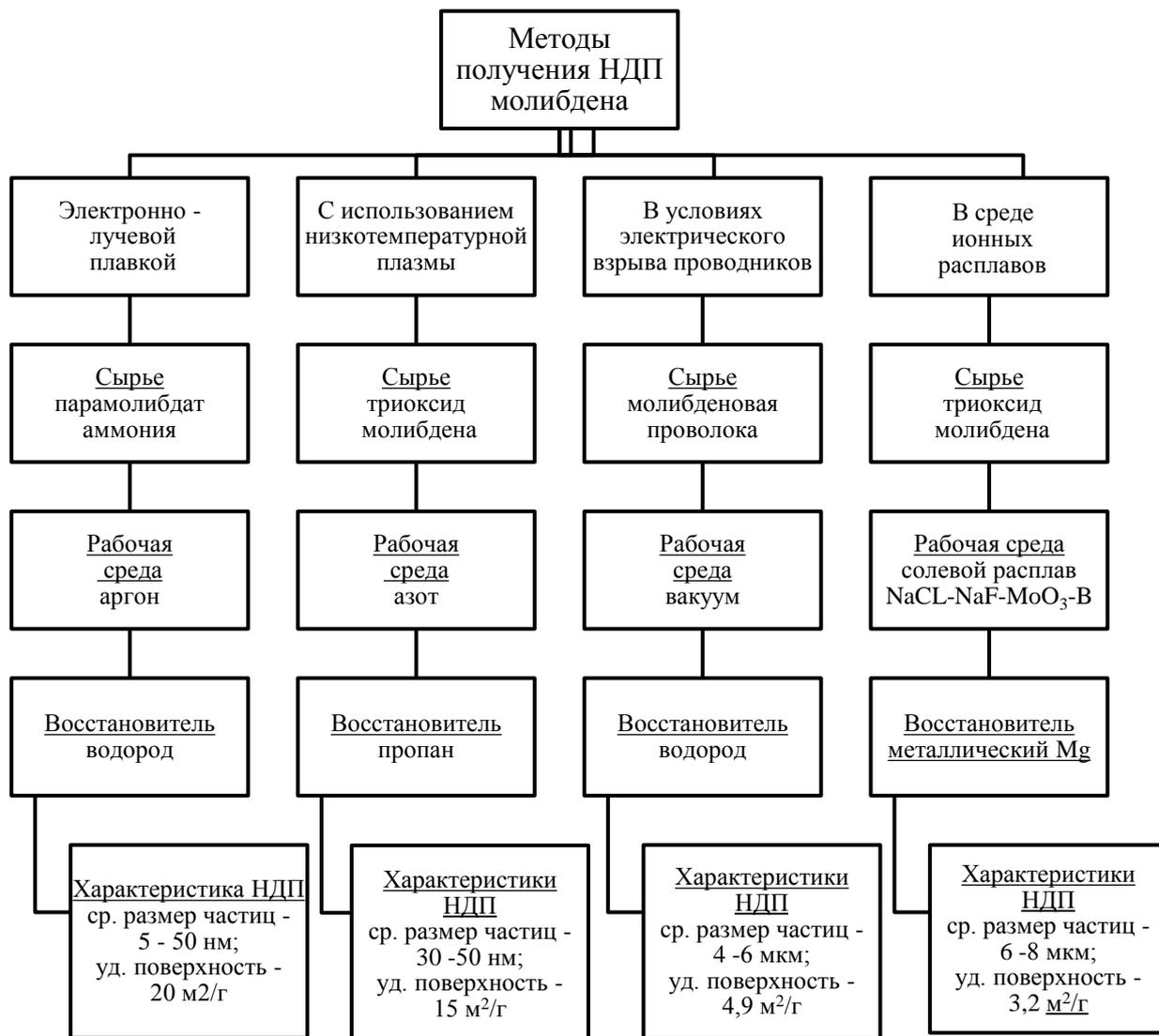


Рисунок 1 - Основные методы получения НДП молибдена

Технологии, описанные в работах [3-10] позволяют получить нанодисперсный порошок молибдена. Однако, физико- химические свойства целевого продукта напрямую зависит от способа производства. Рассмотрим основные методы получения, отличающиеся между собой исходным сырьем, рабочей средой и восстановителем.

*Метод химического восстановления водородом*

Наибольшее распространение в отечественной практике получил метод химического восстановления чистого триоксида молибдена водородом в многотрубных печах с непрерывным или периодическим передвижением лодочек с восстанавливаемым материалом вдоль трубы или в трубчатых вращающихся печах непрерывного действия.

Процесс ведут в одну или две стадии при температуре 700-1200 °С.

При одностадийном процессе получают грубозернистые порошки вследствие того, что водород, содержащий пары воды, в этом случае находится в длительном контакте с восстанавливаемыми оксидами молибдена. Это благоприятствует росту зерен [3].

#### *Метод переработки рудных концентратов в среде ионных расплавов*

Новым направлением на пути создания рациональной технологии получения металлических порошков, отвечающей требованиям современных технологий, является исследование процессов прямой переработки рудных концентратов молибдена в среде ионных расплавов и получение целевых продуктов на стадии металлургического передела. Этот способ обеспечивает получение тонкодисперсного металлического порошка [4].

Процесс получения молибдена состоит из двух ступеней: высокотемпературного растворения исходных оксидов в расплавах солей щелочных металлов и восстановления полученного карбида молибдена путём введения металлического магния в солевые расплавы. Процесс ведется при температуре 1170 - 1270 К, а содержание примесей в целевых продуктах не превышает 2 - 3 % мас [5].

#### *Метод получения в условиях электрического взрыва проводников*

Другим шагом на пути создания новых технологий получения высокодисперсных порошков молибдена стала разработка метода его получения в условиях электрического взрыва проводников.

В вакууме или в инертном газе между двумя электродами создается высокое напряжение и подается проволока. При прохождении огромного тока проволока взрывается и формирует нанопорошок.

Для получения нанопорошков взрывали молибденовые проводники диаметром 0,3 и 0,2 мм, длиной 0,07 и 0,06 м. Содержание примесей металлов в молибденовом проводнике составляло ~0,4 мас. % [6].

При исследовании метода установлено, что при электрическом взрыве молибденовых проводников в газах и образовании сферических частиц дисперсность нанопорошков увеличивается с ростом энергии дугового разряда, а при применении азота во взрывной камере площадь удельной поверхности нанопорошка молибдена максимальна и составляет 4,9 м<sup>2</sup>/г. Это объясняется тем, что на поверхности частиц при взрыве проводника в среде азота образуются тугоплавкие нитриды, препятствующие укрупнению наночастиц [7].

#### *Метод получения с использованием низкотемпературной плазмы*

К настоящему времени хорошо освоен способ получения молибдена с использованием низкотемпературной плазмы.

Данный способ даёт возможность получать порошок молибдена в виде частиц шаровидной формы, размером 30-50 нм, с высокой дефектностью кристаллической решетки и, как следствие, высокой активностью, а удельная поверхность получаемого материала составляет 15 м<sup>2</sup>/г.

В тоже время специфика получения наночастиц с использованием плазмы, позволяет создавать сложноструктурированные нанообъекты. В

частности, именно плазменные технологии позволяют получать сложные объекты типа фуллеренов.

Технологическая сущность производства состоит в следующем: триоксид молибдена и углеводород вводят в предварительно нагретый до 4273 - 5273 К инертный газ (азот). Процесс восстановления проводят при температуре 2073 - 2773 К. В качестве газа восстановителя используют пропан.

Порошки молибдена, полученные этим способом не пирофорны, что объясняется значительной пассивирующей способностью сорбированного оксида углерода. Так же исключена возможность загрязнения целевого порошка продуктами эрозии электродов [8].

#### *Метод получения электронно-лучевой плавкой*

В настоящее время также существуют разработки получения высокочистого молибдена методом электронно - лучевой технологии.

Отличительными чертами термических электронно-лучевых процессов являются достижение высоких температур в малых по размеру областях, отсутствие загрязнения, возможность быстрого перемещения луча [9].

В качестве исходного сырья используют парамолибдат аммония. Первичную очистку от примесей проводят ионным обменом. В результате термического разложения парамолибдата при 600 - 800°C получают оксид молибдена, который очищают зонной сублимацией в кислороде и затем восстанавливают водородом до порошка молибдена. После заключительного электронного вакуумного переплава монокристаллов в плоском кристаллизаторе получают мишени, магнетронное распыление которых обеспечивает высокие электрофизические параметры тонкопленочной металлизации.

Реализация этого метода гарантирует получения как монокристаллов высокочистого молибдена заданной кристаллографии и чистоты, так и распыляемых магнетронных мишеней для тонкопленочной металлизации микросхем [10].

#### *Выводы*

Сопоставление технологических возможностей различных методов показывает, что самый высокий уровень дисперсности и химической чистоты целевого продукта достигается при формировании частиц из парогазовой смеси, в процессах электронно-лучевого, лазерного и плазмохимического восстановления, которые характеризуются относительной простотой аппаратного оформления и высокой производительностью.

#### Библиографический список

1. Азаренков Н.А. Наноструктурные покрытия и наноматериалы [Текст] / Н.А. Азаренков, В.М. Береснев, А.Д. Погребняк.-М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.-368с.
2. Методы получения наноматериалов [Электронный ресурс]:URL:[http://studbooks.net/1422598/tovarovedenie/metody\\_polucheniya\\_nanomaterialov](http://studbooks.net/1422598/tovarovedenie/metody_polucheniya_nanomaterialov)- Загл. с экрана.-Дата обращения: 01.04.18
3. Лыкасов А.А. Металлургия вольфрама и молибдена: уч. пособие/А.А.

Лысаков, Г.М. Рысс, В.М. Жихарев. - Челябинск: ЮУрГУ, 2007. - 80 с.

4. Гостищев В. В. Магнетермический синтез дисперсного порошка карбида молибдена в расплаве карбоната натрия / В.В. Гостищев // Теоретические основы химической технологии.- 2007.- т. 8. № 3.- с. 126 - 128.

5. Клименко Г.Л. Применение метода ионного обмена в технологии получения вольфрама и молибдена высокой чистоты / Г.Л. Клименко, А.А. Блохин [и др.] // Изв. АН СССР. Металлы.- 2001.- № 3.- с. 49.

6. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение / О.Б. Назаренко. - Томск: Изд-во Том. университета, 2005. - 148 с.

7. Тихонов Д.В. Электровзрывное получение ультрадисперсных порошков сложного состава: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.12: Д.В. Тихонов.- Томск, 2000. – 171 с.

8. Ширяева Л.С. Особенности производства нанодисперсного порошка молибдена в плазмометаллургическом реакторе промышленного уровня мощности / Л.С. Ширяева, В.В. Руднева, Г.В. Галевский // Вестник Магнитогорского ГТУ им. Г.И. Носова.-2017.- т.15. №4.-с.62-65

9. Котов Ю.А. Исследование характеристик оксидных нанопорошков, получаемых при испарении мишени импульсно- периодическим СО<sub>2</sub> лазером / Ю.А. Котов, В.В. Осипов, М.Г. Иванов [и др.] // Журнал технической физики.-2002.- т. 72. № 11.- с. 76–82.

10. Глебовский В.Г. Исследование процессов получения высокочистого вольфрама / В.Г. Глебовский, Е.Д. Штинов, Н.С. Сидоров, Г.П. Ковтун // Перспективные материалы.- 2008.- № 6, с. 38.

УДК 661.655

## **ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКА ВОЛЬФРАМА: ОЦЕНКА, ТЕНДЕНЦИИ И ПРОГНОЗЫ**

**Пронькина О.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Вольфрам, благодаря своим уникальным свойствам (повышенная дисперсность, развитая удельная поверхность и др.), применяется для изготовления высокопроизводительных твердых сплавов. Как самый тугоплавкий металл вольфрам входит в состав ряда жаропрочных сплавов [1].

Ключевые слова: порошковая металлургия, вольфрам, плазменный синтез, реактор.

Целью настоящей работы является анализ современного состояния

производства и применения порошка вольфрама.

Наиболее распространенным методом производства вольфрама в промышленной практике является восстановление триоксида вольфрама водородом. Получаемый в результате восстановления порошкообразный вольфрам используют для производства компактного металла, получения карбида вольфрама и ряда сплавов.

Восстановление триоксидов водородом проводят в стационарных многотрубных электрических печах с периодической продвижкой лодочек с восстанавливаемым материалом вдоль труб из жаростойкой стали. Для получения тонкодисперсного порошка предпочтение отдается двухстадийной системе восстановления [2].

Также существуют и другие промышленные методы получения вольфрама: термическая диссоциация или восстановление галогенидов вольфрама; электролиз расплавленных сред; восстановление триоксида вольфрама [3].

Порошок вольфрама традиционной гранулометрии, полученный промышленными способами производства, широко применяется для улучшения свойств стали и упрочнения металлических изделий.

Вольфрам является основой твердых сплавов и многих жаропрочных сплавов, входит в состав износостойчивых сплавов и инструментальных сталей. Вольфрам повышает механические свойства стали. Также его применяют для легирования сталей.

Разработка новых металлических материалов с высокими физическими свойствами, по существу, исчерпала все возможности существовавших до сих пор классических металлургических процессов. Настоящие и будущие требования относительно повышения прочности, коррозионной стойкости, магнитных и электрических свойств и других физических параметров могут быть выполнены путем применения новых нетрадиционных способов производства чистых металлов и сплавов. К таким способам относится плазмометаллургическое получение нанодисперсных порошков. Получаемый традиционным способом порошок вольфрама не соответствует современным требованиям по дисперсности, поэтому в настоящее время существует устойчивый спрос на НДП (нанодисперсный порошок) вольфрама, особенно на территории России, что обусловлено отсутствием его производителей [4]. Поэтому становится актуальной задача получения вольфрама в наносостоянии.

В работах [5, 6] описана технология, которая позволяет получать нанодисперсные порошки тугоплавких металлов и соединений. Для генерации плазменного потока используются три электродуговых плазмотрона ЭДП-104А, в качестве плазмообразующего газа используется азот [7]. Технологическая сущность заключается в следующем: триоксид вольфрама и углеводород вводят в предварительно нагретый до 4273 – 5273К инертный газ (азот), процесс восстановления ведут при 2073 – 2773К с последующим

охлаждением продукта со скоростью  $10^4 - 10^5$  К/с. м. Данный способ даёт возможность получать НДП вольфрама с размером частиц 30 – 50 н.

Твердые сплавы на основе карбида вольфрама обладают высокой твердостью, износостойкостью и тугоплавкостью.

В работе [2] приведены марки порошков металлического вольфрама, получаемых различными способами:

- Высокоактивный ПВВ: средний размер частиц 0,8-1,7 мкм, применяется как компактный материал твердых сплавов и другие цели.

- Технический улучшенного качества, ПВТ-У: средний размер частиц 5,5-7,0 мкм; применяется в специальных деталях.

- Порошок вольфрама для плазменного напыления (грубозернистый): средний размер частиц - 45 - 100 мкм; применяется для плазменного напыления.

Особенные свойства получаемых методами плазменного восстановления и синтеза порошков металлов и соединений дают основание прогнозировать их применение:

- в порошковой металлургии для улучшения качества изделий, ранее получаемых на основе крупных металлических порошков, например, трудно-спекаемых; интенсификации процессов спекания и соединения разнородных материалов; получения материалов с особыми свойствами, например, постоянных магнитов с высокой коэрцитивной силой; использование порошков для дисперсионного упрочнения металлов и сплавов; применение порошков для создания высококачественных покрытий поверхностей изделий;

- в области основного химического синтеза неорганических и металло-органических соединений, где следует ожидать: воздействия на кинетику и термодинамику химических реакций - упрощении технологии синтеза и осуществлении ранее не возможных прямых синтезов;

- в радиоэлектронике для получения магнитодиэлектриков и искусственных диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью, ферритов из высокодисперсных металлов, материалов с особыми полупроводниковыми свойствами. При применении нанодисперсных порошков возможно получение высокоплотных изделий без предварительного фракционирования частиц и при существенно меньшей плотности первичного брикета. Наряду с другими достоинствами нанодисперсные порошки должны иметь минимальное число объемных дефектов, что создает возможность получения материалов с плотностью, близкой к расчетной. Применение нанодисперсных порошков должно обеспечивать получение компактных металлов при температурах спекания существенно более низких, чем при использовании порошков стандартной гранулометрии.

Одним из наиболее характерных свойств НДП вольфрама является повышенная химическая активность, наиболее часто проявляющаяся в активной окисляемости порошков, которая при неприятии специальных мер при-

водит к самовозгоранию.

Порошки вольфрама, полученные плазмометаллургическим восстановлением его триоксида углеводородами в азотной плазме не пирофорны, что объясняется значительной пассивирующей способностью сорбированного оксида углерода.

Сопоставление технологических возможностей различных методов показывает, что самый высокий уровень дисперсности достигается при формировании частиц из парогазовой смеси, в процессах электронно-лучевого, лазерного и плазмометаллургического восстановления, который характеризуется относительной простотой аппаратного оформления и высокой производительностью.

Эксплуатационные характеристики твердых сплавов на основе вольфрама существенно зависят от дисперсности порошка вольфрама и улучшаются с ее повышением.

#### Библиографический список

1. Зеликман Г.А., Никитина А.С. Вольфрам. – М.: Metallurgy, 1978, - 272 с.
2. Порошки цветных металлов. Справочное изд./ Под ред. Набойченко С.С. – М.: Metallurgy, 1997, - 542 с.
3. Каренгин А.Г. Плазменные процессы и технологии/ А.Г. Каренгин; Томский Политехнический Университет. – Томск: ТПУ, 2009. – 144 с.
4. Каламазов Р.У. Высокодисперсные порошки вольфрама и молибдена / Р.У. Каламазов, Ю.В. Цветков, А.А. Кальков.- М: Metallurgy, 1988.– 360 с.
5. Ширяева Л.С. Производство и применение карбида титана (оценка, тенденции, прогнозы) / Л.С. Ширяева, А.К. Гарбузова, Г.В. Галевский // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – № 2 (195). – С. 100-108.
6. Ширяева Л.С. Исследование плазменного синтеза нанокарбида хрома / Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – 2012. – № 29. – С. 94 –101.
7. Ноздрин И.В. Исследование характеристик реактора для плазмометаллургического производства тугоплавких боридов и карбидов / И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.– 2011.– № 8.– С. 27-32.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОЙ МЕДИ

**Хабибулин Р.Р., Куанышпеков А.Н., Акулинчев Е.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, email: rifatzhez@gmail.com*

В статье рассмотрены отрасли техники и технологии – основные потребители меди и её сплавов. Изучены существующие способы производства вторичной меди. Подтверждается, что переработка вторичного сырья позволяет рационально расходовать природные ресурсы, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду. Целью данной работы является определение перспективного направления совершенствования технологий производства вторичной меди.

Ключевые слова: вторичная медь, электротехника, строительство, пи-  
рометаллургический способ.

На протяжении многих десятилетий основными потребителями меди и её сплавов являются электротехническая, электронная, химическая, строительная промышленности, машиностроение, транспорт и др. Однако в последние годы наблюдается тенденция к расширению традиционных областей применения меди, особенно возросло потребление меди в строительной промышленности. В развитых странах медь активно используют для производства трубопроводов для холодной и горячей воды, трубопроводов для транспортировки бытового газа. Все это обусловило рост производства и потребления меди до начала мирового экономического кризиса в 2008 г., который привел к падению цен на медь и резкому снижению производства меди. После кризиса производство меди вновь стало расти, о чем свидетельствует рост цен на медь на Лондонской бирже металлов. Следует отметить, что медь не только прочно удерживает позиции в таких отраслях промышленности как электротехника и электроника, производство кабельной продукции, производство теплообменных аппаратов, но и завоевывает новые области – строительство и быт человека. Об этом свидетельствуют данные International Copper Study Group (ICSG), согласно которым на сегодняшний день на долю электротехники и электроники приходится 31 %, на долю строительства также приходится 29 %, промышленное машиностроение – 11 %, инфраструктура – 16 %, транспорт – 13 % [3-5].

На сегодняшний день переработка рудного сырья должна покрывать дефицит баланса между потреблением и производством меди. В России ежегодно производится около 550-560 тысяч тонн медного концентрата, являющегося основным сырьем для производства черновой меди. Кроме концентр-

ата, для выпуска черновой и рафинированной меди используется вторичное сырье - медьсодержащий лом, сбор которого превышает 500 тысяч тонн в год. В структуре ломов только 10% приходится на отходы текущего производства, остальные 90 % - на амортизационный лом [2].

Вторичная металлургия меди складывается из двух, четко разделяющихся технологических направлений - производства чистой меди и производство вторичных сплавов на медной основе.

Производство вторичной меди из лома и отходов возможно как пирометаллургическими, так и гидрометаллургическими способами. Основным способом переработки вторичного низкосортного медьсодержащего сырья на чистую медь в настоящее время является плавка в шахтных печах [1, 5].

Пирометаллургическая технология получения вторичной меди состоит из следующих переделов:

- подготовки вторичного сырья к плавке;
- плавки на черную, сильно загрязненную примесями медь;
- конвертирования черной меди с получением конвертерной (черновой) меди;
- рафинирования черновой меди огневым и электролитическим способами [4].

Для производства вторичной меди, как правило, используют наиболее низкосортные лом и отходы меди и медных сплавов. Такое сырье практически не поддается предварительной подготовке, или она обходится чрезмерно дорого. По этой причине несортированное медьсодержащее сырье отличается большим разнообразием поступающих в плавку материалов и исключительным непостоянством состава, и часто полной его неопределенностью [6, 7].

Крупный лом и отходы представляют собой несортированное и неразделанное сырье с большим содержанием железа и других примесей, а также крупногабаритные отходы литейного производства - выломки из ковшей, печные "козлы" и т.п. Такое сырье очень часто просто разбивают копром или подвергают резке на куски, размер которых допускает их загрузку в шахтные печи. Мелкий несортированный лом и отходы, значительно загрязненные железом, синтетическими материалами, лакокрасочными покрытиями и т.д., направляют в плавку без предварительной разделки [1].

Медь, присутствующая в шихте в окисленном состоянии, восстанавливается за счет взаимодействия с оксидом углерода и частично с металлическим железом шихты, описываемого в общем виде уравнениями:



Черная медь не пригодна не только для непосредственного использования, но и для прямого рафинирования по технологическим и экономическим соображениям. По этим причинам черную медь перед рафинированием

дополнительно подвергают продувке в конвертерах с целью максимального удаления примесей путем их окисления в шлак или пыли и получения черновой меди. Примеси черной меди в процессе конвертирования в зависимости от их физико-химических свойств переходят преимущественно в возгоны (например, цинк) или в оборотный конвертерный шлак (железо, свинец, олово и др.). Частично они остаются в черновой меди, вызывая тем самым необходимость обязательного ее глубокого рафинирования [2-4].

Таблица 1– Распределение основных компонентов вторичного медного сырья по продуктам шахтной плавки

Металл	Содержание от исходного кол-ва, %			
	Cu	Zn	Pb	Sn
Черная медь	<98	12-15	60-65	65-70
Возгоны	0,2-0,4	45-55	15-20	2-4
Шлак	1,5-2,0	<30	15-20	25-30

Рассмотренная технология переработки вторичного медного сырья весьма несовершенна. Основным ее недостатком является низкая комплексность использования перерабатываемого сырья.



Рисунок 1 – Схема пирометаллургического производства меди из вторичного сырья

Наиболее рациональным вариантом использования лома и отходов меди и ее сплавов является их переработка на вторичные сплавы. Такой метод переработки вторичного сырья позволяет извлекать в товарную продукцию

все ценные составляющие исходных материалов при минимальных их потерях. Однако для прямого получения вторичных сплавов необходимо применять кондиционное (сортовое) сырье (рисунок 1).

В нашей стране при переработке лома и отходов меди и медных сплавов преимущественно получают вторичные бронзы и латуни. На их долю приходится около 95 % общего выпуска вторичных сплавов на медной основе.

Переработка вторичного медного сырья в настоящее время проводится в основном пирометаллургическим способом (плавкой). Он привлекательнее гидрометаллургического способа тем, что прост и протекает при высоких температурах. В промышленной практике для выщелачивания меди из лома и отходов применяют сернокислотное, аммиачное или электрохимическое растворение. Конечной товарной продукцией гидрометаллургических технологий чаще всего являются медные порошки или электролитическая фольга.

#### Библиографический список

1. Металлоизделия [Электронный ресурс]: Производство вторичной меди и ее сплавов – Режим доступа: <http://metal-mega.com/articles/proizvodstvo-vtorichnoy-medi-i-ee-splavov> . - .20.03.2018.-Загл. с экрана.
2. Современная политика [Электронный ресурс]: Российский рынок меди: проблемы и перспективы – Режим доступа: <http://www.mpfund.ru/news/20170727/83.html> .-.22.03.18 .-. Загл. с экрана.
3. А.В. Тарасов. Производство цветных металлов и сплавов: справочник : в 3 т. (4 кн.). Т. 3. Вторичная металлургия тяжелых цветных металлов – М.: Академкнига, 2008 – 444 с.
4. Металлургия меди: практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т ; сост.: В.В. Руднева, Л.П. Скуратович, Л.С. Ширяева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 60 с. : ил.
5. Все о металлургии [Электронный ресурс]: Производство вторичной меди – Режим доступа: <http://metal-archive.ru/tyazhelye-metally/1498-proizvodstvo-vtorichnoy-medi.html> .-. 1.04.18. -. Загл.с экрана.
6. И.Ф. Худяков. Металлургия вторичных тяжелых цветных металлов : учебник для вузов / И.Ф. Худяков, А.П. Дорошкевич, С.В. Карелов - М.: Металлургия, 1987 – 526 с.
7. Крупнейшая база данных по рынку металлов в открытом доступе [Электронный ресурс]: Вторичная переработка медного лома – Режим доступа: <http://www.infogeo.ru/metalls/news/?act=show&news=45760> .-.28.03.18 .-. Загл.с экрана.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОКСА БЕЗ УЛАВЛИВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ**

**Саурыкова О.Н.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.,  
Фадеев А.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Проведен сравнительный анализ технологий коксования. Показаны преимущества способа получения кокса без улавливания химических продуктов коксования.

Ключевые слова: коксование, коксовая батарея, технология производства кокса, печь БУХПК.

Способ получения кокса без улавливания химических продуктов коксования (БУХПК) является известной технологией, которая предшествовала традиционной технологии коксования с улавливанием химических продуктов коксования [1-7]. Современные печи БУХПК имеют верхнюю загрузку насыпью или боковую с трамбованием шихты.

В основе процесса термоокислительного коксования углей лежит явление, заключающееся в скоростном нагреве частиц угля теплом, выделяющимся при сжигании летучих продуктов термической деструкции углей. Обычно процесс горения угольных частиц рассматривается как процесс окисления углерода и последующего нагревания частиц выделившимся теплом. В действительности, при установленном режиме горения частиц процесс следует рассматривать, прежде всего, состоящим из следующих этапов:

1. нагревание частиц угля;
2. термическая деструкция частиц угля с образованием летучих продуктов;
3. сгорание летучих продуктов пиролиза;
4. диффузия кислорода через продукты сгорания и летучие продукты термической деструкции с поверхности к углеродистому материалу;
5. окисление углерода твердой фазы.

Для термоокислительного коксования углей используются печи без улавливания химических продуктов коксования. Схема производства кокса в печах БУХПК представлена на рисунке 1.

Коксовые печи обычно расположены в ряд, образуя единую коксовую батарею. Печи в батарее разделены на группы, обычно по 12 печей в группе. В целях лучшей эксплуатации каждые две соседние группы, объединяющие 24 печи, образуют независимый технологический модуль.

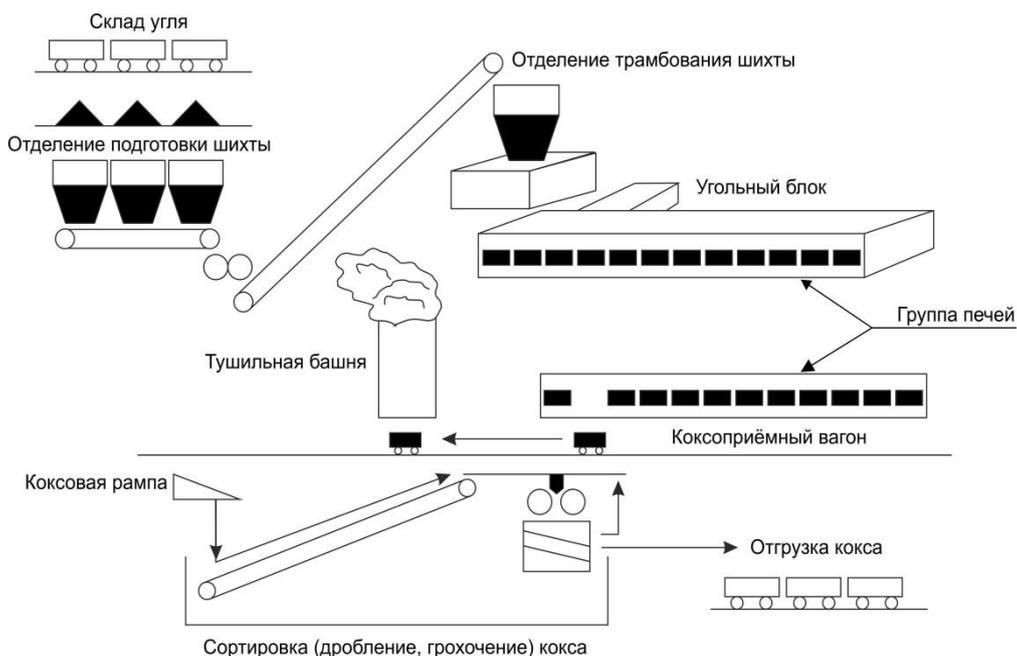


Рисунок 1 – Схема производства кокса в печах БУХПК

Приготовленную угольную шихту для коксования транспортируют в приемный бункер трамбовочной машины. Используя в качестве вяжущего влагу угля, на трамбовочной машине получают компактный цельный шихтовый блок приблизительно такой же длины и ширины, что и камера коксовой печи.

Блок имеет одинаковую по всей площади высоту, отрегулированную соответственно заданной производительности по коксу. Шихтовый блок транспортируют и загружают в печь углезагрузочным вагоном через дверной проем, который по размерам соответствует шихтовому блоку. По окончании загрузки в печь начинают подавать воздух через четыре отверстия в печных дверях и два отверстия в своде печи с целью частичного сжигания сырого коксового газа и генерирования тепла для коксования по высоте слоя шихты. Выдача кокса из печи производится коксовыталькивателем в коксоприемный вагон. Коксоприемный вагон имеет горизонтальное днище, оборудован подвижной крышкой и принимает кокс с одной установки, что исключает разрушение коксового пирога и значительно уменьшает загрязнение среды при выдаче кокса. Далее кокс поступает в тушильную башню, потом на коксовую рампу, подвергается сортировке (дроблению, грохочению) и соответственно происходит его отгрузка.

Главным различием между коксовой батареей БУХПК и батареей с улавливанием химических продуктов коксования состоит в том, что в печи с улавливанием тепло поступает в камеру из обогревательных простенок, а в печах БУХПК используется тепло, генерируемое при сгорании газообразных продуктов коксования и частичного сжигания угля. С этой точки зрения в печах БУХПК можно избежать неорганизованных выбросов, в том числе токсичных и канцерогенных вследствие пониженного давления в печи. Кроме этого, в печи с улавливанием химических продуктов процесс коксования раз-

вивается в горизонтальном направлении, а в печи БУХПК – в вертикальном направлении, от верхней и нижней поверхностей слоя шихты (рисунок 2).

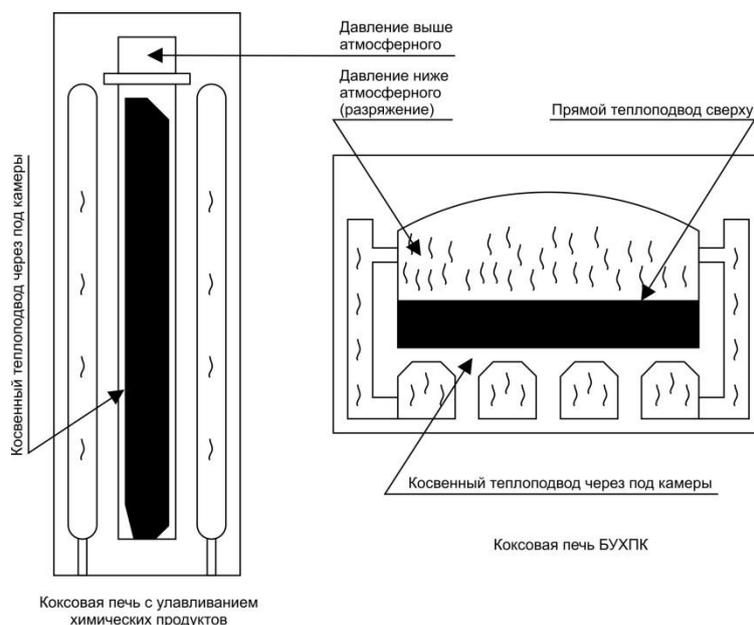


Рисунок 2 – Сравнение технологий коксования

Технология без улавливания химических продуктов коксования отличается более низким содержанием токсичных и опасных для здоровья людей компонентов и выбросов, что делает ее более предпочтительной в выборе технологии коксования углей.

#### Библиографический список

1. Антонов А.В. Производство кокса без улавливания химических продуктов коксования // Новости черной металлургии за рубежом. – 2006. - №1. – С. 11-15.
2. Казмина В.В. Тепловые процессы коксования / В.В. Казмина, Т.Е. Никитина. – М.: Металлургия, 1987. – 432 с.
3. Сысков К.И. Термоокислительное коксование углей / К.Н. Сысков, О.Н. Машенков. – М.: Металлургия, 1973. – 173 с.
4. Химическая энциклопедия «CHEMPORT.RU» [Электронный ресурс]: Коксование.- Электрон. дан.- Режим доступа: [http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article\\_1715.html](http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_1715.html) .- Загл. с экрана.
5. Коксовая печь [Электронный ресурс]: Превращение каменного угля в кокс.- Электрон. дан.- Режим доступа: <http://pechnoedelo.com/promyshlennye/koksovaya-pech-ustroystvo.html> .- Загл. с экрана.
6. Кауфман, А.А. Мастер коксового производства [Текст] / А.А. Кауфман. - Екатеринбург: Кн.издание, 2002. - 275 с.
7. Справочник коксохимика [Электронный ресурс]: Коксование.- Электрон. дан.- Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/062/656.htm> .- Загл. с экрана.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ: СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Филенкова Т.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.,  
Фадеев А.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

На основе литературных данных рассмотрена классификация коксовых печей, проведен анализ их недостатков и преимуществ. Так как увеличение производительности коксовых батарей является в настоящее время актуальной задачей, то реальным средством для повышения эффективности производства кокса может быть значительное увеличение полезного объема камеры и увеличение разовой выдачи кокса из нее. Поэтому в данной работе рассмотрены преимущества большегрузной коксовой батареи.

Ключевые слова: коксование, коксовая батарея, технология производства кокса, классификация коксовых печей, корнюрная зона, камера коксования, коксовый пирог.

Коксохимическая промышленность является одной из важнейших отраслей металлургии и обеспечивает коксом черную металлургию и ряд других отраслей промышленности, является источником разнообразных видов химического сырья. Главным потребителем кокса является черная металлургия. На доменные печи поступает до 80 % кокса, на литейные цели затрачивается до 10 % кокса, 6 % - для получения цветных металлов и нужд химической промышленности [1].

Коксование, т.е. разложение при высокой температуре без доступа воздуха твердых и жидких горючих ископаемых с образованием летучих веществ - таких как аммиак, нафталин, смола, различные фенолы, легкие масла, коксовый газ и твердого остатка - кокса. Сырье для коксования - в основном каменный уголь [2].

Технология производства кокса включает нагрев коксующихся углей без доступа воздуха в специальных печах до температур порядка 1000 °С, последующее охлаждение кокса до 180-200 °С и его сортировку на классы по крупности [3].

В основу классификации коксовых печей могут быть положены различные признаки, позволяющие оценить конструктивную компоновку отдельных частей печи (элементов), а также технологические и эксплуатационные особенности.

1. По расположению камер коксовые печи делятся на горизонтальные и вертикальные.

2. По способу загрузки шихты и выдачи кокса коксовые печи могут быть с верхней загрузкой и нижней выдачей или с верхней загрузкой шихты и боковой выдачей кокса.

3. По технологическому режиму производства процесс может быть периодическим или непрерывным.

4. По способу обогрева печи могут иметь комбинированный обогрев (печи могут обогреваться коксовым, доменным и смешанным газами) или обогрев только коксовым или только доменным газами.

5. По способу подвода отопительного газа (коковского и доменного) и воздуха в каналы (вертикалы) отопительных простенок различают печи с боковым или с нижним подводами. Печи с нижним подводом можно разделить на печи с нижним подводом и с нижним регулированием для отопления только коксовым газом, печи с нижним подводом коксового газа и с боковым подводом и с нижним регулированием расхода бедного газа и воздуха и печи с полным (интегральным) нижним подводом газа и воздуха.

6. По возможности применения рециркуляции (с рециркуляцией или без рециркуляции продуктов сгорания).

7. По способу соединения вертикалов, работающих на восходящем и на нисходящем потоках, различают печи с перекидными каналами ПК (с одним или двумя газоподводящими каналами - корньюрами), с парными вертикалами ПВР, с групповым обогревом и верхним сборным каналом.

8. По способу использования тепла отходящих продуктов сгорания печи делят на регенеративные и рекуперативные.

В России строят преимущественно печи систем ПК-2К с боковым подводом и ПВР с боковым и с нижним подводами отопительного газа [4].

Современные схемы производства кокса можно разделить на два метода:

а) слоевой (его называют также «классический» метод коксования), который осуществляется в горизонтальных камерах;

б) непрерывный (прогрессивный метод коксования).

Для удобства эксплуатации и повышения производительности труда камеры сводятся в батареи, состоящие из  $n$  камер и  $(n+1)$  простенок. В верхнем перекрытии камеры имеют загрузочные отверстия и отверстия для отвода летучих продуктов коксования, которые через газоотвод попадают в газосборник, откуда эвакуируются в цехи улавливания. С торцов камера плотно закрывается специальными дверями, которые снимаются только по окончании коксования для выталкивания готового кокса с помощью штанги коксовыталкивателя. Обогревательный простенок, находящийся между двумя камерами, состоит из большого числа (28-32) вертикальных отопительных каналов (вертикалов), разделенных между собой глухими перегородками. Разделение отопительного простенка на большое число вертикалов необходимо для равномерного обогрева угольной загрузки, что в свою очередь является условием получения кокса хорошего качества и снижения удельного расхода тепла на коксование [5].

В отопительных промежутках печей ПК установлены перегородки.

Над камерой коксования смежные с нею отсеки соединяются коллектором. Таким образом, формируются перекидные каналы. Данная конструкция несовершенна, поэтому она используется не очень часто. В качестве недостатков этого варианта печей можно отметить, что в таких устройствах коксовая масса нагревается по вертикали неравномерно; создается значительное гидравлическое сопротивление; отопительная система недостаточно герметична; наблюдается перерасход топлива. Чтобы содержимое камеры коксования нагревалось равномернее, кладку стены в нижней части делают более толстой [6]. Достоинства таких печей состоят в простоте конструкции, высокой строительной прочности, меньшем количестве фасонного кирпича [3].

Каждый из отопительных промежутков в печах ПВР разделен на 2 вертикала, по которым рециркулируют продукты сгорания. Парно вертикалы соединены внизу рециркуляционными отверстиями. Конструкция печей ПВР позволяет сжигать до 40 % продуктов горения. Потому для них не характерна неравномерность нагревания коксовой массы. По высоте разница в температуре кокса не превышает 50 °С. Данный фактор делает печи ПВР более предпочтительными, чем ПК [6]. Однако недостатком таких печей является более сложная по сравнению с другими системами конструкция газораспределительной (корнюрной) зоны, в связи с чем усложнена конфигурация фасонных изделий и повышен расход огнеупоров.

Коксовые печи с групповым обогревом работают только на коксовом газе. Отличительной особенностью этой конструкции является то, что горение газа осуществляется одновременно во всех вертикалах отопительных простенков поочередно с машинной или коксовой стороны. Печи с групповым обогревом имеют обычно небольшую длину. Достоинство этой системы в простоте конструкции, малом числе фасонов и марок кирпича. Недостатками являются ослабление строительной прочности простенков в зоне горизонтального канала, трудности по этой причине увеличивать размеры камеры коксования, а значит и производительность печей [3].

Вертикальные камерные печи для коксования углей предназначены, в основном, для производства недоменного кокса из крупнокусковых неспекающихся или слабоспекающихся углей, для коксования сланцев и для коксования угольных формовок в процессе производства доменного формованного кокса. Недостатком вертикальных печей этого типа является повышенный расход тепла на коксование. Преимущества: возможность создания оптимального регулируемого температурного режима коксования угольного материала при прохождении его по различным зонам; по высоте печи мала площадь, занимаемая коксовым блоком; уменьшение числа коксовых машин (нет коксовыткаткивателя и загрузочного вагона); снижение эксплуатационных расходов; увеличение производительности печи; удлинение срока службы камер в результате более постоянных температур; возможность регулирования выхода и теплоты сгорания коксового газа путем отбора его на разных по высоте уровнях камеры коксования, возможность коксования неспекающихся углей [7].

Техника коксования непрерывно совершенствуется: увеличивается размер камер печи и механизуется их обслуживание; вводится загрузка печей высушенной и подогретой (до 200°C) шихтой. Разрабатываются и принципиально новые, непрерывные методы коксования, основанные на формовании в потоке брикетов из угля, переведённого в пластическое состояние, и последующей прокатке брикетов [8].

Для увеличения производительности и качества кокса необходимы большегрузные коксовые батареи. Предусматриваемые в проектах новых коксовых батарей увеличение ширины камер коксования и связанное с этим удлинение периода коксования, а так же уменьшение толщины греющих стен коксовых печей, применения высокотеплопроводных огнеупоров позволят снизить температуру в отопительных каналах и свести к минимуму образование «термических» оксидов азота, что так же приводит к сокращению вредного воздействия коксохимии на окружающую среду.

Увеличение ширины камер коксования имеет следующие преимущества:

- при одинаковых условиях коксования температура в шихте повышается медленно, т.е. скорость коксования становится меньше, что положительно сказывается на качестве кокса;

- величина внутреннего давления повышается пропорционально квадрату скорости коксования, т.е. при более широкой камере внутреннее давление меньше;

- степень усадки коксового пирога пропорциональна ширине камеры; при более широкой камере щель между коксовым пирогом и нагревательной стенкой больше, что приводит к более легкому выталкиванию коксового пирога;

- меньшие нагрузки в связи с благоприятным соотношением усадки и выталкивания действуют положительно на долговечность батареи.

Строительство батарей большой мощности позволяет вывести из эксплуатации более мелкие батареи, наносящие большой экологический ущерб. Это позволит уменьшить число технологических операций в единицу времени и общее число источников выбросов, а как следствие снизить объем выбросов в атмосферу [7].

#### Библиографический список

1. Лейбович, Р.Е. Технология коксохимического производства [Текст] / Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлев, А.Б. Филатов.- М.: Metallurgy, 1982.- 360 с.

2. Химическая энциклопедия «CHEMPORT.RU» [Электронный ресурс]: Коксование.- Электрон. дан.- Режим доступа: [http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article\\_1715.html](http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_1715.html) .- Загл. с экрана.

3. Вольфовский, Г.М. Газовщик коксовых печей [Текст] / Г.М. Вольфовский, Л.И. Мироненко, А.А. Кауфман.- М.: Metallurgy, 1989.- 190 с.

4. Методический и общепросветительский портал, ориентированный на учащихся старших классов школы, колледжей и студентов технических вузов «METALspace» [Электронный ресурс]: Процесс коксования.- Электрон. дан.- Режим доступа: <http://metalspace.ru/education-career/osnovy->

metallurgii/koks/1606-protsess-koksovaniya.html .- Загл. с экрана.

5. Традиционное производство кокса «Koks.in.ua» [Электронный ресурс]: Конструкции коксовых печей.- Электрон. дан.- Режим доступа: <http://www.koks.in.ua/tradicionnoe-proizvodstvo-koksa/konstrukcii-koksovyh-pecej> .- Загл. с экрана.

6. Коксовая печь [Электронный ресурс]: Превращение каменного угля в кокс.- Электрон. дан.- Режим доступа: <http://pechnoedelo.com/promyshlennye/koksovaaya-pech-ustroystvo.html> .- Загл. с экрана.

7. Кауфман, А.А. Мастер коксового производства [Текст] / А.А. Кауфман. - Екатеринбург: Кн.издание, 2002. - 275 с.

8. Справочник коксохимика [Электронный ресурс]: Коксование.- Электрон. дан.- Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/062/656.htm> .- Загл. с экрана.

УДК 621.74

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА 30ХГСЛ

**Мамедов Р.О., Долгополов А.Е., Дмитриенко А.В.,  
Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Технология изготовления отливок из стали 30ХГСЛ по выплавляемым моделям в керамические формы, состоящие из 3-5 слоев, после прокалики при 800 °С заформовывают в кипящем слое опорным наполнителем, герметизируют контейнер (опоку) сверху по уровню заливочной воронки (чаши) асбестовым листом, подключают снизу контейнера вакуум и заполняют сверху, при температуре близкой к температуре ликвидуса, жидкотвердым расплавом, содержащим центры кристаллизации, производят выдержку под вакуумом до полного затвердевания отливок.

Ключевые слова: вакуум, сталь, расплав, модифицирование, форма, структура.

Существующая технология получения отливок из стали 30ХГСЛ литьем по выплавляемым моделям включает прокалику форм, состоящую из 8-10 слоев при 900 °С, засыпку нагретых керамических форм в цилиндрической контейнере в кипящем слое опорного наполнителя (кварцевым песком), заполнение керамических форм перегретым над линией ликвидус расплавом металла и затвердевание его в формах под атмосферным давлением.

Полученные по описанной технологии тонкостенные отливки (до 15 мм)

после термообработки имеют приемлемое качество по механическим свойствам и структуре, отливки с большей толщиной стенки имеют крупнозернистую структуру с размером зерна 1-2 (требуется более 6) балла и не исправляется после термообработки. Кроме того, технология требует повышенный расход энергии на перегрев расплава металла и прокалку форм (корочек) [1-3].

Предлагается технология изготовления отливок в керамических формах с использованием вакуума для заполнения их жидкотвердым расплавом, модифицированным малыми добавками тугоплавких модификаторов II рода, содержащим центры кристаллизации [4].

По этому способу керамические формы, состоящие из 3-5 слоев, после прокалки при 800 °С заформовывают в кипящем слое опорным наполнителем, герметизируют контейнер (опоку) сверху по уровню заливочной воронки (чаши) асбестовым листом, подключают снизу контейнера вакуум и заполняют сверху, при температуре близкой к температуре ликвидуса, жидкотвердым расплавом, содержащим центры кристаллизации, производят выдержку под вакуумом до полного затвердевания отливок.

После прокалки формы, размещении ее в контейнере в кипящем слое опорного наполнителя и вакуумирования, форма охлаждается в контейнере до 150-300 °С. Нижний предел температуры устанавливается из условий отсутствия в керамических формах влаги при заполнении их расплавом металла. Заливка расплава металла в более тонкостенные и холодные керамические формы, их вакуумирование позволяет повысить скорость затвердевания в них металла и, как следствие, измельчить зерно. Кроме того, заливка керамических форм расплавом при температуре близкой к температуре ликвидуса (температура ликвидуса стали 30ХГСЛ – 1495 °С, температура ее нулевой жидкотекучести – 1475 °С) жидкотвердым расплавом с готовыми центрами кристаллизации, также способствует существенному измельчению первичного зерна металла отливок. Например, отливки из стали 30ХГСЛ модифицируют тугоплавкими наночастицами TiCN или Cr<sub>2</sub>N в количестве 0,05 вес. %.

Для получения модификаторов, лом стали расплавляют в индукционной печи по известной технологии, затем вводят необходимое количество ферросплавов, в том числе низкоуглеродистый феррохром. Часть шихты вводят в виде спрессованной стружки стали, которую предварительно подвергают кратковременному азотированию для образования на ее поверхности слоя нитридов хрома толщиной не более 0,1 мкм. Необходимое количество титана вводят также в виде спрессованной стружки, предварительно прошедшей кратковременную нитроцементацию для образования тонкого слоя (менее 0,1 мкм) TiCN. При расплавлении подготовленной стружки в расплаве образуются тугоплавкие наночастицы из Cr<sub>2</sub>N и TiCN.

Заливку проводят с одновременным вакуумированием формы для лучшего заполнения расплавом тонких стенок отливки. При заливке охлажденной близкой к линии ликвидуса стали с готовыми центрами кристаллизации (твердая фаза стали 30ХГСЛ, наночастицы из Cr<sub>2</sub>N и TiCN) в холод-

ную форму (имеющую температуру менее 300 °С) ускоряется кристаллизация и измельчается зерно отливки. После заполнения рабочих полостей форм расплавом вакуум не отключают и выдерживают до окончания затвердевания отливок.

Модифицирование возможно не только за счет внесения наночастиц с различными специальными материалами, но и за счет их формирования при физико-химических процессах в объеме жидкой стали. Этот процесс носит название карбо нитридное упрочнение. Для его успешного протекания в металле должно быть достаточное количество растворенного азота, обычно это в пределах 0,01 – 0,02%. В этом случае добавки сильных нитридообразующих элементов, таких как титан или ванадий, приводит к получению дисперсных включений нитридов и карбо нитридов уже в жидкой стали, и измельчению структуры металла при его кристаллизации.

Исходная металлошихта обычно содержит недостаточное количество азота для осуществления процессов карбонитридного упрочнения. Поэтому на практике обычно применяют специальные азотированные ферросплавы (FeMn, FeV и др.) для повышения содержания азота. Недостатком этого способа является высокая стоимость азотированных ферросплавов.

Повысить содержания азота в металле можно и в процессе плавки за счет специальных технологических приемов.

Хорошо известно, что содержание азота в металле можно корректировать за счет организации взаимодействия металла и газовой фазы согласно закону Сиветса  $[N] = K_N \sqrt{P_{N_2}}$ . Таким образом, для повышения содержания азота металл нужно обработать газообразным азотом.

Обработка газообразным азотом должна проводиться с учетом раскисленности металла и величины межфазной поверхности.

Раскисленность металла оказывает сильное влияние за счет возможности снижения блокирования перехода азота в металл растворенным поверхностноактивным кислородом.

Величина межфазной поверхности естественно определяет скорость процесса поглощения.

Оптимальные условия для повышения содержания азота реализуются при глубинной продувке раскисленного металла газообразным азотом в пузырьковом режиме.

Расплав стали, заполнивший рабочие полости формы, представляет собой суспензию с готовыми центрами кристаллизации, что обеспечивает объемное затвердевание, измельчение зерна и химическую однородность металла отливки, кристаллизация расплава в форме с вакуумированием устраняет микропористость, а в комплексе эти два параметра обеспечивают получение качественного металла отливок.

Реализация предложенной технологии позволяет получать точные отливки в керамических формах по выплавляемым моделям с повышенными

свойствами литого металла, переводить на технологию литья детали, изготавливаемые из поковок и проката с низким коэффициентом использования материала (менее 0,5), снизить металлоемкость формы, энергозатраты и себестоимость производства.

#### Библиографический список

1. Ширяева Л. С. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-мастер-моделей (форм) и аддитивных технологий / Л. С. Ширяева, А. А. Куценко, К. В. Пономарева ; науч. рук.: С. В. Князев, А. А. Усольцев // Россия Молодая - 2017 : сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, 18-21 апреля 2017 г. – Кемерово, 2017. – С. 1-4 (0303005). – Библиогр.: с. 4 (3 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

2. Knyazev S.V., Skopich D.V., Fat'yanova E.A., Usol'tsev A.A., Kutsenko A.I. Key indicators of steel quality of cast products for railway transport. *Izvestiya Visshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2017;60(2):128-132. (In Russ.) DOI:10. 17073 /0368-0797-2017-2-128-132.

3. Antipenko V.I., Knyazev S.V. Diagnostics of steel castings production with the aid of technological pilot samples. *Soviet Castings Technology (English Translation of Liteinoe Proizvodstvo)*, 1987, no. 7, p. 34.

4. К.А.Медведев, Н.М.Чернов. «Литье по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением коррозионно-стойких сталей» // *Литейное производство*, 2006, №1, стр.20-23.

УДК 621.74:621.791

### **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК И ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК**

**Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Долгополов А.Е.,**

**Мамедов Р.О., Шевченко Р.А.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

В условиях современного мира появилась большая потребность в пористых отливках для защиты здоровья человека и в тонкостенных отливках в аэрокосмическом производстве. Для исследования процессов получения этих видов отливок необходимо дорогостоящее оборудование. При отсутствии возможности приобретения такового была разработана и изготовлена

кафедрой «Материаловедения, литейного и сварочного производства» установка для исследования процессов получения пористых литых заготовок и тонкостенных отливок.

Ключевые слова: лабораторная установка, литье под вакуумом, пористые литые заготовки, тонкостенные отливки.

В условиях современного мира появилась большая потребность в пористых отливках для защиты здоровья человека и в тонкостенных отливках в аэрокосмическом производстве. Для исследования процессов получения этих видов отливок необходимо дорогостоящее оборудование. При отсутствии возможности приобретения такового была разработана и изготовлена кафедрой «Материаловедения, литейного и сварочного производства» установка для исследования процессов получения пористых литых заготовок и тонкостенных отливок (рисунок 1).



Рисунок 2-Установка для исследования процессов получения пористых литых заготовок и тонкостенных отливок

Структурная схема экспериментальной установки изображена на рисунке 2. Данная установка представляет собой: клапан 1 – 1, клапан 2 – 2, вакуумный насос – 3, ресивер – 4, вакуумный манометр – 5, газовый редуктор – 6, вакуумная камера – 7, гильза (форма) – 8.

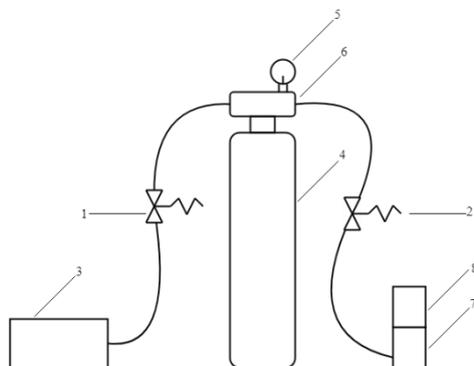


Рисунок 3 - Структурная схема установка для исследования процессов получения пористых заготовок и тонкостенных отливок

Приведен принцип работы установки на примере пористой заготовки, он делится: на два этапа:

1-ый этап подготовительный – открывается клапан 1 (1), клапан 2 (2) переводится в режим закрыт. Включается вакуумный насос (3) и нагнетается давление в ресивер (4). При достижении нужного уровня давления, отображаемого на вакуумном манометре (5) одновременно клапан 1 (1) переводится в режим закрыт и отключается вакуумный насос (3), выравнивание давления происходит в газовом редукторе (6). Гильза (7) устанавливается на вакуумную камеру (8), дно гильзы (7) застилается слоем стекловолосна, засыпается слой соли расчетной высоты и определенной фракции. Щель между гильзой (7) и камерой (8) промазывается глиной.

2-ой этап заливка – жидкий металл заливается в гильзу (7), одновременно с этим клапан 2 (2) переводится в режим открыт. Происходит всасывание жидкого металла в слой соли формируя при этом пористую структуру заготовок.

Размеры вакуумной камеры и гильзы изображены на рисунке 3.

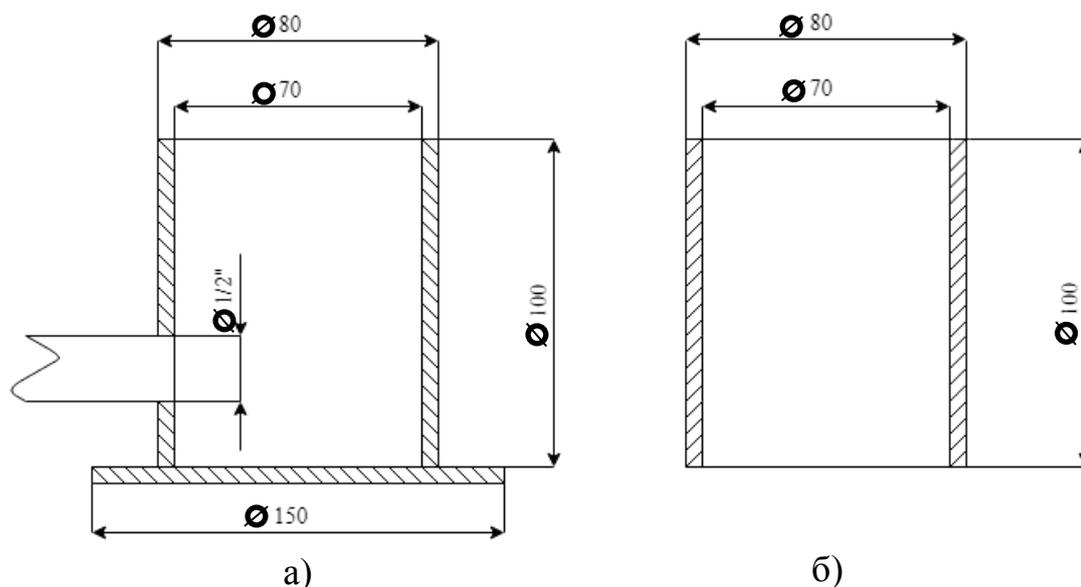


Рисунок 3 - Размеры вакуумной камеры (а) и гильзы (б)

При исследованиях процессов получения пористых литых заготовок и тонкостенных отливок осуществляются замеры: давления вакуума – с помощью вакуумного манометра; расстояние пористого слоя заготовки – с помощью линейки; температуру заливаемого металла – с помощью термопары.

#### Библиографический список

1. О технологии [Электронный ресурс]: Принципиальная технологическая схема получения изделий из пористого алюминия. URL: <http://www.compmat.ru/poristyuy-litoy-alyuminiy/o-tekhnologii/> (дата обращения 09.02. 2018).
2. Финкельштейн А.Б. Теория и практика получения пористых отливок

из алюминиевых сплавов пропиткой: автореф. дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук / Финкельштейн А.Б.; Уральский гос. техн. ун-т. – УПИ им. первого Презид. России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург., 2010. – 40 с.: - ил. – Библиогр.: с. 40 (33 назв.).

3. Ширяева Л. С. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-мастер-моделей (форм) и аддитивных технологий / Л. С. Ширяева, А. А. Куценко, К. В. Пономарева ; науч. рук.: С. В. Князев, А. А. Усольцев // Россия Молодая - 2017 : сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, 18-21 апреля 2017 г. – Кемерово, 2017. – С. 1-4 (0303005). – Библиогр.: с. 4 (3 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

УДК 621.74:621.791

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ И СВАРКИ В ВАКУУМЕ**

**Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Долгополов А.Е.,  
Мамедов Р.О., Шевченко Р.А.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Лабораторное оборудование для исследования процессов литья и сварки в вакууме позволяет производить дегазацию различных полимеров при литье в силиконовые формы, выполнять стопорную заливку металла под вакуумом и проводить сварку металла в вакууме.

Ключевые слова: камера, лаборатория, оборудование, дегазация, вакуум, литье, сварка.

Литье и сварка в вакууме являются современными и точными технологиями. Для изучения процессов получения литых отливок и сварных швов в вакууме была разработана и изготовлена кафедрой «Материаловедения, литейного и сварочного производства» установка для исследования процессов литья и сварки в вакууме (рисунок 1). Данная установка принимала участие в фестивале технологического творчества СибГИУ “GeekFest”.

Структурная схема установки для исследования процессов литья и сварки в вакууме изображена на рисунке 2. Установка состоит из: вакуумной камеры – 1, дверцы – 2, зажимного замка – 3, подсветки – 4, технологического отверстия – 5, вакуумного насоса – 6. Размеры вакуумной камеры установки указаны на рисунке 3.



Рисунок 1 - Установка для исследования процессов литья и сварки в вакууме

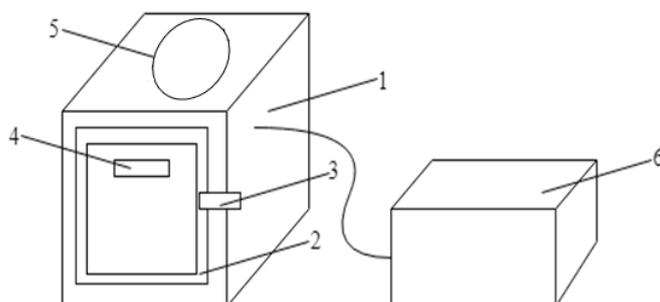


Рисунок 2 - Структурная схема установки для исследования процессов литья и сварки в вакууме

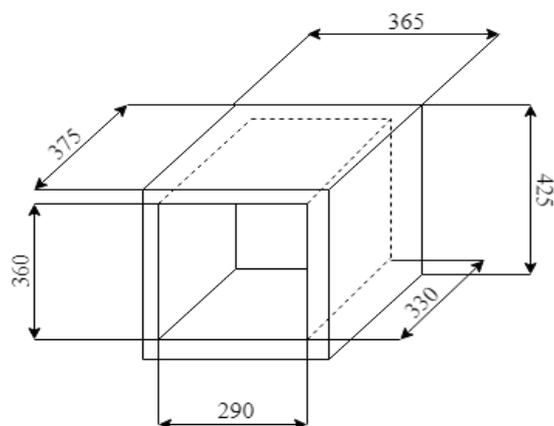


Рисунок 3 - Размеры вакуумной камеры установки для исследования процессов литья и сварки в вакууме

Принцип работы установки будет разобран на примере дегазации полимеров и стопорной заливки металла в вакууме. Дегазация полимеров (рисунок 2): в вакуумную камеру (1) устанавливается емкость с дегазируемым полимером. Затем плотно закрывается дверца (2) и закрывается зажимной замок (3). Для лучшего наблюдения за процессом дегазации включается подсветка (4), технологическое отверстие (5) закрывается для создания вакуума. Включается вакуумный насос (6) и в вакуумной камере (1) начинается создаваться разрежение. Полимер в камере (1) выдерживается при включенном насосе (6) до тех пор, пока все пузырьки воздуха не удалятся.

Стопорная заливка металла с вакуумом (рисунок 4): в камеру (1) устанавливается винтовой лифт (2), на винтовой лифт (2) помещается кассета с формой (3) (предварительно заготовленная). Винтовой лифт (2) поднимается до плотного соединения кассеты с формой (3) под технологическим отверстием (4). На камеру (1) устанавливается ковш (5) и фиксируется над технологическим отверстием (4) резьбовым соединением. Стопор (6) находится в положении закрыт. В камере (1) создается вакуум через патрубок (7), стопор (6) переводится в положение открыт – производится заливка металла в форму.

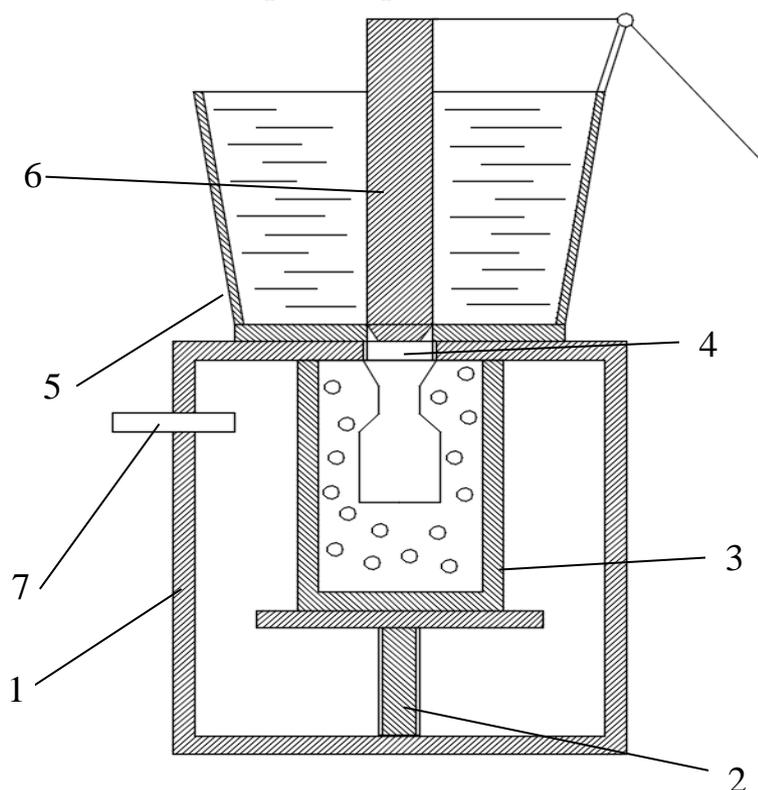


Рисунок 4 - Схема стопорной заливки металла вакуумом в разрезе

Даная установка позволяет производить дегазацию различных полимеров при литье в силиконовые формы, выполнять стопорную заливку металла под вакуумом и проводить сварку металла в вакууме.

#### Библиографический список

1. Chipmaker.ru [Электронный ресурс]: Самодельная вакуумная камера для литья полимеров. URL:<https://www.chipmaker.ru/topic/160732/> (дата обращения 12.02.2018).

2. Ширяева Л. С. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-мастер-моделей (форм) и аддитивных технологий / Л. С. Ширяева, А. А. Куценко, К. В. Пономарева ; науч. рук.: С. В. Князев, А. А. Усольцев // Россия Молодая - 2017 : сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, 18-21 апреля 2017 г. – Кемерово, 2017. – С. 1-4 (0303005). – Библиогр.: с. 4 (3 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИМПЛЕКС-МЕТОДА НЕЛДЕРА-МИДА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА СМЕСЕЙ ПРИ ЛИТЬЕ И СВАРКЕ**

**Долгополов А.Е., Мамедов Р.О., Шевченко Р.А.,  
Кислов А.И., Дмитриенко А.В.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Симплекс-метод приспособлен для использования при наличии нескольких параметров оптимизации, что является важным при исследовании многопараметрических систем, к которым относятся литейные, сварочные технологии, и процесс смесеприготовления. Достоинствами симплекс-метода Нелдера-Мида является то, что зона оптимума достигается как угодно точно. Сущность метода заключается, в том, что кроме отображения худшей точки, здесь перемещение симплекса осуществляется также еще при помощи операций расширения и сжатия.

Ключевые слова: оптимизация, симплекс-метод, шихта, состав, свойства, смесь.

Многофакторный процесс приготовления смеси затрудняет процесс оптимизации ее свойств и требует специального подхода с выбором метода оптимизации. Основным источником информации процесса смесеприготовления – данные лабораторного контроля состава и свойств смеси. Важной задачей, возникающей при решении вопросов управления смесеприготовления, является установления связи между физико-механическими и технологическими свойствами смеси и ее составом для расчета содержаний компонент смеси с целью получения заданных оптимальных свойств [1-9].

Симплекс-метод позволяет решить поставленную задачу, причем оптимизацию можно вести как экспериментальным путем, так и расчетным путем, используя математическую модель «состав-свойства».

Симплекс-метод приспособлен для использования при наличии нескольких параметров оптимизации, что является важным при исследовании многопараметрических систем, к которым относятся литейные, сварочные технологии, и процесс смесеприготовления.

Достоинствами симплекс-метода Нелдера-Мида является то, что зона оптимума достигается как угодно точно. Сущность метода заключается, в том, что кроме отображения худшей точки, здесь перемещение симплекса осуществляется также еще при помощи операций расширения и сжатия.

В качестве примера процесса оптимизации состава смеси симплекс-методом Нелдера-Мида используем регулируемые параметры: процентное

содержание глинистой суспензии и время перемешивания, а в качестве функции отклика – уплотняемость и содержание влаги.

В состав смеси входит 91 % отработанной смеси (содержание глинистой составляющей 12 %, влажностью 2%, модуль мелкости 55), 8 % кварцевого песка марки 1КО2А, 1 % лигнобульфоната в качестве крепителя. Объем замеса 2 кг.

Принимаем координаты начальной точки исходного симплекса равные  $x_{10}=5$  %,  $x_{20}=3$  мин. Величины интервала варьирования для добавок глинистой суспензии и времени перемешивания соответственно равны  $\Delta x_1=1$  %,  $\Delta x_2=0,5$  %.

Значение координат исходного симплекса в натуральных координатах для двух переменных факторов ( $k=2$ ):

Таблица 1 - Значение координат исходного симплекса

Номер опыта	$X_1$	$X_2$
1	5,5	3,14
2	4,5	3,14
3	5	2,71

Основываясь на практическом опыте производства отливок из алюминиевых сплавов в разовых песчано-глинистых формах принимаем в качестве "идеала" значение влажности формовочной смеси 4,5 %, уплотняемости 50 %. Используя для нахождения обобщенного отклика формулу

$$Y_u = \sum_{i=1}^m \left( \frac{y_{iu} - y_{i0}}{y_{i0}} \right)^2, \quad (1)$$

где  $y_{iu}$  - значение индивидуального отклика  $i$ -ой опыте;

$y_{i0}$  - оптимальное значение отклика  $i$ , значение к которому следует стремиться.

Проведем эксперимент согласно изложенной выше методики в точках исходного симплекса. Графическое представление движения симплекса показано на рисунке 1.

В результате проведения опыта получили для точки 1 значение влажности смеси  $W=6,0$  %, уплотняемости  $Y=54,0$  %. Тогда согласно формуле (1) обобщенный отклик будет равен

$$Y_1 = \left( \frac{6,0 - 4,5}{4,5} \right)^2 + \left( \frac{54,0 - 50,0}{50,0} \right)^2 = 0,1111 + 0,0064 = 0,1175.$$

Для Т.2 и Т.3 обобщенные отклики соответственно равны  $Y_2=0,0509$ ,  $Y_3=0,0879$ .

Анализируя результаты опытов в вершинах исходного симплекса определяем, что наихудший отклик находится в Т.1. Используя правило отражения, находим координаты новой вершины, полученной в результате отражения Т.1:

$$x_{1,4} = \frac{2}{2} (4,5 + 5,0) - 5,5 = 4,0$$

$$x_{2,4} = \frac{2}{2}(3,14 + 2,71) - 3,14 = 2,71$$

Результаты опыта в Т.4 дают значение обобщенного отклика  $Y_4=0,0329$ , т.е. лучше, чем в остальных вершинах симплекса. Отсюда по правилам движения симплекса следует, что необходимо расширить симплекс относительно Т.1.

Используя формулу (2), определяем координаты Т.5, полученной в результате расширения симплекса 1-2-3 относительно Т.1.

$$x_{i,N+1} = \frac{3}{k} \sum_{u=1}^k x_{i,u} - 2x_i^* \quad (2)$$

Получаем значения  $x_{1,5}=3,25$  и  $x_{2,5}=2,50$ . Опыт в Т.5 дает  $Y_5=0,0080$ . Обобщенный отклик в пятой вершине меньше меньшего исходного симплекса, следовательно, отбрасываем Т.1 и получаем новый симплекс 2-3-5 полученный в результате расширения исходного.

В дальнейшем процедура симплекс-метода повторяется. Анализ симплекса 2-3-5 показывает, что худшей вершиной является третья. Отражение Т.3 дает  $Y_6=0,0005$ , т.е. лучше лучшей в симплексе 2-3-5. Отсюда вытекает необходимость в расширении относительно Т.3. Процедура расширения дает  $Y_7=0,0136$ , получили результата хуже, чем в Т.6., следовательно, отказываемся от расширения и образуем новый симплекс 2-5-6, полученный в результате отражения вершины симплекса 2-3-5. Анализ нового симплекса 2-5-6 дает в качестве худшей вершины Т.2. Отражение Т.2 дает вершину 8,  $Y_8=0,0139$ . Обобщенный отклик новой вершины находится в середине симплекса 2-5-6, т.е. лучше, чем в Т.2, но хуже, чем в Т.5 и 6. Применяется правило движения, симплекса при котором происходит сжатие относительно отраженной уже точки. Результат опыта в Т.9 дает значение обобщенного отклика  $Y_9=0,0006$ , т.е. лучше, чем в вершинах 5 и 8. Принимаем новый симплекс с вершинами 5-6-9.

Худшей вершиной в новом симплексе является Т.5. Отражаем ее и получаем значение обобщенного отклика в Т.10 равное  $Y_{10}=0,0089$ , т.е. хуже худшей Т.5. Следуя правилам движения симплекса произведем сжатие симплекса 5-6-9 относительно Т.5. В результате получаем Т.11 со значением обобщенного отклика  $Y_{11}=0,0020$ , т.е. лучше худшей точки симплекса 5-6-9. Принимаем в качестве новой точки симплекса Т.11, получаем симплекс 6-9-11.

Значения обобщенных откликов в симплексе 6-9-11 показывают, что мы уже находимся в области зоны оптимума. Поэтому необходимо решить вопрос продолжать движение симплекса дальше или же ограничиться достигнутым результатом оптимизации. С этой целью проведем оценку полученных результатов по критерию приведенного в формуле (3).

$$\sqrt{\frac{\sum_{u=0}^k (y_u - \bar{y}_k)^2}{k}} < \varepsilon \quad (3)$$

где  $\varepsilon$ - заранее заданные малые величины.

Зададимся величиной  $\varepsilon$  - достаточной для целей исследований величиной среднеквадратичного отклонения обобщенного отклика в вершинах симплекса. Пусть  $\varepsilon=0,001$ , тогда подставляя значения  $Y_u$  ( $u=6,9,11$ ) в уравнение (3) получаем

$$\varepsilon > \sqrt{\frac{(0,0005 - 0,001)^2 + (0,0006 - 0,001)^2 + (0,0020 - 0,001)^2}{2}} = 0,00087.$$

Неравенство (3) выполняется, следовательно, прекращаем выполнение процедуры поиска оптимума симплекс-методом, т.к. дальнейшая процедура оптимизации неэффективна в силу незначительного изменения свойств смеси.

Полученная в результате эксперимента зона оптимума, ограниченная симплексом с вершинами 6-9-11, (рисунок 1) дает возможность получить удовлетворяющее цели оптимизации значение функции отклика при условии попадания значений переменных факторов  $x_1$ , и  $x_2$  в область зоны оптимума.

Для примера найдем значение обобщенного отклика в центре симплекса. Для этого определим координаты центра по формуле

$$x_i = \frac{\sum_{u=0}^k x_{i,u}}{k+1}. \quad (4)$$

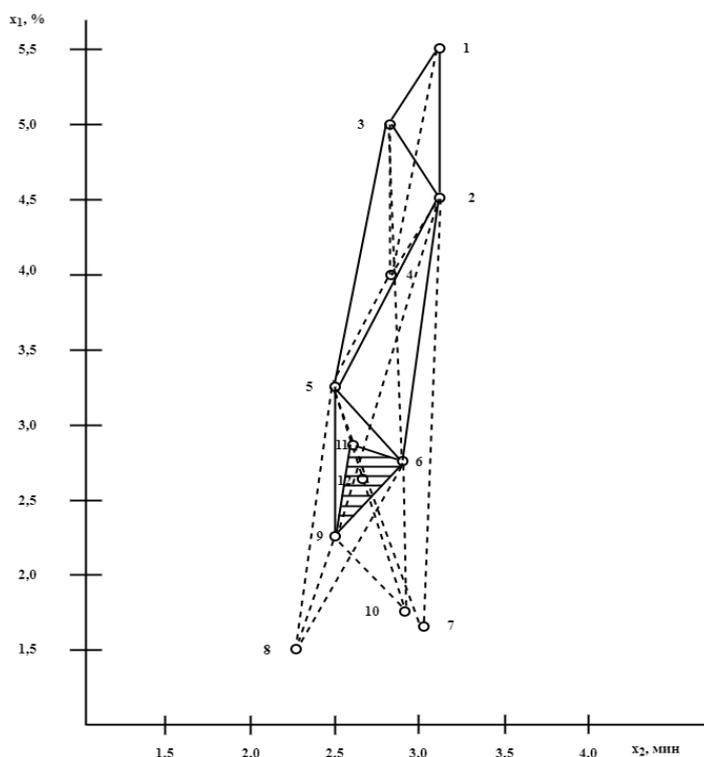


Рисунок 1 Графическое представление симплекса при оптимизации свойств формовочной смеси

В результате проведения эксперимента получаем значение обобщенного отклика в центре симплекса  $Y_{12} = 0,0001$ . Полученный результат удовлетворяет условиям поиска оптимума и тем самым можно сделать заключение,

что задача оптимизации свойств формовочной смеси решена, зона оптимума найдена. На этом процедура симплекс-метода завершается.

Рассмотренный способ оптимизации с использованием симплекс-метода Нелдера-Мида позволяет как угодно точно определить положение оптимума свойств при исследовании экспериментальным путем процессов приготовления смесей, когда не известны законы взаимодействия компонент состава между собой и их взаимного влияния на свойства.

#### Библиографический список

1. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Skopich D.V., Fatyanova E.A., Dolgoplov A. E. Automated system of control and diagnostics of cast-steel defects in the mass production//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. P. 1 -5 (012039).

2. Cheprasov A.I., Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Dolgoplov A.E., Mam ed ov R.O. Detection of cold cracks in the cast-steels by the methods of ultrasonic and eddy-current infrared thermography//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. P. 1 -5 (012026).

3. Antipenko V.I., Knyazev S.V. Diagnostics of steel castings production with the aid of technological pilot samples. Soviet Castings Technology (English Translation of Liteinoe Proizvodstvo), 1987, no. 7, p. 34.

4. Knyazev S.V., Skopich D.V., Fat'yanova E.A., Usol'tsev A.A., Kutsenko A.I. Key indicators of steel quality of cast products for railway transport. Izvestiya Visshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2017;60(2):128-132. (In Russ.) DOI: 10.17073/0368-0797-2017-2-128-132

5. Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Чепрасов А.И. Программно-аппаратный комплекс системы анализа дефектности отливок// Прогрессивные технологии в современном машиностроении : сборник статей XII Международной научно-технической конференции. Под редакцией Е.А. Чуфистова. Пенза, 2017. С. 20-26.

6. Князев С.В., Скопич Д.В., Усольцев А.А., Фатьянова Е.А. Прогнозирование качественных характеристик стали марки 20ГФЛ//Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 2 (12). С. 31 -33.

7. Князев С.В., Усольцев А.А., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А. Опыт разработки и внедрения автоматизированной системы пооперационного контроля производства отливок//Современные технологии в машиностроении: сборник статей XVII международной научно-технической конференции, 2013. -Пенза, ПДЗ -С. 111 -117.

8. Ключевые показатели качества стали литых изделий для железнодорожного транспорта / С. В. Князев, Д. В. Скопич, Е. А. Фатьянова, А. А. Усольцев, А. И. Куценко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, № 2. - С. 128-132. – Библиогр.: с. 131 (20 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

9. Расчет технологических коридоров выплавки стали 20ГФЛ в дуговых электросталеплавильных печах / Д. В. Скопич, Е. А. Фатьянова, С. В. Князев, А. А. Усольцев, Р. О. Мамедов // *Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XIX Международной научно-практической конференции, 15-16 декабря 2015 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – Ч. 1. - С. 166-173. – Библиогр.: с. 173 (2 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.*

УДК 621.74

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В МАЛОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

**Мамедов Р.О., Долгополов А.Е., Дмитриенко А.В., Соколов Б.М.  
Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Лубяной Д.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Ресурсо- и энергосбережение в настоящее время является наиболее важным направлением развития сталелитейного производства. Снижение расхода ферросплавов, в процессе выплавки стали в настоящее время является актуальной задачей. Один из основных дефектов литья стали как ситовидная пористость не появляется в хорошо раскисленной стали даже при высоком содержании водорода. Основным способом устранения этого дефекта является эффективное раскисление. В виду этого, одна из основных задач окислительного периода, по удалению водорода, становится менее актуальной. В этой связи становится малоцелесообразно в плавках для отливок выжигание большого содержания углерода из расплава, которая сопровождается окислением полезных примесей - кремния, марганца и хрома.

Ключевые слова: окисление стали, малые ДСП, ситовидная пористость, качество, термовременная обработка.

Существующая (классическая) технология производства стали на свежей шихте включает в себя, как правило, окислительный период плавки при котором выжигается 0,2 – 0,5 % С [1]. При этом, окисление металла производится в основном при присадке в ванну окислов железа в виде железной руды или окатышей. Отмечено, что в процессе проведения окислительного периода ванна, как правило, в процессе выгорания углерода удаляются не только вредные газы, но и полезные примеси такие как Mn, Cr и Si.

В настоящее время очень актуально снижение расхода ферросплавов при выплавке стали, поэтому необходимо минимизировать расход этих легирующих добавок. В этой связи по возможности необходимо сократить окислительный период в ведении плавки. Анализ данных работы [2] показы-

вает, что максимальное удаление водорода достигается при выжигании 0,1-0,15 % C от исходного. Далее содержание водорода снижается менее интенсивно, и конечное его содержание зависит от влаги атмосферы, влажности применяемых шлакообразующих, ферросплавов и т.п. По мнению автора работы [2] содержание углерода в металле по расплавлению должно быть на 0,1 – 0,2% выше, чем в готовой стали. По мнению Годорова Р.П. и Пешева П.Ц. один из основных дефектов литья стали как ситовидная пористость не появляется в хорошо раскисленной стали даже при высоком содержании водорода [3]. Основным способом устранения этого дефекта является эффективное раскисление [3,4]. Таким образом, раскисление стали алюминием и наличие в ней остаточного алюминия оказывает решающее влияние на важнейшие показатели качества стали: механические свойства и ситовидную пористость [4]. В виду этого одна из основных задач окислительного периода по удалению водорода становится менее актуальной. Пониженного содержания водорода в изделиях для проката иликовки, позволяющего практически полностью исключить газонасыщенность металла, ведущие к флокенам, можно добиться только методами внепечной обработки (продувка аргоном и вакуумирование).

В этой связи становится малоцелесообразно в плавках для отливок выжигание большого содержания углерода из расплава, которая сопровождается окислением полезных примесей, кремния, марганца и хрома. Плавки производились в условиях на печи ДСП-1,5 с кислой футеровкой. Особенно интересные результаты получены при переплаве “возврата” низколегированных марок стали (40 ХЛ, 35 ХГСЛ) и др. Так например, при плавке без окисления (при содержании углерода 0,34 %) в расплаве имеется 0,46 % марганца. А при плавке с окислением углерода с 0,52 % до 0,35 % содержание марганца снижается с 0,34 % до 0,08 %.

При этом при использовании во второй плавке в качестве шлакообразующих известняка часть водорода еще и вносится шлакообразующими добавками. В этой связи считается целесообразно использование технологии с минимальным окислением углерода в процессе плавления и незначительного окислительного периода, максимальное использования шлака периода плавления. Часть водорода удаляется при окислении углерода окисленным шлаком периода плавления. При данной технологии обеспечивается минимальный угар полезных примесей, вследствие чего, расход ферросплавов на ряде плавков сокращается почти в двое, (в некоторых случаях присадка ферромарганца исключается полностью) при этом приемлемое перемешивание металла, которое является одной из основных задач окислительного периода все таки выполняется, вследствие того, что металл в печи в ряде случаев соответствует либо кипящему, либо полуспокойному (содержание кремния в металле до 0,11 %), что обеспечивает его достаточное перемешивание в объеме ванны печи.

Исключение длительного кипа, времени выдержек на экспресс-анализ сокращает значительно продолжительность всей плавки (до 1 ч и более).

Приемлемого качества отливок, помимо хорошего раскисления металла, также достигают проведением режимов термовременной обработки расплавов, при которой металл перегревают до температур 1680 – 1710 °С с выдержкой в пределах 10-15 мин перед сливом металла в ковш, что является эффективной термовременной обработкой и повышает качество отливок (проведение заключительной операции плавки: отбор пробы металла на хим. анализ, разделка выпускного отверстия и т.д.) [5-8]. Окончательное раскисление производят алюминием.

Достаточную плотность отливок с минимальным образованием раковин по причине газонасыщенности обеспечивают:

- 1) хорошим раскислением металла кремнием и алюминием;
- 2) минимизацией присадки в печь непрокаленных шлакообразующих, а также частичной дегазацией небольшим кипением, возникающим при взаимодействии расплава металла и шлаков периода плавления;
- 3) минимизацией присадки ферросплавов.

#### Библиографический список

1. Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А. Выплавка легированной стали в дуговых печах. М.Металлургия, 1987. – 136 с.

2. Крамаров А.Д. Производство стали в электропечах. ГНТИ ЧИЦМ Москва, 1958. – 439 с.

3. Тодоров Р.П., Пешев П.Ц. Дефекты в отливках из черных сплавов. М.Машиностроение, 1984. – 184 с.

4. Сойфер В.М., Кузнецов Л.Н. Дуговые печи в сталелитейном цехе. М.Металлургия, 1989. – 176 с.

5. Cheprasov A.I., Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Dolgopolov A.E., Mametov R.O. Detection of cold cracks in the cast-steels by the methods of ultrasonic and eddy-current infrared thermography//IOP conference series: Materials science and engineering. 2016. vol. 150. p. 1 -5 (012026).

6. Расчет технологических коридоров выплавки стали 20ГФЛ в дуговых электросталеплавильных печах / Д.В. Скопич, Е.А. Фатьянова, С.В. Князев, А.А. Усольцев, Р.О. Мамедов // *Металлургия: технологии, инновации, качество: Труды XIX международной научно-практической конференции, 15-16 декабря 2015 г.* – Новокузнецк: СИБГИУ, 2015. – ч. 1. - с. 166-173. – библиогр.: с. 173 (2 назв.). – режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

7. Antipenko V.I., Knyazev S.V. Diagnostics of steel castings production with the aid of technological pilot samples. soviet castings technology (english translation of liteinoeprozvodstvo), 1987, no. 7, p. 34.

8. Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Чепрасов А.И. Программно-аппаратный комплекс системы анализа дефектности отливок// *Прогрессивные технологии в современном машиностроении :Сборник статей XII международной научно-технической конференции. Под редакцией Е.А. Чуфистова. Пенза, 2017. с. 20-26.*

## РАЗРАБОТКА НОВОГО СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА

**Михно А.Р.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Рассмотрена возможность использования пыли газоочистки производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. Исследовано влияние соотношения пыли газоочистки производства силикомарганца и жидкого стекла на сварочно-технологические свойства флюса.

Ключевые слова: наплавка, флюсы, технология, пыль газоочистки производства силикомарганца

Использование техногенных отходов металлургического производства находит все большее применение при изготовлении сварочных флюсов. В данной работе рассмотрена возможность использования пыли газоочистки производства силикомарганца с жидким стеклом при различном соотношении для изготовления сварочных флюсов. В исследовании использовалась пыль газоочистки производства силикомарганца, мас. %: MnO-30,56 %, CaO-4,96 %, MgO-3,28 %, K<sub>2</sub>O-6,8 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-2,3%, Fe-1,12 %, SiO<sub>2</sub>-30,7 %, Na<sub>2</sub>O-1,07 %, BaO-0,11 %, P-0,025 %, S-0,102 %. Смешение пыли газоочистки производства силикомарганца с жидким стеклом проводили в соотношениях: 59/41, 62/38, 67/33.

Определено, что: 1) при введении 41 % жидкого стекла в пыль, смесь получилась «жидкой» с избытком жидкого стекла, 2) при введении 38% жидкого стекла, смесь получилась однородной. 3) при введении 33% жидкого стекла, смесь получилась «сухой». Для опытов в связи с этим использовалось соотношение 62/38. После смешения компонентов (жидкого стекла с пылью) осуществляли 24-часовую выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 300 °С. С дальнейшим охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракций 0,45-2,5мм и 0,2-0,45мм.

После изготовления флюса проводили наплавку под слоем флюса, на образцах 300×150мм толщиной 20мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АSAW-1250 на различных режимах и с использованием различной фракции флюса (таблица 1).

Таблица 1 – Режимы наплавки

Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч
520, 550	28	18
600	28	18, 25
650	28-35	25,28
680	28	18, 22, 28

Химический состав флюса и шлаковых корок приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав флюса (пыль газоочистки 62 %+ жидкое стекло 38 %) и шлаковых корок

	Массовая доля элементов, %															
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	CuO	PbO	TiO <sub>2</sub>
Флюс	0,70	29,84	4,74	45,09	2,95	1,89	5,10	3,85	0,49	0,041	0,54	0,027	0,95	0,015	1,51	0,24
Корка	4,30	29,33	4,55	42,40	2,78	1,69	5,27	3,97	0,51	0,037	0,46	0,039	0,80	0,023	1,31	0,25

*Выводы:*

- Подобран оптимальный состав связующего компонента при изготовлении флюса (62% жидкого стекла 38 % пыли газоочистки);
- Показана принципиальная возможность использования пыли газоочистки производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов.

УДК 621.791:624

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ БАРИЙ – СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА НА СВОЙСТВА СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА

**Айматов В.Г., Михно А.Р.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**  
*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

В данной работе продолжено изучение использования сварочного флюса на основе шлака силикомарганца и флюс добавки на основе барий – стронциевого модификатора. Изучено качество наплавленного металла: химический состав, микроструктура, неметаллические включения (силикаты недеформирующиеся, оксиды точечные, сульфиды).

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, наплавка, барий-стронциевый карбонатит, образцы, неметаллические включения.

В лабораторных условиях продолжали проводить исследования по изучению введения флюс добавки на основе барий – стронциевого модификатора во флюс на основе шлака силикомарганца [1, 2].

Изготовление флюс добавки проводили аналогично, как и в предыдущей работе [3].

Введение флюс добавки осуществляли по двум вариантам. По первому варианту (с жидким стеклом) добавку вводили в количестве 8,10 % (соответствующие образцы М8, М10). По второму варианту добавку (пыль) вводили в количестве 8,10 % (Соответствующие образцы М81, М101). Исследуемые соотношения флюса и флюс – добавки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исследуемые соотношения флюс – флюс - добавки, %

Маркировка флюса	Количество барий-стронциевой добавки, мас %.		Количество шлака производства силикомарганца, мас%
	С жидким стеклом	пылеобразной	
М8	8	-	92
М10	10	-	90
М81	-	8	92
М101	-	10	90

Наплавку производили на образцах размером 300×150 мм толщиной 20 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250 . Режим наплавки: сила тока 680А, напряжение 28В, скорость сварки 28м/ч

Химический составы флюсов, шлаковых корок, наплавленного слоя приведены в таблицах 2-4.

Таблица 2 – Химический состав флюса

флюс	Массовая доля элементов, %															
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	BaO	SrO	TiO <sub>2</sub>
М8	1,04	7,14	31,65	43,93	6,22	3,71	0,79	0,27	0,13	0,044	0,003	0,033	0,41	0,95	0,44	0,16
М10	2,08	7,09	30,16	43,90	7,17	3,58	0,62	0,20	0,12	0,027	0,011	0,039	0,34	1,45	0,60	0,13
М81	1,89	7,90	30,79	40,07	5,71	3,03	0,48	0,57	0,13	0,090	0,005	0,028	0,52	1,57	0,99	0,22
М101	1,01	7,22	31,62	44,99	6,71	3,29	0,40	0,32	0,14	0,061	0,003	0,021	0,40	2,97	1,11	0,15

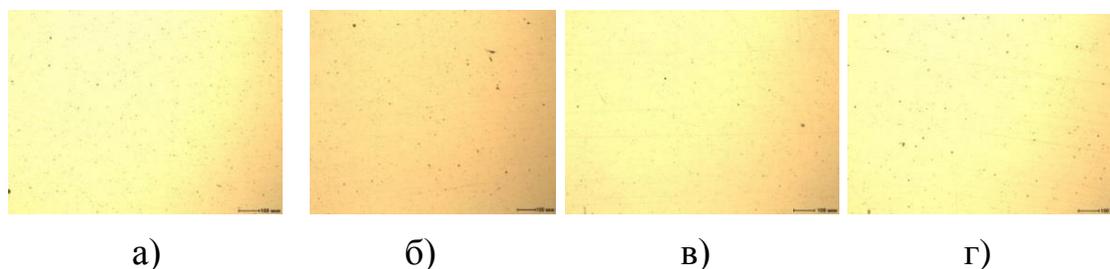
Таблица 3 – Химический состав шлаковых корок

флюс	Массовая доля элементов, %															
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	BaO	SrO	TiO <sub>2</sub>
М8	2,00	7,83	31,19	44,55	7,35	3,68	0,53	0,13	0,11	0,023	0,005	0,037	0,42	0,64	0,39	0,12
М10	1,12	7,16	30,60	44,90	6,48	3,10	0,84	0,32	0,14	0,047	0,013	0,026	0,56	1,52	0,58	0,16
М81	1,84	7,78	31,94	45,21	6,87	3,94	0,34	0,077	0,12	0,019	0,004	0,039	0,38	0,83	0,41	0,11
М101	2,04	7,36	31,25	44,43	7,50	3,75	0,38	0,20	0,12	0,030	0,003	0,035	0,48	1,03	0,54	0,14

Таблица 4 – Химический состав наплавленных валиков

	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Mo	Nb	S	P	Ba	Sr	
М8	0,04	0,41	1,28	0,05	0,08	0,13	0,001	0,01	0,012	0,013	0,011	0,0096	0,0010	
М10	0,04	0,36	1,20	0,05	0,08	0,12	0,001	0,01	0,010	0,014	0,012	0,0119	0,0011	
М81	0,05	0,41	1,25	0,04	0,08	0,13	0,003	0,01	0,011	0,013	0,011	0,0086	0,0005	
М101	0,04	0,41	1,26	0,04	0,08	0,13	0,001	0,01	0,011	0,012	0,011	0,0112	0,0006	

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении  $\times 100$ . Внешний вид неметаллических включений в зоне наплавленного валика, приведен на рисунке 1, оценка неметаллических включений, проведенная согласно ГОСТ 1778-70, приведена в таблице 4.



Образцы: а) М8, б) М10, в) М81, г) М101

Рисунок 1 - Неметаллические включения в зоне наплавленного слоя

Таблица 4 – Оценка загрязненности неметаллическими включениями в зоне наплавленного слоя

Образец	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные	сульфиды
М8	1б,2б	1а	отс.
М10	1б,2б, редко 3б	1а	1а
М81	1б,2б	1а	отс.
М101	1б,2б, редко 4б	1а	2б

#### *Выводы:*

1. Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого карбонатита в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

2. Определено, что оптимальным, с точки зрения степени загрязненности металла неметаллическими включениями, количества вредных примесей в наплавленном слое, является использование не более 8% барий - стронциевой добавки.

#### Библиографический список

1. Использование барий-стронциевого карбонатита при изготовлении сварочных флюсов на основе техногенных отходов металлургического производства / А. Р. Михно, Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, 23-25 ноября 2017 г. – Томск, 2017. – С. 49–55.

2. Разработка новых сварочных флюсов / А. О. Патрушев, У. И. Липатова, А. Д. Свистунов, В. Г. Айматов; науч. рук.: Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской

научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-18 мая 2017 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып. 21. – Ч. 2: Естественные и технические науки. – С. 250–252.

3. Использование барийстронциевого карбоната при изготовлении сварочных флюсов на основе шлака производства силикомарганца/ Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Бурнаков М.А., Михно А.Р., Федотов Е.Е.// *Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1*; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – С. 296-299.

УДК 621.791:624

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНЦА НА КАЧЕСТВО НАПЛАВКИ**

**Арикян С.А., Баранов П.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Рассмотрена возможность использования сварочного флюса на основе шлака силикомарганца и изучено влияние фракционного состава на качество наплавки под слоем флюса, изготовленного из шлака силикомарганца.

Исследовано влияние режимов наплавки и сварочно-технологических свойств флюсов на качество наплавки.

Ключевые слова: флюс, сварка, силикомарганец, шлак, фракция, наплавка.

Применению техногенных отходов металлургического производства при изготовлении сварочных флюсов уделяется все большее внимание. При производстве сплавов силикомарганца образуются отвалы ковшевые шлаки, с содержанием в целом соответствующим требованиям по химическому составу сварочным флюсам. Предварительные результаты опытной сварки показали перспективность использования таких шлаков для производства сварочных флюсов

В исследовании использовались флюсы от 2,5-5 мм и фракция 5-10 мм на основе шлака силикомарганца с химическим составом, мас. %, Mn O 6,0-10,0; CaO 29,0- 35,0; MgO 1,0-2,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6,0-9,0; SiO<sub>2</sub> 42,0-46,0.

Для проведения исследования, шлак силикомарганца рассеивали на различные фракции. После отсева и выделения фракции 2,5- 5 мм и фракции 5-10мм. Флюс сушили в печи при температуре 300 °С в течении 3-х часов. Далее проводили наплавку под слоем флюса, на образцах 300×150 мм толщиной 20 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой

Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250, на различных режимах и с использованием различной фракции флюса 2,5-5 мм и 5-10 мм. (таблица 1)

Таблица 1 – Режимы наплавки

№ образца	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки,
Фракция 2,5-5мм			
1	600	28	30
2	650	35	30
3	700	28	30
4	700	35	30
Фракция 5-10мм			
1	600	26	30
2	650	35	30
3	700	28	30
4	700	35	30

Исходя из результатов наплавки наиболее подходящими режимами наплавки были выбраны следующие режимы:

- для фракции от 2,5-5 мм: 1) 600А-28В-30 см/мин.; 3) 700А-28В-30 см/мин.

- для фракции от 5-10 мм: 1) 600А-26В-30 см/мин, 3)700А-28В-30

Внешний вид наплавленных валиков на фракции от 2,5-5 мм приведен на рисунке 1.



а)



б)



в)



г)

а) образец №1; б) образец № 2; в) образец № 3; г) образца № 4.

Рисунок 1- Наплавленный валик образцов из фракции 2,5-5мм

Внешний вид наплавленных валиков на фракции от 5-10мм приведен на рисунке 2.



а) образец №1; б) образец № 2; в) образец № 3; г) образца № 4;  
 Рисунок 2 – Наплавленный валик образцов из фракции 5-10мм

*Выводы:*

При проведении лабораторных условия было выявлено следующее:

- Исходя из различного состава фракции флюса наиболее подходящим для наплавки является фракция 2,5-5 мм, обеспечивающая равномерную наплавку валика по сравнению с фракцией 5-10 мм.

- Наиболее подходящим режимом для наплавки является режим сила тока 700А, напряжение 28В, скорость сварки 30 м/ч, обеспечивающий равномерную наплавку валика с отсутствием дефектов (поры, раковины, трещины).

Библиографический список

1. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Липатова У.И. Использование барий-стронциевого карбоната при сварке под флюсом. // Сварочное производство. 2017. №6. с.11-16.

2. Крюков Н.Е., Козырева О.Е., Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Усольцев А.А. Производство новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца. // Сварочное производство. 2017. №5. с.42-48.

3. Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Козырева О.Е., Липатова У.И. Новые сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца для наплавки и сварки перекрытий и оснований шахтной клетки. // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. №3. с.140-147.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНА И КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА

**Кислов А.И., Михно А.Р.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.,  
д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

В работе приведены методика и способ изготовления сварочного флюса на основе отходов производства шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака. Экспериментальными исследованиями показана принципиальная возможность использования данных материалов при изготовлении сварочных флюсов

Ключевые слова: наплавка, сварочные флюсы, техногенные отходы, шлак силикомарганца, ковшевой электросталеплавильный шлак, микроструктура, неметаллические включения.

В данной работе рассмотрена возможность использования шлака силикомарганца производства ЗападноСибирского металлургического завода с химическим составом, мас. %:  $Al_2O_3$  6,91-9,62%, CaO 22,85-31,70 %,  $SiO_2$  46,46-48,16 %, FeO 0,27-0,81 %, MgO 6,48-7,92 %, MnO 8,01-8,43%, F 0,28-0,76%,  $Na_2O$  0,26-0,36%  $K_2O$  до 0,62 %, S 0,15-0,17 %, P 0,01 %. С флюс – добавкой на основе ковшевого электросталеплавильного шлака.

Изготовление флюс – добавки проводили следующим образом: ковшевой электросталеплавильный шлак фракции менее 0,2мм. смешивали с жидким стеклом в соотношении 62% и 38% соответственно. После чего осуществляли 24-часовую выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 350 °С, далее смесь охлаждалась, дробилась и просеивалась с выделением фракции 0,45-2,5мм. Химический состав флюс – добавки, мас. %: FeO - 0.84; MnO – 0.06; CaO – 35.47;  $Al_2O_3$  – 4.71; MgO – 5.01;  $Na_2O$  – 1.92;  $K_2O$  - 0.11; S – 0.98; P – 0.013  $Cr_2O_3$  - 0.04; TiO – 0.33.

После изготовления флюс - добавки проводили смешения с основным флюсом (шлак силикомарганца). Состав флюса приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав флюса, %

Маркировка флюса	Шлак силикомарганца (SiMn)	Белый шлак
90	100%	0%
91	95%	5%
92	90%	10%

Продолжение таблицы 1

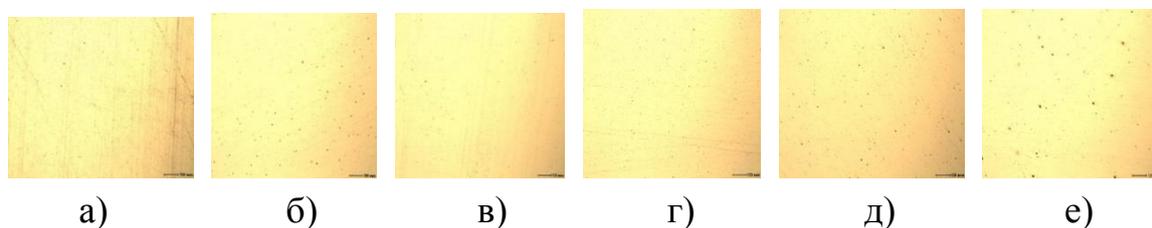
Маркировка флюса	Шлак силикомарганца (SiMn)	Белый шлак
93	80%	20%
94	70%	30%
95	50%	50%

Химический состав наплавленного металла приведён в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав наплавленных валиков

	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
90	0,07	0,43	1,16	0,05	0,11	0,14	отс	0,007	0,021	отс	0,003	0,019	0,012
91	0,04	0,44	1,30	0,04	0,08	0,13	0,001	0,002	0,01	0,002	0,010	0,019	0,012
92	0,04	0,42	1,30	0,04	0,09	0,13	0,001	0,003	0,01	отс	0,010	0,024	0,011
93	0,04	0,41	1,22	0,04	0,09	0,13	отс	0,001	0,01	отс	0,11	0,031	0,010
94	0,04	0,38	1,25	0,04	0,08	0,13	отс	0,002	0,01	отс	0,011	0,033	0,009
95	0,04	0,35	1,22	0,04	0,09	0,12	отс	отс	0,01	отс	0,011	0,036	0,008

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении  $\times 100$ . Внешний вид неметаллических включений в зоне наплавленного валика, приведен на рисунке 3, оценка неметаллических включений, проведенная согласно ГОСТ 1778-70, приведена таблице 5.



а) б) в) г) д) е)

Образцы: а) 90; б) 91; в) 92; г) 93; д) 94; е) 95

Рисунок 3 - Неметаллические включения в зоне наплавленных образцов

Таблица 5 – Неметаллические включения в зоне сварных швов

Образец	Неметаллические включения, балл	
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные
90	1б,2б	1а
91	2б,1б	2а,1а
92	1б,2б	1а,2а
93	1б, редко 2б	1а
94	1б, редко 2б	1а
95	2б,3б, редко 4б	1а,2а

### *Выводы:*

1. В проведенных исследованиях было показано возможность использования техногенных отходов металлургического производства таких как шлак производства силикомарганца и белого ковшевого электросталеплавильного шлака

2. Было выявлено, что при увеличении флюс – добавки больше 20% качество наплавки ухудшается, возрастает количество неметаллических включений, увеличивается содержание серы.

### Библиографический список

1. Использование техногенных отходов металлургического производства для получения сварочных флюсов/ Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Князев С.В., Чинин Н.А.// Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 ;Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – С. 267-271

2. Разработка новых сварочных флюсов с использованием ковшевого электросталеплавильного шлака и барийстронциевого модификатора/ Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р., Уманский А.А.// Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 ;Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – С. 288-292.

3. Использование барий-стронциевого карбонатита при изготовлении сварочных флюсов на основе техногенных отходов металлургического производства / А. Р. Михно, Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, 23-25 ноября 2017 г. – Томск, 2017. – С. 49–55.

УДК 621.791:624

## **РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ СИЛИКОМАРГАНЦА**

**Непомнящих А.С., Свистунов А.Д, Белов Д.Е., Симонова Д.Е.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,*

*г. Новокузнецк, e-mail: Kozurev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Утилизация отходов металлургического производства в качестве компонентов для изготовления сварочных материалов широко используется в РФ и за рубежом. В данной работе рассмотрена возможность использования пыли газоочистки алюминиевого производства и пыли газоочистки силико-

марганца в качестве компонентов порошковых проволок.

Ключевые слова: наплавка, углеродфторсодержащая добавка, порошковая проволока.

В опытах использовали пыль газоочистки алюминиевого производства мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $Si_2O = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ;  $C_{общ} = 12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,1-0,18$  и пыль газоочистки силикомарганца, мас. %:  $Al_2O_3 = 2,43$ ;  $Na_2O = 1,32$ ;  $K_2O = 5,56$ ;  $CaO = 6,4$ ;  $SiO_2 = 29,19$ ;  $BaO = 0,137$ ;  $MgO = 7,54$ ;  $S = 0,23$ ;  $P = 0,04$ ;  $Fe = 1,067$ ;  $Mn = 27,69$ ;  $Zn = 2,687$ ;  $Pb = 3,833$ .

Наплавку проводим под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского металлургического завода с химическим составом:  $Al_2O_3 = 6,91-9,62\%$ ,  $CaO = 22,85-31,70\%$ ,  $SiO_2 = 46,46-48,16\%$ ,  $FeO = 0,27-0,81\%$ ,  $MgO = 6,48-7,92\%$ ,  $MnO = 8,01-8,43\%$ ,  $F = 0,28-0,76\%$ ,  $Na_2O = 0,26-0,36\%$ ,  $K_2O = 0,62\%$ ,  $S = 0,15-0,17\%$ ,  $P = 0,01\%$ .

Изготовление проволоки проводили на лабораторной установке по изготовлению порошковых проволок после смешения пыли газоочистки в заявляемых пределах. Наплавку проводили под флюсом с использованием сварочного трактора ASAW – 1250. Эксперименты проводили на стальных пластинах толщиной 14-16 мм размером 100x500 мм. Получен следующий оптимальный режим наплавки: сила тока 520А, напряжение 28В, скорость сварки 18 м/ч и следующие параметры порошковых проволок (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры порошковых проволок

№	MnO		CF		Общая масса, г	Масса оболочки, г	Масса порошка, г	Коэфф. заполнения, %	Коэфф. Усвоения марганца, %
	г	%	г	%					
1	100	89,89	11,25	10,11	19,759	18,333	1,426	7,217	73
2	100	81,63	22,5	18,37	17,816	16,523	1,293	7,258	82
3	100	74,77	33,75	25,23	18,975	17,735	1,240	6,535	88
4	100	68,96	45	31,04	19,510	18,501	1,009	5,172	126
5	100	59,70	67,5	40,3	19,089	17,983	1,106	5,794	124
6	100	50	100	50	19,428	18,082	1,346	6,928	124

В лабораторных условиях были проведены исследования химического состава шлаковых корок и химический состав наплавленного слоя металла (таблицы 2 и 3).

Таблица 2 – Химический состав наплавленного слоя металла

Маркировка	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,08	0,38	1,31	0,03	0,08	0,11	0,001	0,003	0,02	0,001	0,006	0,079	0,017
2	0,08	0,57	1,35	0,05	0,06	0,19	отс.	0,004	отс.	0,052	0,012	0,074	0,014
3	0,08	0,40	1,19	0,04	0,07	0,010	отс.	отс.	отс.	0,011	0,009	0,063	0,015
4	0,09	0,49	1,25	0,03	0,08	0,09	0,001	0,003	0,01	0,011	0,006	0,076	0,017
5	0,16	0,46	1,19	0,02	0,07	0,07	0,001	0,003	0,01	0,011	0,006	0,073	0,016
6	0,22	0,50	1,19	0,03	0,07	0,07	0,001	0,003	0,01	0,006	0,006	0,083	0,014

Таблица 3 – Химический состав шлаковых корок

Маркировка	Массовая доля элементов, %													
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	F	TiO <sub>2</sub>
1	1,80	8,37	29,95	43,65	7,27	5,30	0,39	0,16	0,17	0,010	0,040	0,048	0,63	0,07
2	2,25	8,16	30,05	44,45	7,70	5,47	0,39	0,13	0,14	0,012	0,038	0,059	0,62	0,06
3	1,77	8,13	30,17	43,84	7,51	5,17	0,37	0,07	0,17	0,011	0,014	0,050	0,62	0,08
4	2,75	7,52	31,62	43,12	7,56	5,33	0,30	0,09	0,15	0,011	0,012	0,053	0,47	0,08
5	2,11	7,93	30,57	42,95	8,41	5,58	0,46	0,08	0,18	0,011	0,016	0,043	0,77	0,07
6	2,11	7,75	30,30	42,47	8,47	5,42	0,46	0,05	0,17	0,011	0,011	0,036	0,83	0,07

На рисунках 1 и 2 показаны графики зависимости усвоения марганца от коэфф. заполнения и углеродфторсодержащей добавки

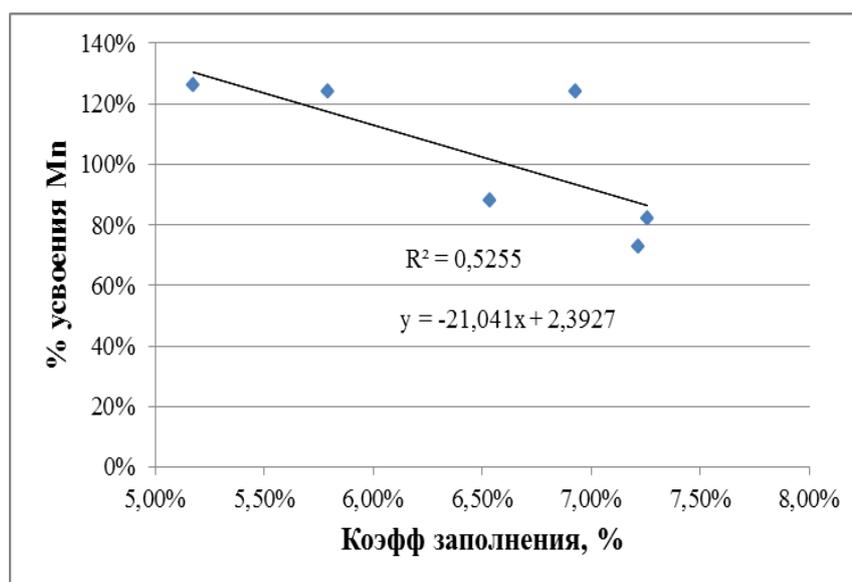


Рисунок 1 – График зависимости % усвоения марганца от коэффициента заполнения

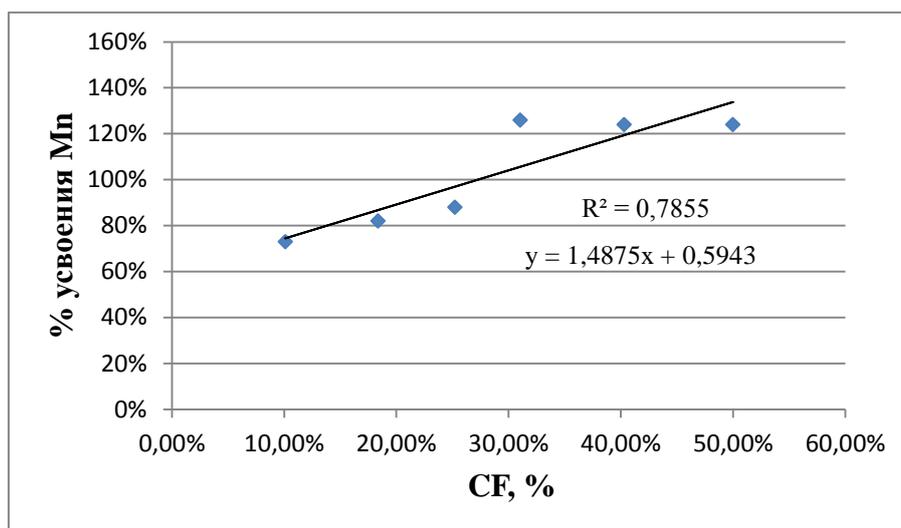


Рисунок 2 – График зависимости % усвоения марганца от углеродфторсодержащей добавки

*Вывод:* показана принципиальная возможность изготовления порошковой проволоки для наплавки, определены оптимальные режимы наплавки для каждой из порошковых проволок, изучены качественные показатели и рассчитаны коэффициенты усвоения марганца при различных соотношениях

УДК 621.791:624

## РАЗРАБОТКА СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА

**Накаев Н.Д., Елисеев Е.В.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Рассмотрена возможность использования нового сварочного флюса на основе шлака силикомарганца для сварки. Исследовано влияние сварочно-технологических свойств флюса на основе шлака силикомарганца на качество сварного шва.

Ключевые слова: сварка, наплавка, флюсы, технология, шлак, силикомарганец.

Использование техногенных отходов металлургического производства находит все большее применение при изготовлении сварочных флюсов [1]. В данной работе рассмотрена возможность использования сварочного флюса на основе шлака силикомарганца различной фракции. Химический состав сварочного флюса на основе шлака силикомарганца представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сварочного флюса на основе шлака силикомарганца

Компоненты	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Содержание, %	6.0-10.0	29.0- 35.0	1.0-2.0	6.0-9.0	42.0-46.0

В лабораторных условиях проводили рассев флюса на различные фракции, с помощью лабораторных сит.

После просева флюс сушили в печи при температуре 300 °С в течении 2-х часов. Далее проводили наплавку под слоем флюса, на образцах 300×150мм толщиной 20 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АSAW-1250 на различных режимах и с использованием различной фракции флюса.

Определено, что:

1) при сварке под фракцией от 0-2,5 мм производили наплавку при следующих режимах от 600-700 А, от 26- 35 В, от 26-35 м/ч. Самыми худшими режимами оказались 700А-35В-35м/ч и 680А-35В-35м/ч (рисунок 1 а, б) присутствовало обильное количество пор, кратеров, нарушение формы валика.

Лучшими режимами оказались 700А-28В-28 м/ч и 700А-26В-30 м/ч (рисунок 2 а, б) отлично сохранилась геометрия формы валика, отсутствие пор, кратеров.



Рисунок 1 – Внешний вид валика при режимах сварки 700А-35В-35 м/ч и 680А-35В-35 м/ч

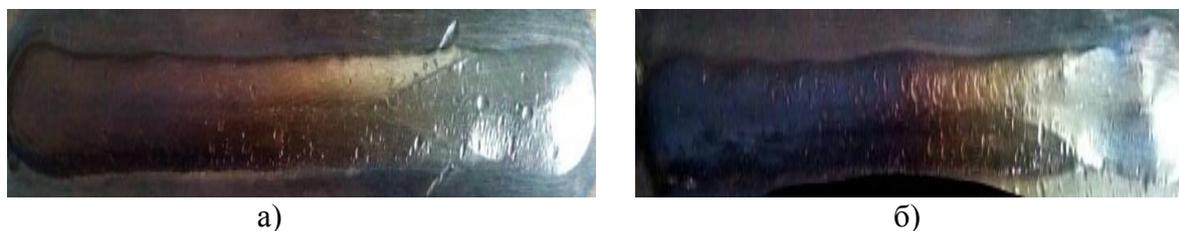


Рисунок 2 – Внешний вид валика при режимах сварки 700А-28В-28 м/ч и 700А-26В-30 м/ч

2) при сварке под фракцией от 0,45-2,5 мм производили наплавку при следующих режимах от 600-700 А, от 26- 35 В, от 26-35 м/ч. Самыми худшими режимами оказались 680А-26В-26 м/ч и 680А-26В-30 м/ч (рисунок 3 а,

б) присутствовало обильное количество пор, не проваров, наплыв, нарушение формы валика.

Лучшими режимами оказались 700А-30В-30м/ч и 700А-32В-35м/ч (рисунок 4 а, б), отлично сохранилась геометрия формы валика, отсутствие пор, не проваров, кратеров и наплывов.



Рисунок 3 – Внешний вид валика при режимах сварки 680А-26В-26м/ч и 680А-26В-30м/ч



Рисунок 4 – Внешний вид валика при режимах сварки 700А-30В-30м/ч и 700А-32В-35м/ч

#### *Выводы:*

- Подобраны рабочие режимы сварки под сварочным флюсом на основе шлака производства силикомарганца;
- Показана принципиальная возможность использования шлака производства силикомарганца для получения сварочных флюсов.

#### Библиографический список

1. Использование техногенных отходов металлургического производства для получения сварочных флюсов. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Князев С.В., Чинин Н.А.//Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции: в 2 частях. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк: Изд.центр СибГИУ, 2017. С. 267-271.

## ТЕХНОЛОГИЯ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ 35В9Х3СФ

Денисов П.А., Кашин С.С.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Изучена возможность изготовления порошковой проволоки марки 35В9Х3СФ с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства и аморфного графита.

Ключевые слова: наплавка, углеродфторсодержащая добавка, аморфный графит, порошковая проволока, неметаллические включения, микроструктура.

В данной работе рассмотрена возможность использования пыли газоочистки алюминиевого производства и аморфного графита в качестве компонентов порошковых проволок. В опытах использовали пыль газоочистки алюминиевого производства мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $Si_2O = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ;  $C_{общ} = 12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,1-0,18$  и аморфный графит ГЛС-1 ГОСТ 17022-81.

Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силико-марганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода с химическим составом, мас. %:  $Al_2O_3$  6,91-9,62%,  $CaO$  22,85-31,70 %,  $SiO_2$  46,46-48,16 %,  $FeO$  0,27-0,81 %,  $MgO$  6,48-7,92 %,  $MnO$  8,01-8,43%,  $F$  0,28-0,76%,  $Na_2O$  0,26-0,36%  $K_2O$  до 0,62 %,  $S$  0,15-0,17 %,  $P$  0,01 %.

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях изготовлены образцы порошковой проволоки, составы приведены в таблице 1.

Таблица 1- Состав шихты для порошковых проволок

Номер образца	Марка порошковой проволоки	Состав	Диаметр проволоки, мм
403	35В9Х3СФ	Углерод фторсодержащий материал (CF)	6
404	35В9Х3СФ	Аморфный графит	6

Изготовление порошковой проволоки проводили следующей по схеме: взвешивали элементы порошков на электронных весах марки SHIMADZU модели AUX120. Далее производилось смешивание элементов каждого из образцов в отдельности. Затем заготовка с порошком протягивается роликами через калибровочную доску с втулкой (фильером), изготовленной из

твердого сплава, сворачиваясь при этом в трубку. Наплавка образцов производилась на сварочном тракторе марки ASAW-1250, с использованием стальных пластин толщиной 14-16мм размером 100x500 мм. Получены следующие оптимальные режимы наплавки (таблица 2).

Таблица 2 – Оптимальные режимы наплавки для проволок

Маркировка	Сила тока, А	Напряжение, V	Скорость наплавки, м/ч
403	650	35	25
404	620	30	25

В результате научно-исследовательской работы был подобран оптимальный режим наплавки для порошковой проволоки марки 35В9Х3СФ с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства и аморфного графита.

УДК 621.791:624

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

**Кашин С.С., Денисов П.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Изучена возможность изготовления порошковой проволоки марки 25Х5ФМС с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства и аморфного графита.

Ключевые слова: наплавка, углеродфторсодержащая добавка, аморфный графит, порошковая проволока, неметаллические включения, микроструктура.

В данной работе рассмотрена возможность использования пыли газоочистки алюминиевого производства и аморфного графита в качестве компонентов порошковых проволок. В опытах использовали пыль газоочистки алюминиевого производства мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $Si_2O = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ;  $C_{общ} = 12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,1-0,18$  и аморфный графит ГЛС-1 ГОСТ 17022-81.

Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силико-марганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода с химическим составом, мас. %:  $Al_2O_3$  6,91-9,62%,  $CaO$  22,85-31,70 %,  $SiO_2$  46,46-48,16 %,  $FeO$  0,27-0,81 %,  $MgO$  6,48-7,92 %,  $MnO$  8,01-8,43%,  $F$  0,28-0,76%,  $Na_2O$  0,26-0,36%  $K_2O$  до 0,62 %,  $S$  0,15-0,17 %,  $P$  0,01 %.

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях изготовлены образцы порошковой проволоки, составы приведены в таблице 1.

Таблица 1- Состав шихты для порошковых проволок

Номер образца	Марка порошковой проволоки	Состав	Диаметр проволоки, мм
401	25X5ФМС	Углерод фторсодержащий материал (CF)	6
402	25X5ФМС	Аморфный графит	6

Изготовление порошковой проволоки проводили следующей по схеме: взвешивали элементы порошков на электронных весах марки SHIMADZU модели AUX120. Далее производилось смешивание элементов каждого из образцов в отдельности. Затем заготовка с порошком протягивается роликами через калибровочную доску с втулкой (фильером), изготовленной из твердого сплава, сворачиваясь при этом в трубку. Наплавка образцов производилась на сварочном тракторе марки ASAW-1250, с использованием стальных пластин толщиной 14-16мм размером 100x500 мм. Получены следующие оптимальные режимы наплавки (таблица 2).

Таблица 2 – Оптимальные режимы наплавки для проволок

Маркировка	Сила тока, А	Напряжение, V	Скорость наплавки, м/ч
401	620	35	25
402	620	35	30

В результате научно-исследовательской работы был подобран оптимальный режим наплавки для порошковой проволоки марки 25X5ФМС с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства и аморфного графита.

УДК 625.143.48

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ**

**Шевченко Р.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Описана современная технология сварки железнодорожных рельсов электроконтактным способом. Предложен новый способ электроконтактной сварки железнодорожных рельсов, позволяющий получать необходимую

структуру после сварки. Данная технология позволит повысить качество сварных рельсовых плетей и увеличить срок их эксплуатации.

Ключевые слова: сварное соединение, элеткроконтактная сварка, изотермический распад аустенита, термообработка, структура рельсовой стали.

В работе [1] проведено исследование процесса контактной стыковой сварки оплавлением рельсов на оборудовании компании Shlatter, стационарной рельсосварочной машине GAA 100. Получены термические циклы сварки рельсов с помощью термопар установленных на образце рельса конденсаторной сваркой. На рисунках 1 и 2 показаны термические циклы в точках P<sub>10</sub>, P<sub>11</sub>, P<sub>12</sub> и P<sub>13</sub>. Точка P<sub>10</sub> находится ближе всех к плоскости оплавления, на расстоянии 2 мм от нее, точка P<sub>11</sub> на расстоянии 16 мм, P<sub>12</sub> – 25 мм и P<sub>13</sub> – 45 мм. Все точки располагаются на головке рельса.

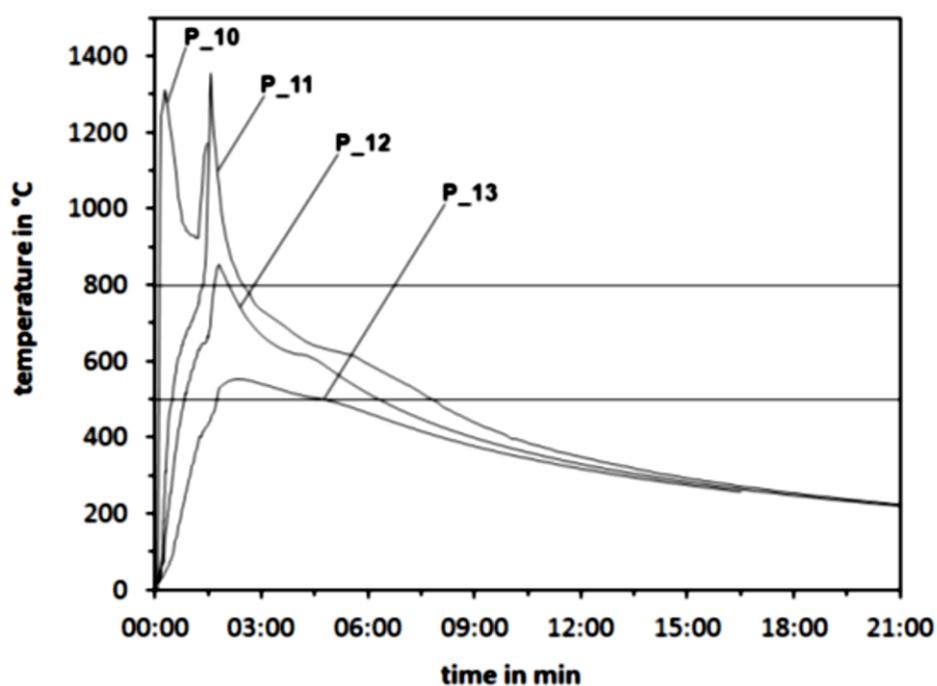


Рисунок 1 – T (t) всего процесса сварки в точках P10, P11, P12 и P13 на головке рельса

Процесс разделяют на три этапа. Первый этап – разогрев свариваемых поверхностей, второй этап – фактическая сварка, третий этап – охлаждение сварного соединения. Первый этап разогрева в свою очередь делят еще на три этапа: 1. «намеренное оплавление», 2. «предварительное нагревание» и 3. «оплавление». Второй этап фактической сварки является осадкой под током. Во время последнего третьего этапа после сварки применяется термообработка подобно предварительному подогреву для снижения скорости охлаждения после сварки – производят пропускание электрического тока через сварной стык несколькими импульсами.

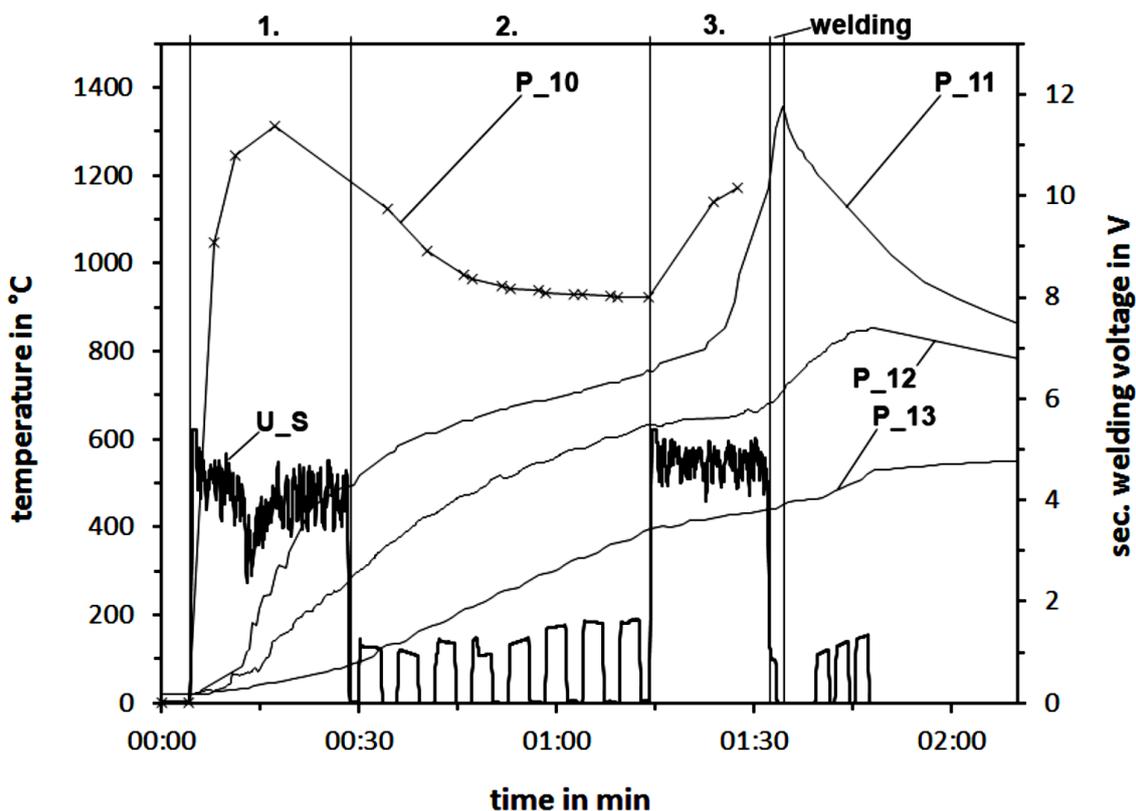


Рисунок 2 –  $T(t)$  и  $U_s(t)$  на этапе нагрева в точках P10, P11, P12 и P13

Из термических циклов, показанных на рисунке 2, ясно что данные импульсы тока предназначены лишь для снижения скорости охлаждения. Это необходимо для того что бы избежать образование закалочных структур в металле сварного соединения.

Предлагается способ, который заключается в том, что после осадки и охлаждения сварного стыка в момент достижения необходимой температуры удерживается заданная температура, путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык [2]. Температура выдержки выбирается исходя из получения более мелкодисперсной структуры металла шва (рисунок 3). Время выдержки определяется инкубационным периодом образования необходимой структуры и регулируется количеством импульсов тока.

В процессе охлаждения стали в аустенитном состоянии (из области высоких температур) превращение аустенита происходит только после его переохлаждения ниже эвтектоидной температуры  $Ar_1 = 727 \text{ }^\circ\text{C}$ , что объясняется изменением свободной энергии фаз и структур сплавов при нагреве и охлаждении.

При низких температурах меньшим запасом свободной энергии обладает перлит по сравнению с аустенитом, поэтому при переохлаждении стали аустенит превращается в пластинчатый перлит (ферритно-цементитиую смесь). Чем больше степень переохлаждения аустенита, тем мельче образуемая из него ферритно-цементитная смесь. Полученные перлитные структуры зависят от температуры.

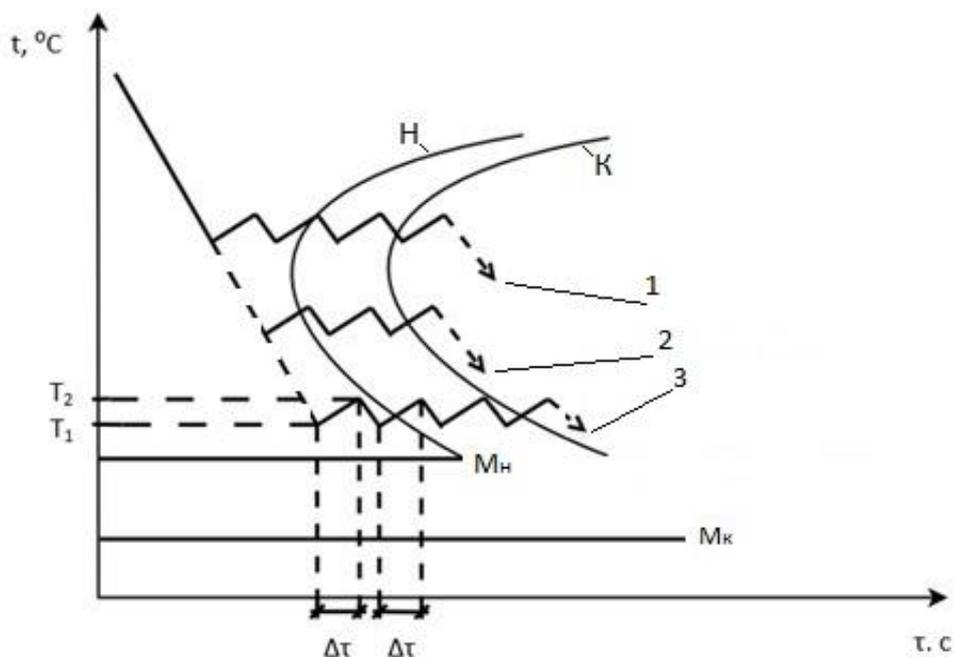


Рисунок 3 – Схема изотермического распада аустенита с различными режимами термообработки заготовки после сварки для получения структуры перлита (1), сорбита (2) или бейнита (3)

При малой степени переохлаждения аустенита в интервале температур  $727 - 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$  получается перлит. При большей степени переохлаждения в интервале температур  $650-600 \text{ }^{\circ}\text{C}$  после превращения аустенита образуется сорбит (более мелкая, чем перлит, пластинчатая ферритно-цементитная смесь). При еще больших степенях переохлаждения в интервале температур  $600-500 \text{ }^{\circ}\text{C}$  получают троостит (более тонкопластинчатая ферритно-цементитная смесь по сравнению с сорбитом) [3].

#### Библиографический список

1. Temperature field evolution during flash-butt welding of railway rails/ L. Weingrill, J. Krutzler , N. Enzinger // Materials Science Forum, Volume 879, pp 2088-2093, May 2016 || doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.879.2088
2. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов / Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, П. Е. Шишкин, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, – 2016. – № 37. – С. 175 - 180.
3. Скугорова Л.П. Материалы для сооружения газонефтепроводов и хранилищ: уч. пособие/ Л. П. Скугорова. – М.: Недра, 1989. – 344 с.

## **АЛЮМИНОТЕРМИТНАЯ СВАРКА РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ**

**Ознобихина Н.В., Соколов Б.М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Рассмотрена целесообразность применения алюминотермитной сварки железнодорожных рельсов.

Ключевые слова: рельсовые стыки, стрелочные переводы, сварка, термитная смесь, алюмотермия, дефекты.

На железных дорогах Российской Федерации при сварке плетей в длинные и сверх длинные плети наиболее часто применяют алюминотермитный и электроконтактный способы [1].

В середине XX в. стыковая контактная сварка вытеснила алюминотермитную. В настоящее время алюминотермитная сварка получила своё второе рождение, в первую очередь, при соединении рельсов в районе стрелочных переводов, так как контактные машины по ряду причин не могут быть применены в этих местах. В их числе невозможность подсоединения захватов контактных машин в ряде стыков стрелочного перевода и невозможность в стрелочном переводе сделать петлю из рельсов, требуемую при контактной сварке.

В связи с массовым внедрением в России стрелочных переводов на железобетонных шпалах, крайне актуальными становятся вопросы содержания стыков в пределах стрелочных переводов из-за повышенной, по сравнению с деревянными шпалами, жесткости подрельсового основания. Изменения продольных сил на концевых участках могут приводить к недопустимому раскрытию зазора или к ошибкам в определении величины продольной силы при закреплении рельсовых плетей бесстыкового пути. Радикальной мерой здесь может быть ликвидация концевых участков сваркой. Проведенные в последнее время исследования по совершенствованию конструкции отечественных стрелочных переводов привели к разработке и внедрению новых переводов, предназначенных для путей 1 и 2 классов. Это скоростные стрелочные переводы типа Р-65, позволяющие их эксплуатацию со скоростями движения пассажирских поездов до 200 км/час по прямому пути. Однако, эффект от усовершенствованных конструкций стрелочных переводов будет существенно увеличен (да и возможен) лишь при ликвидации рельсовых стыков не только внутри стрелочного перевода, но и на примыкающих участках бесстыкового пути. И здесь алюминотермитная сварка просто незаменима [2].

Алюминотермитная сварка рельсов выполняется на всех типах стрелочных переводов на железобетонных шпалах. Кроме того, этот вид сварки, наряду с электроконтактной, применяется для окончательного восстановле-

ния лопнувшей бесстыковой плети или вваривании в неё взамен временной рельсовой рубки рельсовой вставки длиной 12,5 м. Общая организация работ по сварке рельсов включает подготовительные и основные работы. Подготовительные работы ставят своей целью контроль качества сварки конкретной партией термита. Этот предварительный этап осуществляется на рельсосварочном предприятии. Основные работы выполняются в «окна» различной продолжительности в зависимости от количества свариваемых стыков.

При алюминотермитной сварке расплав вытекает из тигля в огнеупорные формы, обрамляющие определенной ширины зазор между рельсами, проплавляет их концы и кристаллизуется, тем самым сваривая рельсы друг с другом. При этом металл сварного шва составляет термитная сталь, а шлак, как более легкий материал, локализуется в верхней части форм вне зоны шва [3].

Термит, употребляемый для сварки рельсов, изготавливается из железной окалины – отходов сталепрокатного производства и металлического алюминия. Их размельчают до получения зёрен диаметром от 0,1 до 2,5 мм. Первичный алюминий должен содержать не менее 98–99 % чистого алюминия. Перед размолом окалина должна быть хорошо обожжена с целью удаления из неё влаги и масла.

Пыль из размельчённой окалины и алюминия удаляется воздушным сепаратором. Окалина по своему химическому составу различна. Чем меньше в окалине кремния, тем она лучше для получения сварочного термита. Содержание в окалине кислорода не должно быть ниже 25 %. Железо с кислородом может образовать три окисла: FeO – закись железа; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – окись и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – закись-окись. При нормальных условиях составляющие термитной смеси не вступают во взаимодействие, но если термитную смесь подогреть до 1100–1200 °С, то между её компонентами начинается химическая реакция. В результате этой реакции металлический алюминий соединяется с кислородом окалины и превращается в окись алюминия, а окалина, отдавая кислород алюминию, превращается в железо.

В соответствии с правилом С.Ф. Жемчужного, для нормального течения алюминотермитического процесса необходимо, чтобы количество тепла, выделяющегося при реакции на один грамм шихты, было не менее 550 калорий [4, 5].

Эта реакция идёт с большим выделением тепла, поэтому если она уже началась, то далее продолжается произвольно, нарастающими темпами и прекратить её невозможно – она неуправляемая. Химическая реакция выражается следующим образом [4, 5]:



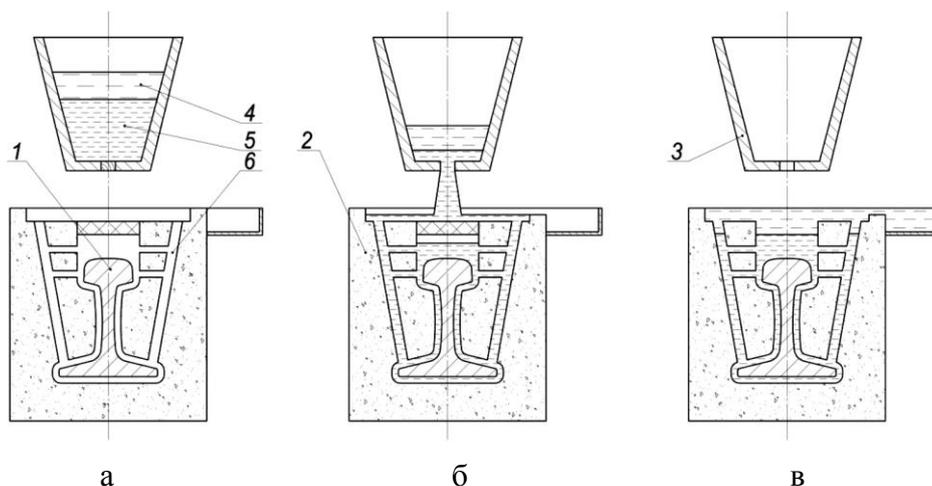
Термитная смесь содержит по весу 23,7 % алюминия и 76,3 % окалины. При сгорании 1,0 кг термитной смеси выделяется 762 ккал тепла, что

позволяет получить температуру разогретого металла порядка 2700-3000 °С.

Окалина и алюминий могут содержать различные примеси. Поэтому процент содержания алюминия и окалины в термитной смеси рассчитывается с учётом чистоты алюминия и содержания кислорода в окалине. Практика термитной сварки показала, что окалины в термитной смеси должно быть на 7–8 % больше расчётного содержания. Тогда термитный металл получается плотнее и лучше сваривается с металлом рельса.

Чтобы лучше использовать образующееся при реакции тепло и увеличить выход металла, в термитную смесь для сварки рельсов при изготовлении добавляют мелко измельчённые кусочки стали – отходы гвоздильного производства. При расплавлении сталь увеличивает выход термитного металла и понижает начальную температуру продуктов реакции термита. В зависимости от веса порции термита в термитную смесь добавляют этих отходов (называемых обсежкой) от 12 до 20 % к весу предполагаемого выхода термитного металла. Для улучшения механических свойств металла сварного шва в термитную смесь вводят ферросплавы, в большинстве случаев ферромарганец, ферросилиций, ферромolibден, ферротитан, феррованадий. Ферросплавы обуславливают получение термитного металла с механическими свойствами, близкими к металлу свариваемых рельсов.

Для сварки рельсов в настоящее время применяется способ промежуточного литья (рисунок 1) [7], при котором из продуктов термитной реакции используется только расплавленный металл 5 без шлака 4 [4, 5].



а – плавление термитной смеси; б – заливка расплавленной термитной смеси в форму;  
в – кристаллизация сварного шва

1 – рельс, 2 – форма, 3 – тигель, 4 – расплавленный шлак,  
5 – расплавленный металл, 6 – литник

Рисунок 1 - Схема алюминотермитной сварки рельсов способом промежуточного литья

Жидкий металл является одновременно источником тепла и присадочным материалом, соединяющим концы рельсов 1. Свариваемые концы рель-

сов при этом способе устанавливаются с зазором  $25\pm 1$  мм и заключаются в соответствующие для данного способа сварки формы 2. Для сжигания термита при сварке способом промежуточного литья применяется конический тигель 3 с выпускным отверстием в дне. Расплавленный металл заливается из тигля в форму и заполняет оставленный между торцами рельсов зазор, начиная с подошвы рельсов, куда попадает через специальный литник 6. Постепенно заполняя зазор и свободное пространство между рельсами и стенками формы, металл вызывает расплавление соприкасающихся с ним стенок рельсов, а, застывая, образует с рельсами одно целое – сварное соединение. Вытекающий из тигля за металлом шлак стекает по жёлобу, оставляя над металлом лишь слой небольшой толщины.

Этот слой шлака предохраняет термитный металл от быстрого остывания, чем способствует более свободному выделению газов из жидкого металла и получению более плотного металла.

Дефекты в рельсовых стыках, сваренных термитом, возникают при нарушении технологии. Поскольку алюминотермитная сварка является ручным процессом, огромное значение имеют квалификация и длительный опыт работы сварщиков [7].

При алюминотермитной сварке рельсы необходимо устанавливать с определенной величиной зазора между ними и строго контролировать температуру предварительного нагрева стыков. Нельзя допускать преждевременный выпуск расплавленного термитного металла, чтобы не появлялись газовые раковины, пузыри, поры и другие дефекты [7].

К числу основных дефектов рельсовых стыков, сваренных термитом, относятся: (рисунок 2): газовые раковины, пузыри, поры в литом термитном металле (рисунок 2, а), непровары в металле (рисунок 2, б), горячие трещины в литом металле (рисунок 2, в), шлаковые (рисунок 2, г) и металлические (рисунок 2, д) включения, усталостные трещины от кромок старых болтовых отверстий вблизи термитных стыков (рисунок 2, е) [7].

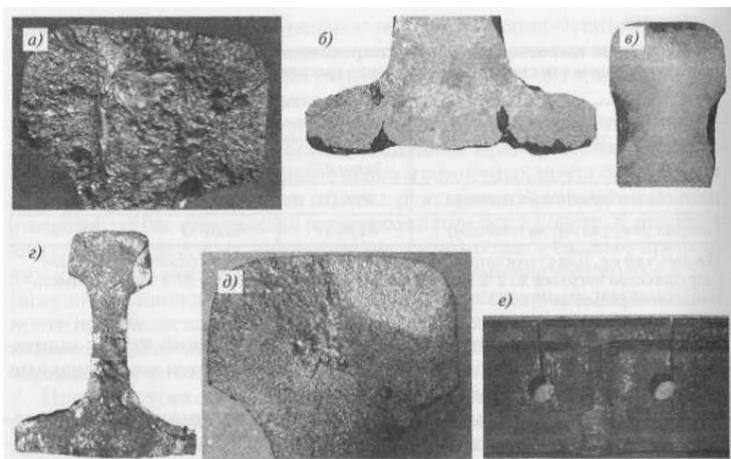


Рисунок 2 – Основные дефекты рельсовых стыков, сваренных алюминотермитным способом

Алюминотермитная сварка на современном этапе развития сварочных технологий позволяет более широко внедрять сварку непосредственно в пути, в том числе при укладке стрелочных переводов на железобетонном основании и в местах временного восстановления плетей бесстыкового пути. При этом сварка данного вида не заменяет контактную, а дополняет ее с учетом экономической целесообразности и мобильности [7].

#### Библиографический список

1. Калашников Е.А., Королев Ю.А. Технологии сварки рельсов: тенденции в России и за рубежом/ С.2-7.
2. Электронный ресурс.- Режим доступа. -<http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2003-0>.
3. Пожидаева Е.Б., Чаплыгина Е.М., Лычагина Т.С. Современные виды рельсовых стыков ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Наука и производство Урала, 2015. Выпуск №11.
4. Воронин, Н.Н. Технология алюминотермитной сварки рельсов: учеб. пособие / Н.Н. Воронин, В.В. Засыпкин, В.И. Коненков, Э.В. Воробьев, О.Н. Трынкова; под ред. Н.Н. Воронина. - М.: МИИТ, 2008. - 117 с.
5. Воронин, Н.Н. Алюминотермитная сварка рельсов: учеб. пособие [Текст] / Н.Н. Воронин, В.В. Засыпкин, В.И. Коненков, Э.В. Воробьев, О.Н. Трынкова; под ред. Н.Н. Воронина. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. - 195 с.
6. Рукавчук Ю.П. Дефектность стыков алюминотермитной сварки/ Ю.П. Рукавчук, С.А. Рождественский, И.З. Этинген// С.26-27.
7. Гудков А.В., Николин А.И. Сварка рельсов. С.108-123.

УДК 625.143.48

## **АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ**

**Шевченко Р.А., Филиппова А.А., Патрушев А.О.,  
Тюрин А.А., Тюрин Г.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Описана технология сварки железнодорожных рельсов электроконтактным способом методом пульсирующего оплавления на машине К1000 и производственные испытания на статический трехточечный поперечный изгиб. Проведён многофакторный корреляционный анализ технологических параметров процесса электроконтактной сварки рельсов. На основании по-

лученной математической модели процесса контактной сварки рельсов выбраны наиболее оптимальные режимы.

Ключевые слова: сварное соединение, элеткроконтактная сварка, регрессионный анализ, стрела прогиба, усилие изгиба, коэффициент детерминации.

В России большое распространение приобрел электроконтактный способ сварки рельсов. Основную часть рельсов сваривают на стационарных рельсосварочных предприятиях и небольшую часть стыков путевыми рельсосварочными самоходными машинами [1]. В стационарных условиях на предприятии ООО «РСП-М» (РСП-29) сварку производят с помощью машин МСР 63.01, К1000, К1100.

*Описание технологических параметров рельсосварочной машины К1000.* Процесс сварки рельсов электроконтактным способом на машине К1000 разделен на несколько этапов: I этап оплавления, II этап оплавления, форсировка, осадка, гратосъем. В свою очередь каждый этап разделен еще на несколько участков: I этап оплавления состоит из 2 участков, II этап оплавления состоит из 4 участков, форсировка разбивается на 2 участка. Каждый этап характеризуется режимами сварки: силой тока  $I$ , А; напряжением  $U$ , В; величиной перемещения подвижной станины  $S$ , мм; давлением в системе  $P$ , атм; скоростью перемещения подвижной станины  $V$ , мм/с; длительностью этапа  $T$ , с [2]. Во время работы сварочной машины процесс сварки профильных рельсов контролировался с записью основных параметров в память компьютера. Данные параметры во время процесса сварки фиксировались и сохранялись в базе данных в табличном виде, при необходимости их можно представить в графическом виде.

*Описание процесса испытания сварного соединения рельсов.* Технология сварки рельсов на РСП включает в себя обязательную сварку контрольных образцов в начале рабочей смены. Свариваются по два образца на каждую сварочную машину, после чего проводят испытание нетермообработанных стыков на трехточечный статический изгиб согласно СТО РЖД 1.08.002-2009 «Рельсы железнодорожные, сваренные электроконтактным способом». Испытания на статический изгиб проводили на прессе типа ПМС-320. Результатами испытания контрольных образцов являются значения усилия, возникающего при изгибе  $P_{изг}$ , кН и значения стрелы прогиба  $f_{пр}$ , мм, при которых происходит разрушение контрольного образца, либо максимальные значения данных показателей, если образец не разрушился во время испытаний. После фактические показатели сравнивают с нормативными. Если образец выдержал нормативные требования, начинается сварка рельсов в плеть. В случае, если образец не выдержал нормативных требований производят повторную сварку. Если же повторные испытания так же имеют неудовлетворительный исход, предпринимаются действия по поиску причин низких показателей и корректировке технологических режимов [3, 4]. Полученная модель, описывающая процесс сварки рельсов Р65 ДТ350

на машине К1000 № 01 в условиях РСП – М (РСП – 29), имеет вид:

$$P_{\text{изг}} = 18441,49 - 2,69 I_{1\text{cp}} - 73,72 U_{1\text{cp}} - 1,06 I_{2\text{cp}} + 9,98 U_{2\text{cp}} + 3,98 I_{3\text{cp}} - 11,51 U_{3\text{cp}} + 1,64 I_{4\text{cp}} + 29,45 U_{4\text{cp}} + 1,49 I_{5\text{cp}} - 27,48 U_{5\text{cp}} + 19,8 U_{6\text{cp}} - 0,54 I_{7\text{cp}} + 5,19 U_{7\text{cp}} + 593,77 O_I + 8,03 R; R^2 = 0,72.$$

*Определение оптимальных параметров сварки.* В ходе работы сварочной машины К1000 №01 значения  $U_{j\text{cp}}$  и  $I_{j\text{cp}}$  на каждом участке варьируются в пределах, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы значений основных параметров

Параметр	Знак коэф. регрессии ( $b_i$ )	Минимум	Максимум	Оптимальные параметры	Фактические значения параметров
$I_{1\text{cp}}, A$	–	423,56	520,24	423,56	500,91
$U_{1\text{cp}}, B$	–	358,34	362,17	358,34	361,02
$I_{2\text{cp}}, A$	–	659,36	790,65	659,36	756,30
$U_{2\text{cp}}, B$	+	335,50	346,32	346,32	350,53
$I_{3\text{cp}}, A$	+	428,46	499,81	499,81	461,82
$U_{3\text{cp}}, B$	–	258,10	269,12	258,10	260,34
$I_{4\text{cp}}, A$	+	420,30	487,92	487,92	456,01
$U_{4\text{cp}}, B$	+	261,79	267,86	267,86	272,64
$I_{5\text{cp}}, A$	+	427,07	489,05	489,05	451,17
$U_{5\text{cp}}, B$	–	260,87	273,58	260,87	267,96
$U_{6\text{cp}}, B$	+	264,86	276,40	276,40	285,13
$I_{7\text{cp}}, A$	–	301,45	438,12	301,45	307,68
$U_{7\text{cp}}, B$	+	363,27	391,89	391,89	391,13
$O_I, c$	+	1,10	1,20	1,20	1,20
$R, Ом$	+	75,00	84,00	84,00	80,00

Обычно оптимизацию проводят по одному более важному выходному параметру, при этом для остальных выходных параметров задают ограничения. Однако если выходные параметры коррелируют, то нет необходимости задавать граничные значения для менее важного параметра. Существовании высокой линейной связи между выходными параметрами можно рассматривать только один из них [5]. Для проверки значимости коэффициента парной корреляции между  $P_{\text{изг}}$  и  $f_{\text{пр}}$  ( $R$ ) сравним его значение с табличным (критическим) значением ( $r_{\text{кр}}$ ), которое приведено в [5]. В нашем случае  $R = 0,65 > r_{\text{кр}} = 0,273$ , таким образом между параметрами имеется тесная линейная связь и оптимизацию можно проводить только по одному параметру. Прогнозируе-

мая величина стрелы прогиба  $P_{изг}$  полученная по оптимальным значениям равна 3641,029 кН, когда максимальное фактическое значение 2622 кН.

*Определение параметров режима сварки на машине К1000.* На каждом участке фактическое среднее напряжение  $U_{jcp}$  имеет значение отличающееся заданному  $U_j$ . Для того чтобы определить фактическое напряжение по заданному, был проведен регрессионный анализ. В качестве входной переменной было выбрано фактическое среднее значение  $U_{jcp}$ , в качестве выходной задаваемое напряжение  $U_j$  сварочной машине. Для определения фактического значения силы тока на каждом этапе  $I_{jcp}$  была определена зависимость данного параметра от задаваемых параметров  $I_1, I_2, I_3, V_B, V_H$  с помощью регрессионного анализа. В качестве входных переменных были выбраны:  $I_1, I_2, I_3, V_B, V_H$ . В качестве выходной переменной  $I_{jcp}$ .

Используя оптимальные параметры, приведенные в таблице 1, были определены параметры режима сварки на машине К1000 №01.

Таблица 2 – Оптимальные параметры режима сварки на машине К1000.

Параметр	№ участка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
U, В	375	365	277	290	285	300	405	410
S, мм	20	20	20	20	15	10	35	40
$I_1$ , А	150	200	50	80	100	120	150	250
$I_2$ , А	250	350	150	180	220	250	340	400
$I_3$ , А	350	400	200	250	300	320	440	450
$V_B, В \cdot 10$	110	180	135	130	135	130	125	200
$V_H, В \cdot 10$	70	60	50	60	60	50	50	20
Осадка под током, с	1,2							
Осадка, мм · 10	175							
Проковка, с · 10	2							

*Производственная апробация режимов сварки.* Задав оптимальные параметры режима сварки (таблица 2), на сварочной машине К1000 №01 в условиях РСР–29 провели сварку контрольного образца рельса Р65 ДТ350.

После сварки провели испытание сварного стыка на статический трёхточечный изгиб: усилие изгиба составило  $P_{изг} = 2388$  кН и  $f_{пр} = 36,6$  мм, что выше нормативных значений (согласно СТО РЖД 1.08.002–2009  $P_{изг} = 2000$  кН и  $f_{пр} = 27$  мм), но ниже моделируемого значения  $P_{изг} = 3641,03$  кН.

*Выводы:*

1. На основании экспериментальных данных разработана математическая модель процесса контактной сварки рельсов на машине К1000, которая позволяет оценить полноту влияния параметров технологического процесса контактной сварки рельсов на качество сварного шва.

2. На основании полученной математической модели предложены оптимальные параметры сварки на машине К1000.

3. Проведена апробация полученных оптимальных параметров в завод-

ских условиях. По результатам испытаний образца, сваренного по предложенным оптимальным параметрам были получены результаты превышающие нормативные требования СТО РЖД 1.08.002–2009, но ниже значений, полученных по математической модели.

#### Библиографический список

1. Козырев Н. А. Современные методы получения бесстыковых рельсов / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, Р. А. Шевченко, П. Е. Шишкин // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов Международной научно-практической конференции 18-21 апреля 2017 года / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. С. 123 - 127.

2. Шевченко Р.А. Статистическая модель управления процессами контактной сварки рельсов / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, А.О. Патрушев, П.Е. Шишкин // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). – С. 4 – 8.

3. Шевченко Р.А Оптимизация технологических параметров процесса контактной стыковой сварки рельсов / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, Л.П. Бащенко, С.В. Князев // Вестник СибГИУ. – 2017.– № 1 (19). – С. 12–15.

4. Шевченко Р.А. Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов / Р.А. Шевченко, П. Е. Шишкин, А. О. Патрушев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып.21–ч.II – Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – С. 229-232.

5. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер [и др.]/ Академия наук СССР – Москва: Изд-во «Наука», 1976.– 280 с.

УДК 621. 771

## ПРОКАТКА ТРАМВАЙНЫХ РЕЛЬСОВ НА СОВРЕМЕННОМ РЕЛЬСОБАЛОЧНОМ СТАНЕ

Сметанин С.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Перетяцько В.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,

г. Новокузнецк, e-mail: [Sergey.Smetanin@evraz.com](mailto:Sergey.Smetanin@evraz.com)

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

В работе рассмотрены особенности одного из самых сложных, с точки зрения технологии прокатки, асимметричных рельсовых профилей – трамвайных рельсов, на современном рельсобалочном прокатном стане. Предло-

жен новый подход для прокатки асимметричных профилей в четырехвалковых калибрах.

Ключевые слова: горячая прокатка, трамвайный рельс, универсальные клетки, усилие прокатки, четырехвалковые калибры.

Все прокатываемые рельсовые профили по симметрии, относительно своей вертикальной оси, можно разделить на 2 категории – это симметричные и не симметричные [1]. По технологии прокатки симметричных рельсов существует достаточно много исследований, разработок и промышленных результатов, которые широко и углубленно отражены в научной литературе [2]. Технология прокатки несимметричных рельсов, таких как остряковые и бесшпечные желобчатые рельсы в виду их незначительной асимметрии и простой конфигурации не вызывают значительных трудностей в получении профиля при прокатке, а методы их калибровки незначительно отличаются от аналогичных по геометрии профилей.

Прокатка трамвайных желобчатых рельсов (рисунок 1), значительно труднее, требуется большее количество калибров, чем при прокатке железнодорожных рельсов, т.к. профиль имеет характерные особенности: глубокий желоб, отделяющий головку от губы; высокую и относительно тонкую шейку; широкую подошву с тонкими фланцами при незначительных радиусах сопряжения шейки с головкой и подошвой; значительная асимметрия профиля не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскостях. Перечисленные особенности трамвайного рельса значительно усложняют получение готового профиля, при этом технология прокатки является более трудоемкой и энергоемкой, по сравнению с симметричными профилями, а научно-исследовательская информация по прокатке трамвайных рельсов практически отсутствует [3].



Рисунок 1 - Профиль трамвайного желобчатого рельса

На новом рельсобалочном стане ЕВРАЗ ЗСМК при прокатке трамвайных рельсов задействованы две обжимные реверсивные клетки дуо VD-1 и VD-2 и непрерывная реверсивная группа клеток Тандем, которая состоит из двух универсальных клеток (UR и UF) между которыми установлена эджерная клетка дуо (ER).

При проведении исследований в работе широко применялось компью-

терное моделирование в соответствии с основами механики сплошных сред с использованием метода конечных элементов программного комплекса Deform-3D. По итогам компьютерного моделирования были получены данные о силе прокатки, после чего были проведены промышленные замеры силы прокатки в рассматриваемых калибрах. Установлено, что сила прокатки, полученная путем моделирования в программном комплексе Deform-3D, отличается от фактических замеров, не более, чем на 10 % – это говорит о хорошей сходимости результатов компьютерного моделирования с результатами фактических замеров силы прокатки. Установлено значительное различие экспериментальных данных от полученных расчетным путем по методу «приведенной полосы». Так для первого четырехвалкового калибра (UR-1), рассчитанное значение силы прокатки больше, чем экспериментальные: для горизонтальных валков в 1,37 раза; для вертикального валка с разрезным гребнем в 2,2 раза; для вертикального валка со стороны подошвы в 1,4 раза.

Полученные значительные расхождения данных между теоретическими расчетами и экспериментальными результатами можно объяснить неточностью расчета площади контактной поверхности. Значения контактных площадей полученных по методу «приведенной полосы» и полученных путем моделированием в программном комплексе отличаются от 0,75 до 2,2 раза. Подробное описание процесса определения контактной площади, оценка эффективности калибров по смещаемым объемам металла в очаге деформации, расчете усилия прокатки и проведение промышленных экспериментов, с целью оценки адекватности проведенного компьютерного моделирования, приведено в работе [4].

На основании проведенных многочисленных промышленных экспериментов при прокатке трамвайных рельсов в четырехвалковых калибрах предложен способ прокатки, при котором учитываются смещаемые объемы металла по элементам профиля. При этом величина обжатия металла по головке и подошве профиля подобрана таким образом, чтобы возникающие усилия прокатки от вертикальных валков, со стороны головки  $P_r$  и подошвы  $P_n$  профиля были равны между собой  $P_r = P_n$  (рисунок 2). Причем профиль раската подобран таким образом, чтобы из предшествующего калибра в последующий калибр металл обжимался на столько, чтобы раскат из калибра в калибр обеспечивал равенство усилий прокатки со стороны головки и подошвы профиля. Данный способ прокатки возможно применять для всех асимметричных профилей, он позволяет исключить осевые усилия на горизонтальные валки, а четырехвалковый калибр является уравновешенным по усилиям прокатки в горизонтальном направлении [5]. Предложенный подход позволяет увеличить энергоэффективность калибровки при прокатке трамвайных рельсов, а новая технология производства трамвайных рельсов, с равенством усилий прокатки в горизонтальной плоскости, за счет использования резерва по запасу пластичности металла, обеспечивает рациональное распределение действующих усилий в горизонтальной и вертикальной плоскостях четырехвалкового калибра.

Получены математические зависимости по нахождению усилий прокатки на вертикальных валках по предложенной технологии, Н:

$$P_{\Gamma} = 260\,540\,027,95x^6 - 878\,627\,626,26x^5 + 1\,091\,822\,702,89x^4 - 603\,478\,163,95x^3 + 130\,996\,205,47x^2 - 739\,696,47x - 38\,272,31; R^2 = 0,95$$

$$P_{\Pi} = 109\,215\,121,27x^6 - 425\,314\,258,13x^5 + 601\,442\,208,05x^4 - 383\,897\,603,63x^3 + 104\,034\,429,32x^2 - 4\,742\,079,29x - 30\,513,19; R^2 = 0,92,$$

где  $x$  – величина обжатия вертикальным валком, мм.

Подробное описание процесса проведения компьютерного моделирования и промышленных экспериментов, с оценкой распределения действия усилий прокатки в четырехвалковых калибрах, приведено в работе [6].

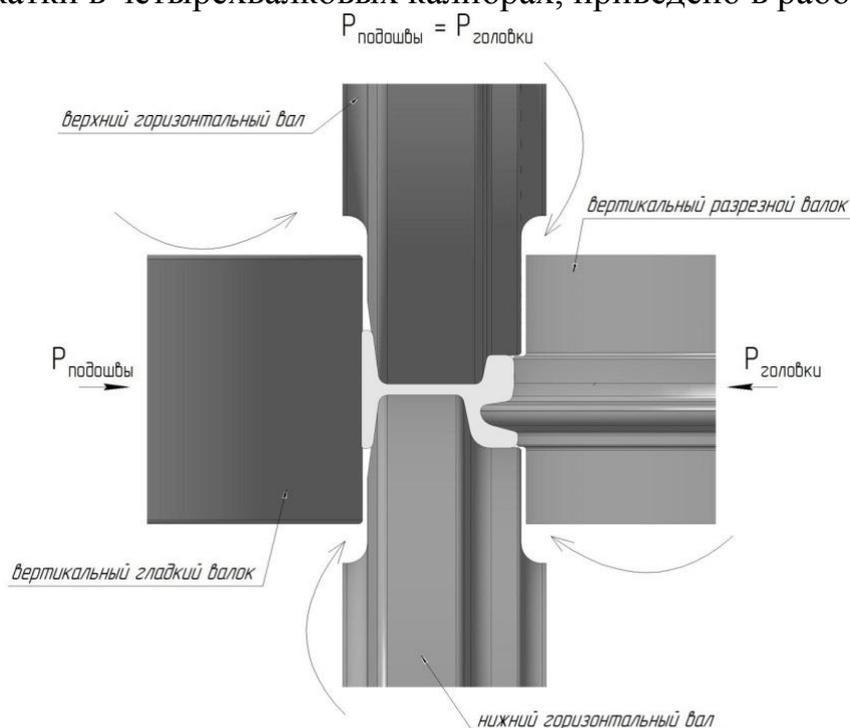


Рисунок 2 - 3-D модель уравновешенного по усилиям прокатки четырехвалкового калибра

Установлена закономерность, что наиболее благоприятное отношение усилий прокатки между вертикальными валками  $P_p/P_{\Gamma} = 0,85 \div 1,19$  обеспечивается при выполнении условия отношений смещаемых объемов металла от обжатия вертикальными валками при котором  $V_p/V_{\Gamma} = 3,22 \div 4,44$ . Выявленную закономерность возможно объяснить тем, что характер течения металла в зоны отставания и опережения сильно зависит от геометрических факторов вертикальных валков, т.е. при прокатке в четырехвалковых калибрах, в которых имеются вертикальные валки различной конфигурации, необходимо определять поправочный коэффициент формы калибра, определяющий оптимальное соотношение смещаемых объемов, что позволит получить равенство сил прокатки в горизонтальном направлении [7].

## Библиографический список

1. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. Учебное пособие для Вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Теплотехник, 2010. 490 с.
2. Рудской А.И. Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства. СПб.: Наука, 2008. 527 с.
3. Павлов В.В., Дорофеев В.В., Пятайкин Е.М., Ерастов В.В. Разработка прогрессивных калибровок и технологий прокатки на станах Новокузнецкого металлургического комбината. Новосибирск: Наука, 2006. 224 с.
4. Перетяцько В.Н., Сметанин С.В., Филиппова М.В. Контактная площадь и усилия при горячей прокатке сложных профилей // Производство проката. – 2016. – №2. – С. 16–21.
5. Пат. №2595082 Перетяцько В.Н., Сметанин С.В., Юрьев А.Б., Темлянцев М.В., Филиппова М.В. Способ прокатки рельсов – 30.04.15г.
6. Перетяцько В.Н., Сметанин С.В. Энергоэффективная технология прокатки металла в четырехвалковых разрезных калибрах // Производство проката – 2015. - №7. – С.20-27.
7. Перетяцько В.Н. Сметанин С.В. Особенности прокатки трамвайных желобчатых рельсов в четырехвалковых калибрах // Бюллетень Черная металлургия – 2016. - №10. – С.47-52

УДК 621.771

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ

Сметанин С.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Перетяцько В.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,

г. Новокузнецк, e-mail: [Sergey.Smetanin@evraz.com](mailto:Sergey.Smetanin@evraz.com)

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Приведены теоретические и экспериментальные результаты по анализу моментов, возникающих при прокатке трамвайных рельсов в реверсивной непрерывной чистовой группе клетей. С целью более плавной загрузки двигателя и уменьшения динамических ударов при захвате металла валками в период разгона прокатного стана, выполнено исследование по захвату металла валками при постоянной скорости вращения валков.

Ключевые слова: рельсобалочный стан, непрерывная реверсивная группа, прокатка, трамвайные рельсы, моменты прокатки, динамический моменты, маховой момент, скорость прокатки, ускорение, торможение.

Для расчета мощности двигателя и деталей главной линии прокатного стана необходимо знать изменения крутящего момента по времени, то есть построить нагрузочную диаграмму.

В общем случае момент на валу двигателя можно представить как сумму статического и динамического моментов:  $M_{дв} = M_{ст} \pm M_{дин}$ .

В свою очередь статический момент находится по зависимости:

$$M_{ст} = M_{пр} + M_{тр} + M_{хол},$$

где  $M_{пр}$  - момент прокатки, необходимый для преодоления сопротивления деформации прокатываемого металла и возникающих при этом сил трения между металлом и поверхностью калибра;

$M_{тр}$  - момент сил трения в подшипниках валков и в передаточных механизмах без учета момента, требующегося для вращения валков вхолостую;

$M_{хол}$  - момент холостого хода, требующийся для вращения валков во время холостого хода.

Если рассматривать основные составляющие крутящего момента при реверсивной прокатке, то статическая составляющая определяется усилием прокатки, трением в подшипниках валков и трением в передаточных механизмах главной линии прокатного стана. Динамическая составляющая определяется силами инерции при разгоне и торможении вращающихся частей стана ( $M_{дин. стана}$ ), и силами инерции при разгоне или торможении вертикальных валков ( $M_{дин. верт}$ ) и прокатываемой полосы ( $M_{дин. полосы}$ ). Поэтому можно записать как  $M_{дин} = M_{дин. стана} + M_{дин. верт} + M_{дин. полосы}$ . В общем случае величину динамического момента можно рассчитать по зависимости:

$$M_{дин} = \frac{GD^2}{375} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где  $GD^2$  - приведенный маховый момент с учетом массы раската;

$\frac{d\omega}{dt}$  - угловое ускорение (замедление).

Как видно из анализа уравнения (1), динамический момент зависит от производной угловой скорости по времени, следовательно, нагрузочную диаграмму необходимо исследовать совместно со скоростной диаграммой.

При реверсивном режиме работы прокатного стана диаграмма скоростей складывается из трех периодов: разгона, установившейся скорости и торможения [1]. Подробный анализ скоростных режимов прокатки в одноклетьевых реверсивных станах был сделан В.А. Тягуновым [2] и В.Н. Выдриним [3]. По этим данным, захват металла валками производится в период разгона двигателя и прокатных валков. В этом случае  $M_{дв} = M_{ст} + M_{дин}$ , при этом главная линия прокатного стана испытывает большие статические и динамические нагрузки.

В связи с тем, что современные рельсобалочные прокатные станы имеют значительно лучшие технические характеристики, чем станы преды-

дущего поколения, необходимы уточнения по выбору скоростных режимов прокатки и построения нагрузочных диаграмм [4, 5]. С целью более плавной загрузки двигателя и уменьшения динамических ударов при захвате металла валками в период разгона прокатного стана выполнено исследование по захвату металла валками при постоянной скорости вращения валков.

Проведена научно-исследовательская работа, получены теоретические и экспериментальные результаты по анализу моментов, возникающих при прокатке трамвайных рельсов в реверсивной непрерывной чистовой группе клетей [5-7]. Рельсобалочный стан ЕВРАЗ ЗСМК имеет непрерывную реверсивную группу клетей, состоящую из двух универсальных клетей UR и UF, между которыми установлена приводная клетя дуо ER. Каждая рабочая клетя имеет индивидуальный безредукторный привод горизонтальных рабочих валков. Вертикальные валки в универсальных клетях UR и UF не приводные. Схема прокатки, применяемая на рельсобалочном стане ЕВРАЗ ЗСМК для производства трамвайных рельсов, следующая: в первом проходе раскат прокатывают в двух клетях UR-ER, валки третьей клетки UF разведены для свободного прохода раската; во втором проходе, после реверса двигателя, раскат прокатывают также в двух клетях ER-UR, валки третьей клетки UF разведены для свободного прохода раската; в третьем проходе раскат прокатывают в трех клетях UR-ER-UF [8-12].

В таблице 1 приведены усредненные данные по крутящим моментам, в %-тах к номинальному, и ускорение двигателя при первом проходе в клетки UR. При анализе результатов таблицы 1 можно отметить, что динамический момент разгона вращающихся деталей главной линии прокатного стана равен динамическому моменту торможения, т.е.  $M_{дин1} \approx M_{дин.т}$ . Величина момента холостого хода на этапах разгона и торможения валков прокатного стана может отличаться в полтора раза. С увеличением скорости прокатки от 152 об/мин. до 297,55 об/мин величина статического момента возрастает на 6,5 %.

В первом проходе двухвалковая клетя ER совместно клетью UR составляют непрерывную группу клетей, поэтому график скоростей у клетки ER аналогичен графику скоростей клетки UR. Моменты прокатки в этой клетке приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Моменты прокатки в клетке UR, в %-тах к номинальному, первый проход

Величины	Номер участка								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Моменты	$M_{дин1}$	$M_{хол}$	$M_{ст}$	$M_{ст} + M_{дин}$	$M_{ст}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$
Момент, %	24,25	2,38	77	99,79	82	1,65	- 22,09	1,03	- 23,69
Ускорение, об/мин*с.	74,15	0	0	83,17	0	0	- 82,46	0	- 78,78

Таблица 2 – Моменты прокатки в клети ER, в %-тах к номинальному, первый проход

Величины	Номер участка								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Моменты	$M_{дин1}$	$M_{хол}$	$M_{ст}$	$M_{ст} + M_{дин}$	$M_{ст}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$
Момент, %	4,17	0,48	16,68	24,88	18,41	0,35	-4,29	0,35	-4,15
Ускорение, об/мин*с.	85,5	0	0	94,22	0	0	-95,23	0	-88,54

В таблице 3 приведены усредненные данные по крутящим моментам и ускорениям двигателя при втором проходе в клети UR. Во втором проходе, как и в первом, захват металла валками производится при постоянной скорости вращения валков, т.е., динамический момент вращающихся частей стана, возникающий только при разгоне и торможении, при захвате отсутствует.

Двухвалковая клеть ER совместно клетью UR составляют непрерывную группу клетей, поэтому график скоростей у клети ER аналогичен графику скоростей клети UR. Моменты прокатки в этой клети приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Моменты прокатки в клети UR, в %-тах к номинальному, второй проход

Величины	Номер участка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Моменты	$M_{дин1}$	$M_{хол}$	$M_{ст}$	$M_{ст} + M_{дин}$	$M_{ст}$	$M_{дин.т}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$
Момент, %	-24,9	-2,13	-70,7	-103,81	-81,78	-21,5	-1,2	19,81
Ускорение, об/мин*с.	80,5	0	0	84,33	0	-81,3	0	-77,8

Таблица 4 – Моменты прокатки в клети ER, в %-тах к номинальному, второй проход

Величины	Номер участка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Моменты	$M_{дин1}$	$M_{хол}$	$M_{ст}$	$M_{ст} + M_{дин}$	$M_{ст}$	$M_{дин.т}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$
Момент, %	-4,05	-0,41	-6,98	-10,89	3,98	3,11	-0,41	3,8
Ускорение, об/мин*с.	69,68	0	0	74	0	-70,01	0	-80,06

В таблице 5 приведены усредненные данные по крутящим моментам, в %-тах к номинальному, при третьем проходе в клетях UR, ER и UF.

Таблица 5 – Моменты прокатки в клетях UR, ER и UF, в %-тах к номинальному, третий проход

Величины	Номер участка				
	1	2	3	4	5
Моменты, %	$M_{дин1}$	$M_{хол}$	$M_{ст}$	$M_{хол}$	$M_{дин.т}$
Клеть UR	21,4	2,25	79,29	1,3	-19,65
Клеть ER	3,9	0,42	11,5	0,31	-4,3
Клеть UF	25,1	1,23	63	1,1	-21,8

### Выводы

Динамическая составляющая крутящего момента ( $M_{\text{дин}}$ ) на валу главного привода прокатного стана необходима для преодоления сил инерции при разгоне и торможении вращающихся частей стана ( $M_{\text{дин. стана}}$ ), сил инерции при разгоне и торможении вертикальных валков ( $M_{\text{дин. верт}}$ ) и прокатываемой полосы ( $M_{\text{дин. полосы}}$ ). Предложен новый способ прокатки, в котором захват металла осуществляется при постоянной частоте вращения прокатных валков – это позволяет, в момент захвата металла, исключить влияние динамического момента вращающихся частей прокатного стана ( $M_{\text{дин. стана}}$ ). Поскольку масса вертикальных валков и масса раската в сумме составляют менее 3% от массы вращающихся частей прокатного стана ( $M_{\text{дин. стана}}$ ), соответственно увеличение динамического момента от вертикальных валков ( $M_{\text{дин. верт}}$ ) и динамического момента полосы ( $M_{\text{дин. полосы}}$ ) является незначительным.

Разработанные скоростные режимы прокатки трамвайных рельсов в непрерывной реверсивной группе клетей позволили на 20–25% уменьшить момент при захвате металла валками за счет отсутствия динамического момента при постоянном числе оборотов вращающихся частей прокатного стана. В связи с тем, что линейная скорость вращения прокатных валков совпадает с линейной скоростью задачи раската в калибр, это позволило исключить пробуксовки раската в калибре и снизить динамические удары в главной линии прокатного стана.

Предложенный способ прокатки позволяет повысить надежность оборудования главной линии прокатного стана, а по результатам экспериментальных и эксплуатационных показателей увеличилась стойкость прокатных валков.

### Библиографический список

1. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Metallurgy, 1980. – 320 с.
2. Тягунов В.А. Режимы прокатки на реверсивных станах. – Свердловск, М.: Metallurgizdat, 1954 – 136 с.
3. Выдрин В.Н. Динамика прокатных станов. – Свердловск.: Metallurgizdat, 1960 – 256 с.
4. Шилов В.А., Шварц Д.Л., Литвинов Р.А. Скоростные режимы прокатки рельсов в непрерывных группах клетей современного рельсобалочного стана – Производство проката, 2008, №7 – С. 30-33.
5. Перетяцько В.Н., Сметанин С.В. Исследование крутящих моментов при прокатке трамвайных рельсов в непрерывной реверсивной группе клетей // Черные металлы – 2017. – №7. – С. 35 – 40.
6. Перетяцько В.Н., Сметанин С.В. Особенности прокатки трамвайных желобчатых рельсов в четырехвалковых калибрах // Бюллетень Черная

металлургия – 2016. - №10. – С.47-52.

7. Перетягко В.Н., Сметанин С.В. Разработка скоростных режимов прокатки трамвайных рельсов в непрерывной реверсивной группе клетей // *Металлург.* – 2017. – №9. – С. 78-81.

8. Перетягко В.Н., Сметанин С.В., Филиппова М.В. Новая технология прокатки трамвайных желобчатых рельсов. - *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2015. - №5. – С. 328 – 335.

9. Peretyat'ko V.N., Smetanin S.V., Filippova M.V. New rolling technology for streetcar girder rail. - *Steel in Translation 2015, Volume 45, Issue 5,* - pp. 312-317/.

10. Перетягко В.Н., Сметанин С.В. Энергоэффективная технология прокатки рельсов в четырехвалковых калибрах - *Металлург* – 2016. - №7. – С. 54 – 59.

11. Peretyat'ko V.N., Smetanin S.V. Energy-efficient four-roll rail rolling technology. - *Metallurgist* – November 2016 – Volume 60 – Issue 7 – pp 699–705.

12. Сметанин С.В. Энергосиловые параметры прокатки трамвайных рельсов: монография / С.В. Сметанин, В.Н. Перетягко; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 268 с.

УДК 621.762

## **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ГОРЕНИЯ В САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИМСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СИНТЕЗЕ**

**Балачков М.М., Пермикин А.А  
Научный руководитель: Чурсин С.С.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: mmb2@tpu.ru*

В работе представлена математическая модель протекания самораспространяющегося высокотемпературного синтеза на основе численного решения нестационарного неоднородного уравнения теплопроводности с подвижным источником тепла.

Ключевые слова: СВС, математическая модель, функциональные материалы.

В настоящее время в качестве топлива для ядерных реакторов применяют диоксид урана ( $UO_2$ ). Данное соединение имеет ряд недостатков такие как: слабая радиационная стойкость, вызывающая преждевременное разрушение материала; малый коэффициент теплопроводности при рабочих температурах ( $\lambda = 8$  Вт/(м·К)), следствием чего является большой градиент температур в топливной таблетке (до 200 К/мм), что также отрицательно влияет на её прочность [1].

Одним из способов решения данной проблемы является использование дисперсионного ядерного топлива. Дисперсионное топливо представляет собой однородное по составу вещество, в котором содержится две фазы: ядерное топливо и неделяющаяся матрица. Расстояние, проходимое осколками деления, измеряется микрометрами, что накладывает условия на размер топливных частиц и расстояние между ними. Если топливные частицы будут находиться на расстоянии большем, чем длина пробега осколков деления, то можно говорить, что все радиационные повреждения накапливаются в неделящемся материале, а матрица остаётся неповреждённой. К тому же, материал матрицы выбирают с большим коэффициентом теплопроводности, что уменьшает градиент температур в топливе.

Обычно дисперсионное топливо изготавливается традиционными методами порошковой металлургии [1], но они имеют несколько недостатков: сложное технологическое оборудование и невозможность управления свойствами конечного материала.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – это технология, основанная на синтезе необходимых соединений с помощью экзотермических реакций, протекающих в шихте [2]. Данная технология имеет ряд преимуществ перед традиционными методами порошковой металлургии: малое потребление энергии на подогрев системы из-за использования энергии химических реакций; высокая скорость синтеза веществ; сгорание примесных добавок в процессе синтеза, а так же простота аппаратного исполнения [2]. Однако существуют сложные зависимости фазообразования от температуры протекания реакции, величины градиента температур в шихте, давления прессования шихты и т.п. [2].

Для предсказания свойств синтезируемых материалов необходимо построить математическую модель протекания СВ-синтеза. Так как СВС процессы связаны с теплопроводностью, то для описания системы можно воспользоваться уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = f(x, y, z, t), \quad (1)$$

где  $u = u(x, y, z, t)$  – функция температуры;

$\alpha$  – коэффициент теплопроводности;

$f(x, y, z, t)$  – функция тепловых источников.

Так как в СВС протекают химические реакции необходимо учитывать дополнительное выделение энергии. Механизм протекания химических реакций имеет автоволновой характер, что усложняет функцию тепловых источников. К тому же в процессе синтеза образуются вещества с новыми физико-химическими свойствами. Вследствие этого уравнение (1) нельзя решить аналитически, следовательно, необходимо применение численных методов.

Для задания сеточной функции цилиндрического образца использовалась декартова система координат с точками находящимися на одинаковом расстоянии от соседних точек (Рисунок 1).

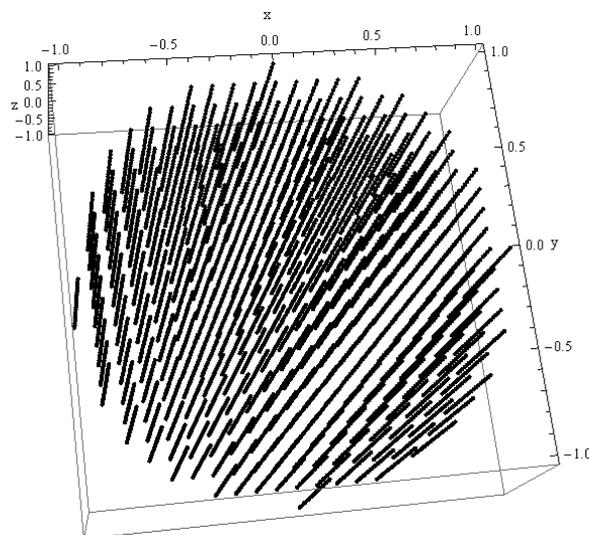


Рисунок 1 – Сеточная функция

Для имитации волны горения использовался подвижный источник тепла с постоянной скоростью распространения по образцу. Результаты моделирования приведены на рисунке 2.

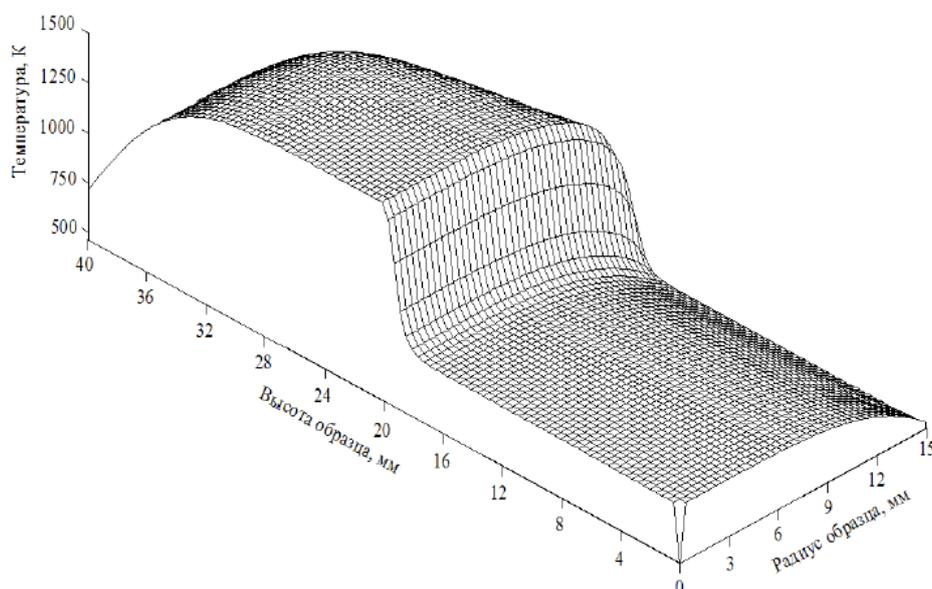


Рисунок 2 – Распространение волны горения в образце

Из рисунка 2 видно, что с помощью построенной модели можно определять температуру протекания синтеза, влияющую на конечные продукты химических реакций. А также градиент температур, возникающий между фронтом волны горения и непрореагировавшим веществом, что помогает определять термические напряжения в образце.

## Библиографический список

1. Бойко В.И. Топливные материалы в ядерной энергетике: учебное пособие / В.И. Бойко, Г.Н. Колпаков, О.В. Селиваникова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186 с.
2. Амосов А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учебное пособие / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 471 с.

УДК 621.762.53

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗБАВЛЕНИЯ ШИХТЫ ИНЕРТНОЙ ДОБАВКОЙ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВ-СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОЙ МАТРИЦЫ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

**Юрченко М.Д., Пермикин А.А., Чурсин С.С.**

**Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Долматов О.Ю.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: mdy2@tpu.ru*

В работе проведено исследование термодинамических характеристик СВ-синтеза матрицы дисперсионного ядерного топлива на основе системы Ni-Al при разбавлении шихты инертной добавкой. Было показано, что при увеличении массовой доли добавки (20 – 50%), происходит уменьшение пика температуры в процессе синтеза. При содержании добавки 60% и выше зависимость нарушается, ввиду увеличения температуры инициации реакции, что приводит к увеличению пика температуры.

Ключевые слова: СВ-синтез, интерметаллиды, ядерное топливо, ДЯТ, матричный материал.

Современная ядерная энергетика – стремительно развивающаяся отрасль, которая нуждается в материалах высокого качества. Такие материалы должны обладать необходимым набором свойств, а также производиться методом с высокой экономической эффективностью. Отдельного внимания требует производство топлива для ядерной энергетической промышленности, которая генерирует порядка 20% электроэнергии в России. Традиционное керамическое топливо имеет ряд недостатков, таких как низкая теплопроводность, обуславливающая высокий градиент температур внутри таблетки, что приводит к ограничению мощности реактора.

Перспективной альтернативой, лишенной данных недостатков, является дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ), представляющее собой неактивную матрицу, в которую диспергированы топливные частицы [1].

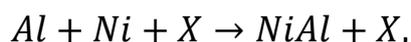
Одними из перспективных материалов для матрицы ДЯТ являются интерметаллиды – соединения двух и более металлов. Они обладают уникальными свойствами, что позволяет им конкурировать с материалами во многих областях промышленности, в частности – ядерной [2].

Интерметаллидные соединения можно получать экономически выгодным методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Данный метод основан на способности некоторых элементов вступать в экзотермические реакции. СВС не требует сложного аппаратного исполнения, а также привлекателен высокой экономической эффективностью [3].

В данной работе были исследованы термодинамические характеристики СВ-синтеза матрицы Ni-Al при разбавлении шихты реагентов инертной добавкой.

Для синтеза матрицы используется порошок Al марки ПАП-2 и Ni марки CAS 7440-02-0. В качестве инертной добавки в данном исследовании используется порошок NiAl. Смешивание порошков происходит в кубическом смесителе штыкового типа. Стехиометрическое соотношение алюминия и никеля 1:1, массовая доля добавки варьируется в пределах от 20 % до 60 %.

Реакцию, протекающую в процессе СВС можно описать уравнением:



где  $X$  — используемая инертная добавка.

Термограммы процесса представлены на рисунке 1.

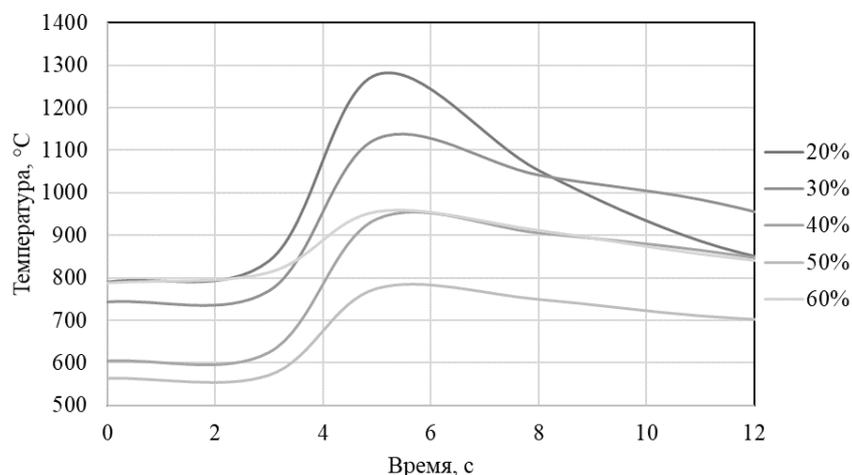


Рисунок 1 – Температурные режимы синтеза

Видно, что температура пика СВ-синтеза при массовой доле добавки 20 % находится в пределах 1200-1400 °С. При увеличении содержания инертной добавки в таблетке происходит уменьшение температурного пика реакции. Данный эффект обусловлен снижением числа реагирующих частиц, а, следовательно, уменьшением суммарной выделяемой энергии при экзотермической реакции.

Однако при синтезе образца, содержащего 60% инертной добавки,

наблюдается отклонения от вышесказанной зависимости. Это происходит из-за того, что в объеме таблетки слишком малое количество реагирующих элементов, в связи с чем реакция начинает протекать при увеличении температуры инициации, что ведет к увеличению температуры пика.

Полученные образцы представлено на рисунке 2.

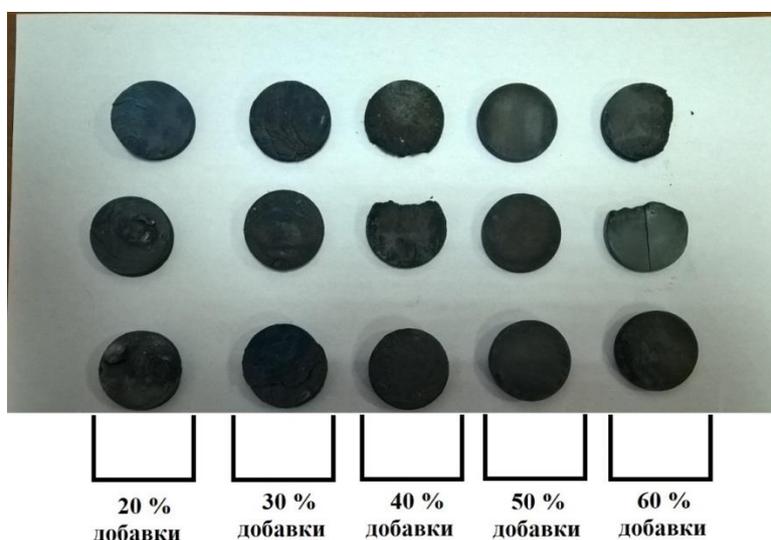


Рисунок 2 – Синтезированные образцы

Видно, что при содержании в образце 20-30 % инертной добавки наблюдается искажение исходной цилиндрической геометрии, ввиду избыточного энерговыделения при синтезе и возникновения расплавов. У образцов с массовой долей добавки порядка 40 % возникает эффект расслаивания и порообразования, что объясняется поведением большого количества инертной добавки при избыточном энерговыделении.

Однако при синтезе образцов с содержанием добавки 50% отмечается относительно невысокая температура синтеза, обусловленная снижением зажигательной способности системы, не приводящая к отрицательным последствиям.

#### Библиографический список

1. Алексеев С., Зайцев В., Толстоухов С. Дисперсионное ядерное топливо. – Litres, 2017.
2. Базылева О. А., Аргинбаева Э. Г., Туренко Е. Ю. Жаропрочные литейные интерметаллидные сплавы //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №. S. – С. 57.
3. Мержанов А. Г. 4 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: о прошлом, настоящем и будущем //Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2006. – №. 5. – С. 5-8.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО ОБЪЕКТА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ФУТЕРОВКИ**

**Шестопалов Н.Е., Ширяев С.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, email: nikita1995-02@mail.ru*

Проведен обзор современных литературных источников по проблеме повышения энергоэффективности теплового объекта путем оптимизации конструкции теплоизоляционной футеровки котлоагрегатов, печей и производственных сооружений. Сформулированы условия оптимизации конструкции теплоизоляционного ограждения котлоагрегата.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляционная футеровка, котлоагрегат.

Теплоэнергетические объекты – тепловые системы, представляющие собой совокупность устройств и механизмов для производства тепловой энергии в виде водяного пара, горячей воды, подогретого воздуха и выработки электрической энергии [1]. Главным элементом системы является паровой котёл – тепловой объект, предназначенный для производства перегретого пара, необходимого для теплофикации и производства электроэнергии. Основными технологическими системами теплоэнергетического объекта являются: теплоизолированное рабочее (топочное) пространство котла с комплексом тепловоспринимающих поверхностей; системы топливо- и воздухо-снабжения; сжигания топлива; дымоудаления; утилизации тепла отходящих продуктов горения; золо- и шлакоудаления; КИП и А; охлаждения; электрооборудования; механического оборудования и другие. Теплоизоляционное ограждение котла представлено в общем виде многослойной огнеупорной (внутренний слой) и теплоизоляционной (наружной) футеровкой, позволяющей ограничить потери теплоты теплопроводностью из топки котла и дымохода в окружающую среду [2]. При конструировании футеровки любого теплового агрегата решается задача энергосбережения путем оптимизации толщины ограждения с позиций минимизации потерь теплоты в окружающую среду и стоимости огнеупорных и теплоизоляционных материалов. Энергосбережение – эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов, а энергоэффективность – это использование меньшего количества топлива и энергии для обеспечения теплоснабжения зданий и сооружений или уровня энергетического обеспечения технологических процессов на производстве.

Целью работы являлся анализ литературных источников по проблеме

энергосбережения путем оптимизации размеров ограждающей футеровки с позиций минимизации потерь теплоты в окружающую среду и стоимости огнеупорных и теплоизоляционных материалов и разработка рекомендаций по конструированию теплоизоляционной футеровки парогенераторов.

В работе [3] предложена оптимизация многослойной футеровки агрегата с учетом его теплотехнических, эксплуатационных и стоимостных характеристик. По мнению автора задача оптимизации заключается в определении оптимальных размеров футеровки, обеспечивающей минимум потерь топлива, затрат на изготовление и эксплуатацию, а также в выборе рациональной последовательности расположения и необходимых толщин отдельных слоев огнеупорных и теплоизоляционных материалов при уменьшении общей массы футеровки. При выборе материалов слоев футеровки определяли последовательности их расположения, толщины каждого слоя футеровки, значения температуры по толщине футеровки (на границе слоев) и оценивали выбираемый материал исходя из условий надежности. Учитывали, что значения коэффициентов теплоотдачи от наружной поверхности футеровки к окружающему воздуху для свода – на 27 – 30 % больше, а для пода – на 30 – 33 % меньше, чем для стен. Алгоритм программы основан на переборе всех возможных комбинаций изменяемых параметров и выборе той из них, при которой затраты на футеровку принимают наименьшее значение. Весь диапазон значений параметров разбивают на множество интервалов, в каждом из которых ищут локальный минимум функции. После этого принимают решение, в каком из интервалов находится глобальный минимум.

В работе [4] предложен механизм оптимизации рабочего слоя футеровки с точки зрения минимизации градиента температур и термонапряженного состояния огнеупора, обусловленного его объемным и линейным расширением. Эти напряжения могут различаться в радиальном направлении кладки в зависимости от глубины прогрева огнеупора от его рабочей стороны (горячей) к тыльной (холодной). Напряжения вызывают образование зародышей микротрещин и в дальнейшем могут развиться до крупных трещин, приводящих к сколам граней в зонах сопряжения огнеупоров кладки. Авторы статьи утверждают, что согласно эпюре распределения напряжений, максимальное напряжение в кладке возникает с «горячей» стороны и снижается в радиальном направлении к «холодной». На дальнейшее развитие «дырочного» износа, обусловленного нагревом, дополнительно влияет химическая коррозия и эрозия продуктами горения. Снижение разрушающих напряжений возможно за счет создания буферного слоя из засыпных масс, способных спекаться с некоторой усадкой, образуя компенсационный зазор. При использовании бетонного арматурного слоя, залитого за рабочий слой для снижения вероятности появления «дырочного» износа, предложено использовать низкоцементный бетон с количеством воды затворения 4,6 – 5,0 %. Одним из методов решения проблемы может служить применение при футеровании арматурного слоя специальных шаблонов в роли опалубки (в насто-

ящее время на большинстве предприятий в качестве опалубки для заливки арматурного слоя используют кирпичную кладку) с последующей предварительной тепловой обработкой после схватывания бетона и извлечения опалубки. Такая схема футеровки и тепловой обработки позволяет избежать негативного взаимодействия рабочего слоя футеровки из штучных изделий с влагой, которая используется при укладке бетона арматурного слоя. Это позволяет равномерно прогреть арматурный слой и увеличить эффективность тепловой обработки [5].

В статье [6] было предложено создание прочной монолитной футеровки на основе высокотемпературного клея, который успешно применялся в футеровке агрегатов ряда других предприятий. Клей представляет собой смесь сухого и жидкого связующего и является безуглеводородным. Он обеспечивает монолитность и исключает газопроницаемость через огнеупорную кладку. Максимальная температура службы огнеупорного клея достигает 1800 °С. Огнеупорный клей наиболее эффективно склеивает изделия алюмосиликатного состава (шамот, муллит, корунд). Клей уменьшает термические напряжения в кладке во время эксплуатации агрегата и снижает газопроницаемость в 8 – 12 раз. С применением клея кладка образует монолит корпуса, что резко уменьшает возможность выпадения отдельных элементов кладки. Футеровку на основе клея можно охлаждать и нагревать с большей скоростью (в 2 – 3 раза выше) без потери механической прочности ограждения [7].

В последнее время актуальны проблемы энергосбережения для жилых и производственных сооружений. В статье [8] обсуждается вопрос о сооружении теплозащитной оболочки зданий жилого и производственного назначения, выполненной в виде зеленого насаждения на грунтовой подушке. Одновременно с энергосбережением решаются эстетические и экологические проблемы производственных объектов. В работах [9-10] предложено толщину слоя тепловой изоляции определять с помощью целевой функции, учитывающей нормативные величины теплового сопротивления, сроки окупаемости, рассчитанные с учетом роста тарифов на тепловую энергию.

Основные рекомендации при проектировании теплоизоляционной футеровки парогенераторов можно сформулировать следующим образом. Футеровка должна быть выполнена многослойной. Внутренний рабочий слой выполняется из формованных огнеупоров алюмосиликатной группы, имеющих широкое распространение в теплоэнергетики. Это шамот класса А или огнеупорный бетон основе шамота, которые имеют наибольшую строительную прочность и обеспечивают максимальную надежность всей конструкции агрегата. Эти огнеупоры имеют высокую термостойкость (до 50 теплотен), шлакоустойчивость к кислым шлакам, высокую абразивную стойкость к золошлаковым пылям и температуру применения до 1350 °С. Внутренний промежуточный слой футеровки выполняется из этих же материалов класса Б, имеющих более низкие эксплуатационные характеристики и меньшую стоимость, либо из легковесов. Наружный теплоизоляционный слой

материалов сооружается их армированных блоков, выполненных из минеральной каолиновой выты или стекловаты. Для повышения строительной прочности и снижения газопроницаемости рекомендуется использовать огнеупорный клей [7]. Толщины каждого слоя целесообразно определить, используя целевую функцию, описанную в работе [3]. При этом необходимо учитывать, что у ряда огнеупоров и теплоизоляторов коэффициент теплопроводности имеет знакопеременное значение и с ростом температуры его значение может, как уменьшаться, так и возрасти.

Использование перспективных теплоизоляционных материалов и разработок в области сооружения теплозащитных футеровок современных тепловых устройств позволяет увеличить энергоэффективность парогенераторов.

#### Библиографический список

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Парамонов А.М. Энергосбережение путем оптимизации многослойной футеровки нагревательных печей кузнечных и термических цехов / А. М. Парамонов // Промышленная теплотехника. – 2015. – № 12. – С. 18 – 22.
4. Словиковский В.В. Эффективные кладочные растворы для футеровок вращающихся печей / В.В. Словиковский [и др.] // Сборник трудов «Алюминий Урала-98», г. Краснотурьинск, 1998 г. С. 45 – 46.
5. Гуляева А. В. Влияние влаги на прочностные характеристики огнеупоров магнезиального состава и методы, увеличивающие влагостойкость огнеупора / А. В Гуляева // Новые огнеупоры. – 2014. № 2. – С. 45–50
6. Словиковский В.В. Комбинированная высокостойкая футеровка топочных камер для сушки суспензий кремневых дрожжей / В.В. Словиковский, А.В. Гуляева // Новые огнеупоры. – 2016. – № 9. – С.7 – 10.
7. Словиковский В.В. Применение огнеупорного клея и растворов для футеровки агрегатов цветной металлургии / В. В. Словиковский, Ю.И. Рожин, В. И. Ерошкина // Сборник трудов «Совершенствование гидродинамики газовых потоков промышленных печей», г. Свердловск, 1990 г. С. 60 – 61.
8. Корниенко С.В. Зеленое строительство – комплексное решение задач энергоэффективности экологии и экономики / С. В. Корниенко // Энергосбережение, 2017, №3, с. 22 – 24.
9. Ливчак В.И. Как оценить энергоэффективность энергосберегающих мероприятий при выполнении капремонта многоквартирных домов / В.И. Ливчак // Энергосбережение, 2017, №2, с. 24 – 32.
10. Горшков А.С. Повышение уровня теплоизоляции наружных стен малоэтажного дома / А.С. Горшков [и др.] // Энергосбережение, 2017, №8, с. 30 – 34.

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ФУТЕРОВКИ КОТЛОАГРЕГАТА И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО ОБЪЕКТА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ**

**Коновалова Х.А., Турлак Н.В., Панькова А.А., Розраенко Д.О.  
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: alenapankova55@Gmail.com*

С помощью теплового баланса котлоагрегата составлено уравнение для расчета расхода топлива котлоагрегата, работающего на твердом топливе. С использованием математической модели проведен расчет расхода топлива при изменении теплового сопротивления многослойной футеровки котлоагрегата и сформулированы условия оптимизации конструкции теплоизоляционного ограждения парогенератора.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляционная футеровка, котлоагрегат, тепловой баланс.

Для теплоэнергетических объектов в большинстве случаев теплотехнические расчеты теплоизоляции производятся, исходя из норм тепловых потерь, установленных для каждого диаметра трубопровода и для плоской поверхности в зависимости от величины температурного напора между теплоносителем и окружающим воздухом [1]. Анализ энергоэффективности теплоэнергетического объекта путем подбора оптимальной конструкции футеровки можно провести с помощью теплового баланса котлоагрегата. Тепловой баланс теплоэнергетической установки – уравнение, состоящее из приходных и расходных статей, и составляется для определения расхода топлива и расчета технико-экономических показателей работы тепловых устройств [1-3].

Целью работы являлся расчет расхода топлива и параметров ограждающей теплоизоляционной футеровки парогенератора с позиций минимизации потерь теплоты в окружающую среду и разработка рекомендаций по конструированию теплоизоляционной футеровки котлоагрегата.

Уравнение теплового баланса котлоагрегата, работающего на твердом топливе, имеет вид:

$$Q_p = Q_l + \Sigma Q_{nom},$$

где  $Q_p$  – располагаемая теплота (приходная часть теплового баланса, кДж/кг);

$Q_l$  – полезно используемая теплота, кДж/кг;

$Q_{nom}$  – потерянная теплота, кДж/кг;

Располагаемая теплота ( $Q_p$ ) включает приход теплоты с горением топ-

лива  $Q_{x.m.}$ , физическую теплоту с подогретым топливом ( $Q_{ф.т.}$ ) и подогретым воздухом ( $Q_{ф.в.}$ ). Потерянная теплота ( $Q_{ном}$ ) включает потери теплоты с уходящими газами ( $Q_2$ ), от химической неполноты горения ( $Q_3$ ), от механической неполноты горения ( $Q_4$ ), от наружного охлаждения ( $Q_5$ ), связанной с теплопроводностью через ограждения топки котла, и потерь с физической теплотой шлаков ( $Q_6$ ) [1, 2].

Составим уравнение теплового баланса котлоагрегата и выразим из этого уравнения расход топлива  $B$ :

$$B = \frac{D \cdot q_{п} + \Delta t \cdot F / R_i}{Q_H^P + C_T \cdot t_T + \alpha \cdot V_B^T \cdot C_B \cdot t_B - V_D^D \cdot C_D \cdot t_D - a \cdot C_{шл} \cdot t_{шл}};$$

где:  $D$  – паропроизводительность, кг/с;

$q_n$  – удельное количество теплоты, пошедшей на процесс парообразования, кДж/кг;

$\Delta t$  – перепад температур на наружных границах футеровки, °С;

$\Sigma R_i$  – тепловое сопротивление многослойной футеровки, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$F$  – площадь наружной поверхности теплоизоляционного ограждения, м<sup>2</sup>;

$Q_H^P$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, кДж/кг.  $C_T$  – теплоемкость топлива, кДж/(кг·К);

$t_T$  – температура подогрева топлива, °С;

$\alpha$  – коэффициент расхода воздуха, ед;

$V_B^T$  – удельный расход воздуха на единицу массы топлива, м<sup>3</sup>/кг;

$C_B$  – теплоемкость воздуха, кДж/(м<sup>3</sup>·К);

$t_B$  – температура подогрева воздуха, °С;

$V_D^D$  – действительный выход дымовых газов на единицу массы топлива, м<sup>3</sup>/кг;  $C_D$  – теплоемкость дымовых газов, кДж/(м<sup>3</sup>·К);

$t_D$  – температура дымовых газов, °С;

$a$  – доля золы топлива, идущей на шлакообразование ед;

$C_{шл}$  – теплоемкость шлака, кДж/(кг·К);

$t_{шл}$  – температура шлака, °С; В расчете приняты  $Q_3 = 0$  и  $Q_4 = 0$ ,

Указанное выражение позволяет рассчитать расход технологического топлива в парогенераторе, используя входные характеристики различных систем котлоагрегата. В настоящей работе входными характеристиками являлись параметры огнеупорной теплоизоляционной футеровки, оптимизация конструкции которой позволяет улучшить технико - экономические показатели теплового агрегата [3, 4].

Для расчета  $B$  использовали технические показатели котлоагрегата:  $D = 0,20$  кг/с;  $q_{п} = 2260$  кДж/кг;  $Q_H^P = 25000$  кДж/кг;  $C_T = 1,25$  кДж/(кг·К);  $t_T = 100$  °С;  $\alpha = 1,2$ ;  $V_B^T = 6,5$  м<sup>3</sup>/кг;  $C_B = 1,3$  кДж/(кг·К);  $t_B = 200$  °С;  $V_D^D = 8,8$  м<sup>3</sup>/кг;  $C_D = 1,3$  кДж/(кг·К);  $t_D = 300$  °С;  $a = 0,1$ ;  $C_{шл} = 0,95$  кДж/(кг·К);  $t_{шл} = 250$  °С;  $F = 160$  м<sup>2</sup>;  $B = 4$  м;  $L = 4$  м;  $H = 10$  м;  $B, H, L$  – геометрические раз-

меры футеровки.

Расчет теплового сопротивления многослойной футеровки выполняли по выражению:

$$R_i = \frac{1}{\alpha_D} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_B};$$

где  $\alpha_D, \alpha_B$  – коэффициенты теплоотдачи на дымовой и воздушной сторонах футеровки котлоагрегата, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – толщина слоев футеровки котлоагрегата, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – коэффициенты теплопроводности слоев изоляции, Вт/(м·К).

Приняли, что первый слой футеровки выполнен из шамота класса А ( $\delta_1 = 0,230$  м;  $\lambda_1 = 0,55$  Вт/(м·К), при  $t_{cp} = 1000$  °С); второй слой футеровки – из огнеупорного бетона с шамотным наполнителем ( $\delta_2 = 0,115$  м;  $\lambda_2 = 0,48$  Вт/(м·К), при  $t_{cp} = 500$  °С); третий слой – из теплоизоляционных армированных матов из каолиновой ваты ( $\delta_3 = 0,115$  м;  $\lambda_3 = 0,2$  Вт/(м·К), при  $t_{cp} = 200$  °С);  $\alpha_D = 150$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_B = 30$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Расчеты В выполняли в программе Microsoft Excel. Зависимость вида  $B = f(R_i)$  представлена на рисунке 1. Зависимость вида  $B = f(\Delta t)$  приведена на рисунке 2.

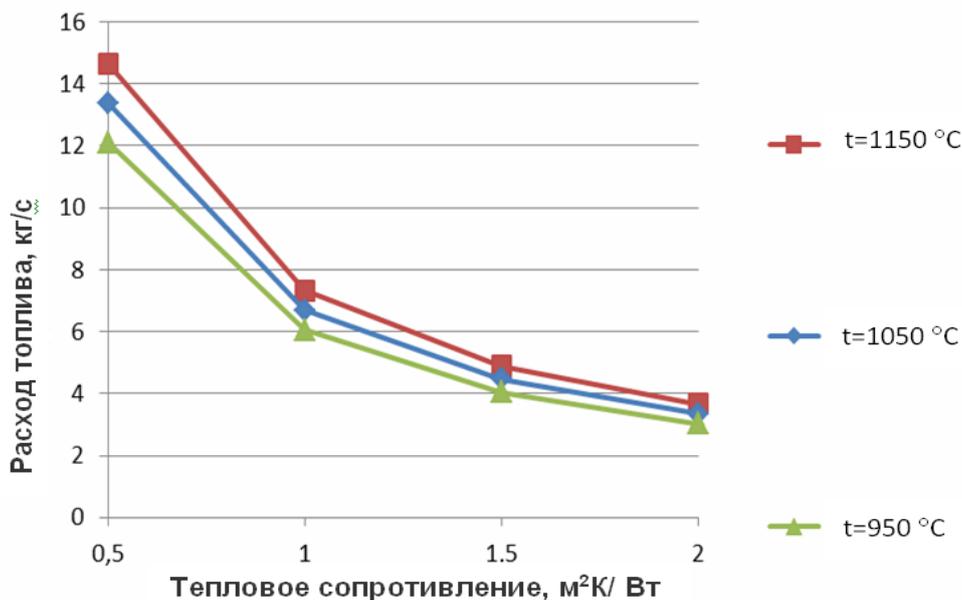


Рисунок 1 – Влияние теплового сопротивления огнеупорной и теплоизоляционной футеровки на расход топлива

Результаты численного эксперимента показывают (рисунок 1), что увеличение  $R$  с 0,5 до 2 м<sup>2</sup>·К/Вт позволяет снизить расход топлива почти в три раза. Влияние теплового сопротивления  $R$  на расход топлива более существенно при малых значениях  $R$ , равных 0,5 - 1 м<sup>2</sup>·К/Вт. Рост величины  $R$  свыше 1 м<sup>2</sup>·К/Вт в меньшей степени (только в 1,3 раза) уменьшает расход

ТОПЛИВА.

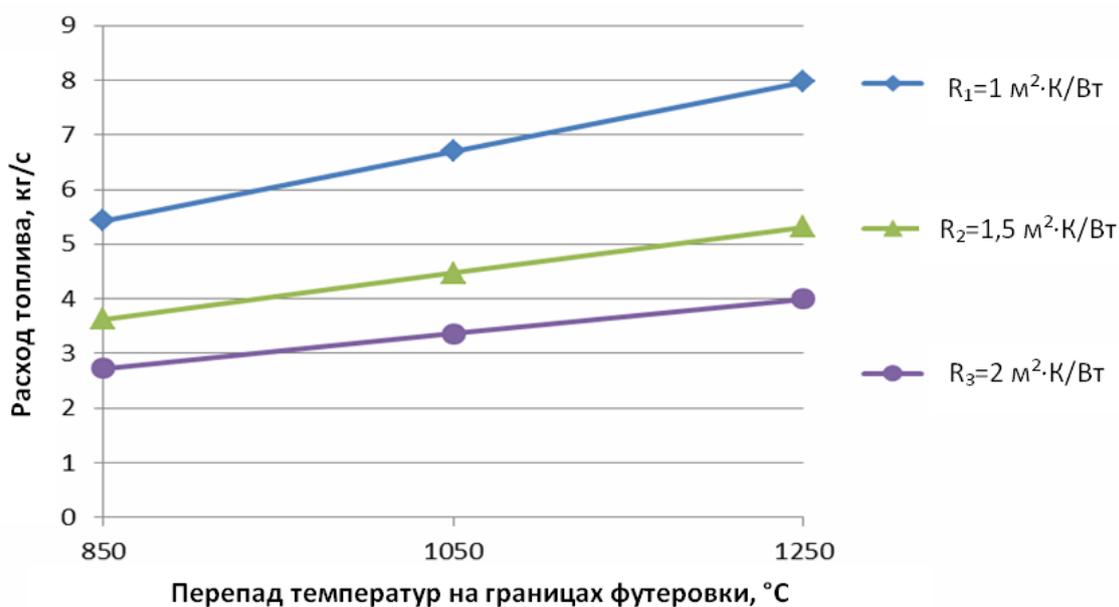


Рисунок 2 – Изменение расхода топлива в зависимости от перепада температур на границах футеровки

Можно прогнозировать, что увеличение  $R$  более  $2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  в минимальной степени повлияет на снижение расхода топлива. При этом стоимость теплоизоляционной футеровки будет расти пропорционально увеличению  $R$ . Поэтому конструкцию огнеупорной футеровки (толщину слоев футеровки, коэффициент теплопроводности слоев) необходимо подбирать таким образом, чтобы суммарное значение  $R$  не превышало  $2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Влияние роста  $\Delta t$  на  $V$  (рисунок 2) можно уменьшить снижением температур на границах футеровки за счет подбора рационального температурного поля футеровки и условий теплообмена. Оптимальные значения  $R$  и  $\Delta t$  можно вычислить, используя целевую функцию на основе затрат, предложенную в работе [5].

#### Библиографический список

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
3. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочник / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2003. – 668 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
5. Парамонов А.М. Энергосбережение путем оптимизации многослойной футеровки нагревательных печей кузнечных и термических цехов / А.М. Парамонов // Промышленная теплотехника. – 2015. – № 12. – С. 18 – 22.

**ОБЗОР СПОСОБОВ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ  
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА И МЕТОДЫ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ТЕПЛОВОГО ОБЪЕКТА**

**Шавлов И.С., Пинаев А.А., Пономарев Н.С., Голованов Н.С.  
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: nikflog@yandex.ru*

Проведен обзор современных литературных источников по проблеме повышения энергоэффективности теплового объекта путем интенсификации теплообмена на поверхности тепловоспринимающих поверхностей котлоагрегатов. Сформулированы условия оптимизации конструкции поверхностей теплообменников парогенератора.

Ключевые слова: энергоэффективность, интенсификация теплообмена, котлоагрегат.

Задача повышения эффективности теплообменных аппаратов (ТА) решается с использованием новых способов интенсификации теплообмена и применением новых схем ТА [1]. При ее решении необходимо принимать во внимание экономические (затраты на разработку, создание, эксплуатацию, обслуживание) и производственные факторы (технологичность обработки поверхностей теплообмена, их формование, установку устройств и других процессов производства), надежность (совместимость сред и материалов, жесткость конструкций и ресурс), безопасность и т.п. Проблема особенно значима в тех случаях, когда у одного или у обоих теплоносителей коэффициенты теплоотдачи малы. С целью интенсификации теплообмена увеличивают скорость теплоносителей с низким коэффициентом теплоотдачи, теплообменники делают двух-, четырех- и многоходовыми, в межтрубном пространстве устанавливают поперечные перегородки, уменьшают термическое сопротивление стенки, увеличивают скорости потоков, используют развитые поверхности теплообмена путем оребрения и ошиповки. Одновременно с этим разработчики ТА преследуют следующие цели: увеличение тепловой мощности теплообменного аппарата; снижение температурного напора; уменьшение массогабаритных характеристик теплообменника; снижение мощности на прокачку теплоносителя при фиксированной тепловой мощности и сохранении площади поверхности теплообмена. Эти цели соответствуют задачам энерго- и ресурсосбережения [2].

Методы интенсификации делятся на активные (механическое перемешивание, вибрация поверхности, пульсация потока, инжекция, электростатические поля, отсос пограничного слоя, струйные аппараты), пассивные

(обработанные, шероховатые и развитые поверхности, перемешивающие устройства, змеевики, дисперсные добавки для жидкостей, жидкостные добавки для газов); сложные или комбинированные (два или более пассивных и/или активных методов одновременно). Методы интенсификации снижают термическое сопротивление пристеночных слоев при конвективном теплообмене в теплопередающем устройстве, способствуя повышению коэффициента теплоотдачи [3].

Оребрение поверхности применяется со стороны теплоносителя, обладающего меньшим коэффициентом теплоотдачи. Оно целесообразно по весовым показателям, так как поверхность оребрения, в 5-10 раз превосходящая несущую поверхность трубок, не подвержена давлению, а поэтому ребра или турбулизирующие вставки изготавливаются из более тонкого материала, чем трубки [1]. Стремление увеличить поверхность нагрева экономайзера или сократить массу при той же поверхности привело к применению ребристых экономайзеров, состоящих из чугунных труб с круглыми или прямоугольными ребрами. Однако они чувствительны к внешнему загрязнению и требуют обдувки паром или воздухом. Главное преимущество трубчатых теплообменников (80–90 % мирового и отечественного рынка) – широкий диапазон рабочих температур и давлений, возможность использования в различных отраслях промышленности и видах технических устройств и технологий.

Изменение формы теплопередающих поверхностей усиливает режим турбулентности в теплоносителе без существенного увеличения площади поверхности теплообмена. Геометрические характеристики таких поверхностей охватывают широкий диапазон шероховатостей – от зернистой (песочной) до дискретных трехмерных поверхностных выемок и выступов. Интенсификация теплоотдачи при однофазном турбулентном течении повышается в 2,5–3,5 раза, при кипении увеличиваются критические тепловые потоки на 50–200 %, а при конденсации коэффициенты теплоотдачи возрастают в 5 раз. В дымогарных трубах котлов используются турбулизаторы потока, выполненные в виде спиральных проволочных вставок, кольцевой или спиральной накатки, выштамповок различной формы, что позволяет разрушать пограничный слой и турбулизировать пристеночные слои газового потока [4-7].

Целью настоящей работы является разработка математической модели, позволяющей прогнозировать изменение расхода топлива в зависимости от теплофизических параметров воздухоподогревателя и разработка мероприятий, повышающих энергоэффективность котельного агрегата.

Анализ энергоэффективности теплоэнергетического объекта был выполнен на основе теплового баланса котлоагрегата и разработки математической модели эффективности работы теплообменника [1].

Расчеты расхода топлива  $B$ , кг/с, выполняли для следующих технических показателей котлоагрегата:  $D = 0,2$  кг/с;  $q_{п} = 2260$  кДж/кг;  $Q_{Н}^P = 25000$  кДж/кг;  $C_T = 1,25$  кДж/(кг · К);  $t_T = 100$  °С;  $\alpha = 1,2$ ;  $V_B^T = 6,5$  м<sup>3</sup>/кг;  $C_B = 1,3$

кДж/(кг · К);  $t_B = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_D^d = 8,8 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $C_d = 1,3 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $t_d = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{шл} = 0,95 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $t_{шл} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $a = 0,1$ ;  $\Delta t = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma R_i = 1,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ ;  $F = 160 \text{ м}^2$ . Потери теплоты от химической и механической неполноты горения топлива приняли равными нулю.

Зависимость расхода топлива в котлоагрегате от температуры подогретого воздуха и коэффициента избытка воздуха горения представлена на рисунке 1. Зависимость  $B$  от коэффициента теплопередачи теплообменника показана на рисунке 2.

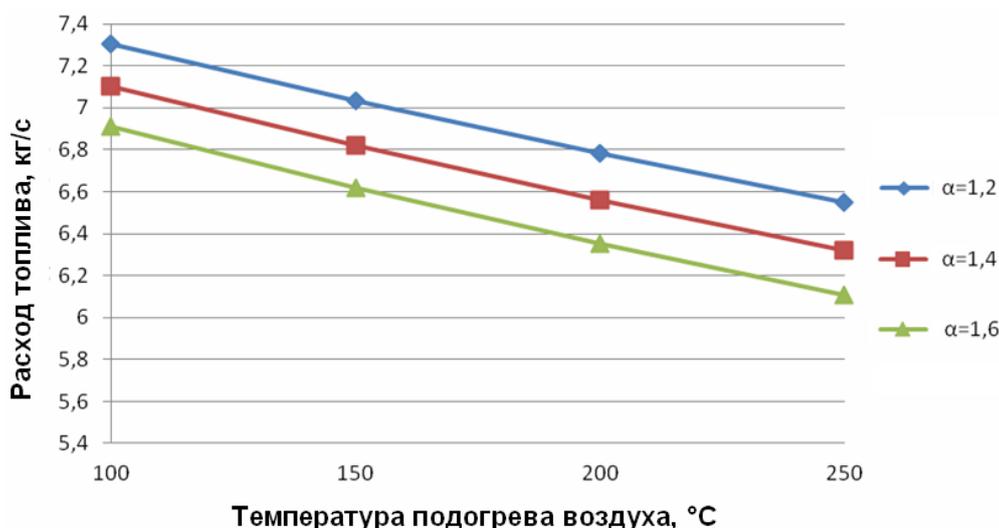


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива  $B$  от температуры подогретого воздуха при различных коэффициентах избытка воздуха

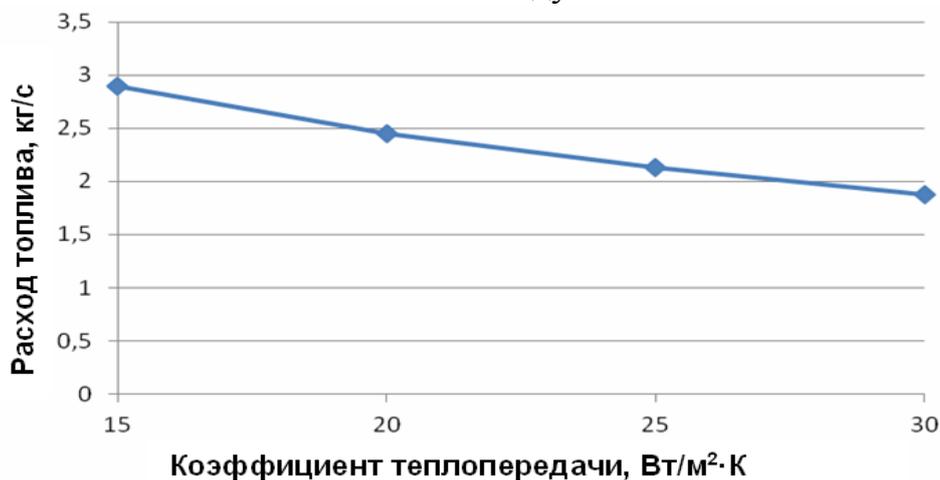


Рисунок 2 – Зависимость расхода топлива от коэффициента теплопередачи воздухоподогревателя

Коэффициент теплопередачи – это суммарная тепловая характеристика, которая может непосредственно влиять на температуру подогрева воздуха и на уменьшение габаритов теплообменника. Что, в свою очередь, позволяет прогнозировать уменьшение расхода топлива в парогенераторе.

Обе зависимости предполагают, что повышение температуры подогрева воздуха и коэффициента теплопередачи достигнуто одним из вышеперечисленных в статье активных и пассивных методов интенсификации теплообмена. Качественное повышение этих показателей от интенсификации теплообмена технически достижимо и реализуется на практике в любом случае. Количественное значение этих зависимостей предполагает проведение сложных экспериментов, что является ближайшей задачей.

Результаты расчетов показывают, что расход топлива зависит от температуры подогрева воздуха и коэффициента избытка воздуха. Температура подогрева воздуха, в свою очередь, зависит от интенсивности теплопередачи на границе теплообмена и является функцией суммарного коэффициента теплопередачи. Поэтому зависимости, отображающие уменьшение расхода топлива от температуры подогрева и коэффициента теплопередачи (рисунок 2), – идентичные. В свою очередь  $K$  можно увеличить конструктивными мероприятиями, связанными преимущественно с оребрением теплопередающей поверхности теплообменника. Увеличение коэффициента избытка подогретого воздуха в этой модели увеличивает приходную часть теплового баланса и позволяет снизить расход топлива и дает основание для реконструкции теплообменника в направлении увеличения коэффициента теплопередачи за счет теплогидравлической интенсификации теплообмена.

#### Библиографический список

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
2. Попов И.А. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы / И.А. Попов, Ю.Ф. Гортышов, В.В. Олимпиев. – Казань: Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2012. – с. 3–13.
3. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочник / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2003. – 668 с.
4. Бухмиров В.В. Выбор рационального режима работы калорифера перед регенеративным воздухоподогревателем энергоблока мощностью 300МВт / В.В. Бухмиров // Теплоэнергетика. – 2010. – №8. – С. 46–48.
5. Драганов Б.Х. Эксергоэкономическая оптимизация поверхностных теплообменных аппаратов / Б.Х. Драганов // Теплоэнергетика. – 2010. – №10. – С. 65–68.
6. Балунув Б.Ф. Исследование теплогидравлических характеристик кожухотрубного водоподогревателя с интенсификацией теплообмена путем использования теплообменных трубок с лунками / Б.Ф. Балунув [и др.] // Теплоэнергетика. – 2008. – №1. – С. 56–60.
7. Целищев М.Ф. Моделирование вальцевания трубок и его влияния на напряженно-деформированное состояние трубных досок теплообменных аппаратов паротурбинных установок / М.Ф. Целищев [и др.] // Теплоэнергетика. – 2008. – №3. – С. 33–36.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО  
ОБЪЕКТА ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА  
СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

**Полковников А.В., Кравченко С.В., Грицан В.С., Красильников В.В.  
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: ziz9415@mail.com*

Проведен обзор современных литературных источников по проблеме повышения энергоэффективности теплового объекта путем интенсификации теплообмена и улучшения процесса теплогенерации. Сформулированы условия выбора энергетического топлива для котлоагрегата с учетом расхода топлива, стоимостных показателей и эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: энергоэффективность, процесс сжигания топлива, котлоагрегат.

В экономике России энергосбережение и энергосберегающие технологии являются приоритетными при внедрении их в производство. Эффективность и экономичность работы оборудования тепловых станций во многом определяются выбором топлива и методом его сжигания, совершенством и правильностью эксплуатации теплотехнического оборудования [1, 2].

Энергетическое топливо оценивают по теплоте сгорания, выходу летучих веществ и коксовому остатку, зольности топлива и его свойствам, влажности и содержанию серы и сернистых соединений [3]. Неоднородность состава топлива, переменная вязкость и плотность среды являются основными причинами нестабильной теплогенерации и работы котлов, приводящие к повышенному химическому недожогу из-за ухудшения смесеобразования и качества горения, с одновременным образованием сажи и коксовых частиц [4-6]. В свою очередь, это способствует интенсивному образованию плотных отложений на теплообменных поверхностях нагрева котла, что приводит к развитию интенсивной коррозии металла. Низкая эффективность технологии сжигания топлива может быть связана с повышенными присосами холодного воздуха в топку и газовый тракт котла, что увеличивает коэффициент избытка воздуха и затраты на удаление отходящих газов в дымовом тракте. Нерациональная схема размещения топливосжигающих устройств и зон зажигания также может нарушить стабильность теплогенерации [6-8]. В результате этого образуется физическая неполнота сжигания топлива, приводящая к повышенному содержанию горючих в золе уноса, особенно на больших нагрузках котла; формируется высокий уровень температуры топочных газов за конвективным пучком, что повышает потери теплоты с уxo-

дящими газами; увеличивается удельный выброс оксидов азота  $\text{NO}_x$  в атмосферу. Неплотности газового тракта приводят к дефициту тяги и перерасходу электроэнергии на эвакуацию продуктов горения из топочного пространства [9-11].

Целью работы явился анализ изменения расхода топлива в котлоагрегате с учетом его теплотехнических и стоимостных показателей и выработка рекомендаций по выбору рационального типа энергетического топлива.

С помощью теплового баланса парогенератора был вычислен расход топлива  $B$ , кг/с, с учетом физической неполноты сжигания и химического недожога, возникающих при его горении. Значением физического недожога проектировщики задаются на уровне 1 - 5 %, руководствуясь нормами теплового расчета котельных агрегатов. В реальном процессе его величина может достигать 10-12 %.

Для расчета  $B$  использовали следующие технические показатели котлоагрегата:  $D=0,2$  кг/с;  $q_H^p=7 - 40,3$  МДж/кг;  $c_{\text{тл}}=1,25$  кДж/(кг·К);  $T_{\text{тл}}=373$  К;  $\alpha=1,05$ ;  $q_H=2200$  кДж/кг;  $V^0=6,5$  м<sup>3</sup>/кг;  $c_B=1,0$  кДж/(кг·К);  $c_D=1,3$  кДж/(кг·К);  $T_B=473$  К;  $V_D^d=8,8$  м<sup>3</sup>/кг;  $T_D=440$  К;  $c_{\text{шл}}=0,95$  кДж/(кг·К);  $T_{\text{шл}}=523$  К;  $\Delta T=40$  К;  $\sum R_i=1,271$  м<sup>2</sup>·К/Вт;  $q_{\text{см}}=12000$  кДж/м<sup>3</sup>;  $F=54,9$  м<sup>2</sup>. Обозначения параметров приняты по источнику [2].

Зависимость расхода топлива от теплоты сгорания (рисунок 1) позволяет подобрать расход топлива от вида применяемого топлива.



Рисунок 1 – Зависимость  $B$  от теплоты сгорания различных видов топлива

Если учесть стоимостный показатель топлива  $C$ , руб/с, вычисленный по формуле:  $C=B \cdot \Pi$ ; где  $B$  – расход топлива, кг/с;  $\Pi$  – цена топлива, руб/кг, то в этом случае приоритет будет за твердыми видами топлива (горючие сланцы, торф, бурый и каменный угли), у которых этот показатель минимальный 1,8-2,2 руб/с. Значение показателя можно уменьшить, используя в

качестве частичного заменителя твердого органического топлива вторичные энергетические ресурсы. Такими ресурсами в настоящее время являются древесные и растительные отходы, отходы углеобогащения и других отраслей техники, имеющие органическую основу и техногенное происхождение.

Однако эксплуатационные затраты тепловой станции при работе на твердых видах топлива существенно выше. Они включают затраты на транспортировку, сушку, золошлакоудаление, очистку дымовых газов от твердых и газообразных вредностей, организацию рационального режима горения и другие мероприятия. Зависимости расхода топлива от доли механического и химического недожога твердого топлива (рисунки 2 и 3) показывают, что расход топлива увеличивается при отсутствии должной организации режима горения. Стоимость газообразных видов топлива выше, однако, организация сжигания более простая и характеризуется отсутствием всех видов недожога и выбросом твердых вредностей в атмосферу. Поэтому в настоящее время в теплоэнергетике существует преобладающая тенденция к использованию газообразного топлива.

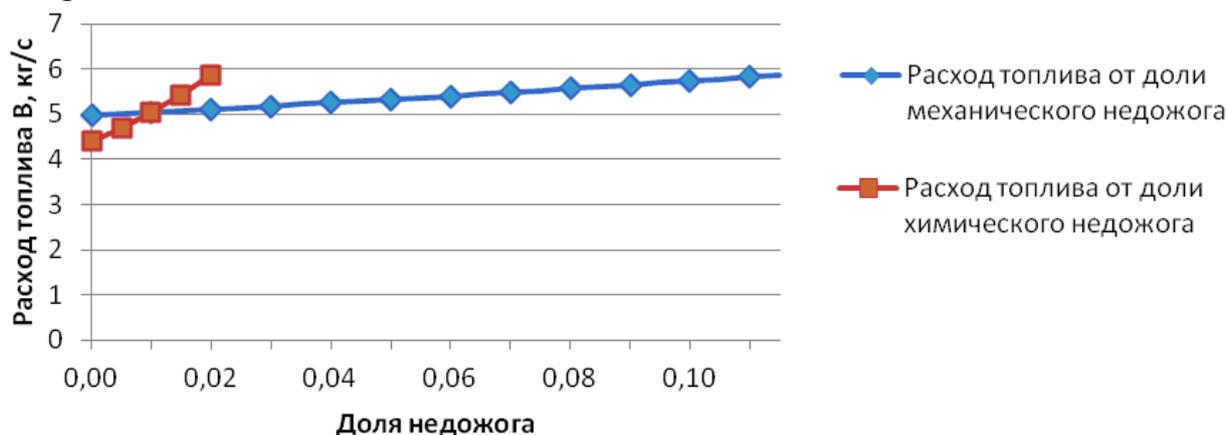


Рисунок 2 – Зависимость В от доли недожога

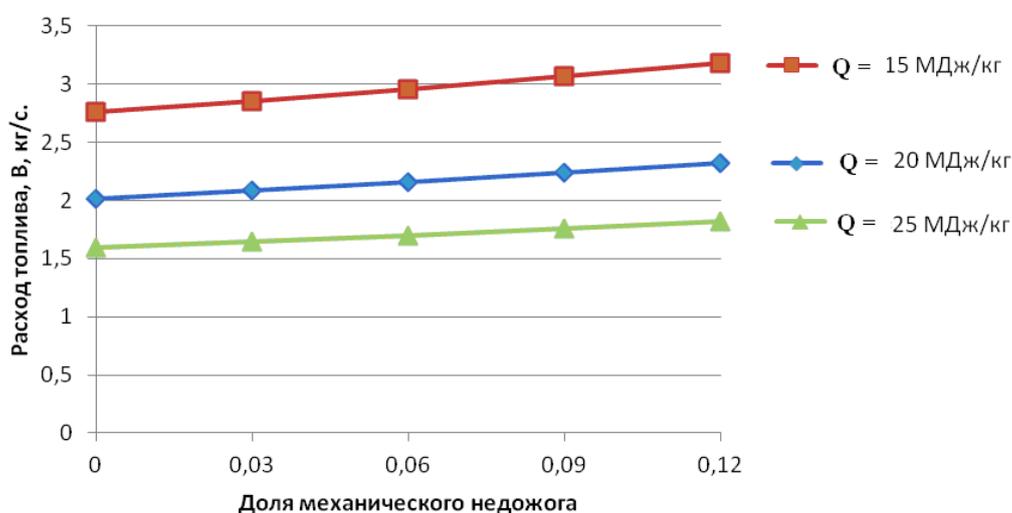


Рисунок 3 – Зависимость В от доли механического недожога при разных значениях теплоты сгорания топлива

В заключение можно отметить, что выбор оптимального вида топлива является сложной задачей и зависит от дополнительных технических и экономических показателей, которые трудно учесть в рассматриваемой работе. К этим показателям относятся рыночные колебания стоимости, транспортные расходы, технологические риски и ряд других. Кроме этого любой вид топлива характеризуется специфическими характеристиками, которые могут зависеть от условий добычи, погодных условий и экологических требований.

#### Библиографический список

1. Фокин В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / В.М. Фокин. – М.: Машиностроение, 2006. – 240 с.
2. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
3. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И.Я. Сигал. – М.: Недра, 1988. – 324 с.
4. Вагнер А.А. Повышение надежности, экономичности и экологической эффективности работы котла БКЗ-210-140Ф при переводе на ступенчатое сжигание кузнецкого угля в U-образном факеле / А.А. Вагнер // Электрические станции. 2004. № 5. С. 17–21.
5. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, В.Д. Ремезов. – М.: ИД МЭИ, 2009. – 224 с.
6. Архипов А.М. Влияние максимально быстрого прогрева и зажигания пыли кузнецких углей на комплексную эффективность работы энергетических котлов / А.М. Архипов, В.Я. Путилов // Теплоэнергетика. 2010. № 6. С. 12–19.
7. Архипов А.М. Ступенчатое факельное сжигание кузнецких углей на ТЭС / А.М. Архипов, В.Я. Путилов // Теплоэнергетика. 2009. № 8. С. 52–57.
8. Расширение технологических возможностей схем рециркуляции продуктов сгорания на газомазутных котлах / В.В. Ульянов // Электрические станции. 2005. № 5. С. 28–33.
9. Климова Г.Н. Семь проблем и семь ключей энергосбережения / Г.Н. Климова, В.В. Литвак. – Томск: Красное знамя, 2013. – 180 с.
10. Некрасов А.С. Управление энергетикой предприятия / А.С. Некрасов, Ю.В. Синяк. – М.: Энергия, 1979. – 296 с.
11. Савенко Ю.Н. Энергетический баланс / Ю.Н. Савенко, Е.О. Штейнгауз – М.: Энергия, 1971. – 184 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОГНЕУПОРОВ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Никитин Д.А., Леонов М.В., Эзерих Н.С., Бугаева А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail:mixail.leonov2011@yandex.ru*

Проведен обзор современных литературных источников по проблеме повышения энергоэффективности промышленного объекта путем оптимизации конструкции теплоизоляционной футеровки котлоагрегатов, печей и производственных сооружений. Сформулированы условия оптимизации компоновки теплоизоляционного ограждения котлоагрегата.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляционная футеровка, котлоагрегат.

Футеровка (обмуровка) теплового агрегата служит для теплового ограждения топочной камеры и газоходов от окружающей среды. Конструкция футеровки должна обеспечивать минимальные потери теплоты в окружающую среду, быть плотной, противостоять длительному воздействию высоких температур, химическому воздействию продуктов сгорания, золы и шлаков, быть механически прочной, легкой, простой, дешевой и доступной для ремонта, облегчать монтаж парового или водогрейного котла [1].

Футеровку котлоагрегатов принято условно разделять на тяжелую, облегченную и легкую [2]. Современная облегченная футеровка парогенератора выполняется с применением легковесного шамотного кирпича, огнеупорного бетона, огнеупорной хромомagneзитовой обмазки [3]. В качестве тепловой изоляции применяют диатомитовый кирпич и асбестовермикулитовые плиты. Снаружи обмуровка обшита металлическим листом [4]. По другому варианту компоновки огнеупорная футеровка выполнена из шамотобетона, а изоляционный слой - из минераловатных матрасов, на которые нанесена магнезиальная обмазка. Шамотобетон наносится на металлическую плетеную сетку, которая натягивается на штыри с резьбой на конце. Штыри привариваются к шайбам, которые прикреплены к экранным трубам. Изоляционные матрасы изготавливаются из минеральной ваты. Обмуровка по одной из легких конструкций выполняется из торкретмассы, закрепленной на металлической сетке. Изоляция осуществлена двумя слоями: слоем жаростойкой изоляции из диатомита и слоем из нескольких асбоцементных плит. Поверх плит на металлическую сетку наносится штукатурка, окрашенная масляной краской в два слоя. Сетка закрепляется на балках каркаса и на штырях, приваренных к трубам.

Накаркасная обмуровка состоит из слоя огнеупорного кирпича и изоляции, выполненной из диатомитовых изделий и совелитовых плит. Через каждые 2,5-3,0 м высоты футеровки установлены разгрузочные кронштейны, на которые опирается обмуровка. Такая конструкция уменьшает напряжения от собственной массы обмуровки и обеспечивает возможность ремонта любого пояса. Крепление обмуровки производится стяжными крюками, которые с одной стороны зацепляются за трубу, приваренную к обшивке каркаса, а с другой свободно входят в пазы фасонного огнеупорного кирпича.

Задача оптимизации многослойной футеровки теплового агрегата заключается в определении оптимальной ее толщины, обеспечивающей минимум потерь теплоты, затрат на изготовление и эксплуатацию, а так же в выборе оптимальной последовательности расположения и толщины отдельных слоев из огнеупорных и теплоизоляционных материалов при уменьшении общей толщины и массы футеровки [5]. Впервые задача повышения тепловой эффективности футеровки промышленных печей была рассмотрена в работах Глинкова М.А. [1].

В работе [6] рекомендуют с ростом температуры газов в топке котла с 1273 К до 1773 К толщину стен увеличить с 0,42 м до 0,47 м. Толщина пода также подчиняется этой зависимости и примерно в 1,5 раза должна быть увеличена. Оптимальной толщиной футеровки стен и свода в зависимости от низшей рабочей теплоты сгорания топлива должна также вырасти примерно на 10 %, начиная с величины  $Q_n^p$ , равной 20000 КДж/кг. Также существует зависимость оптимальной толщины футеровки от количества рабочих часов котлоагрегата.

Целью работы явилась разработка математической модели расчета расхода энергетического топлива в зависимости от теплофизических характеристик огнеупорной теплоизоляционной футеровки и разработка рекомендаций по рациональному выбору компоновки футеровки.

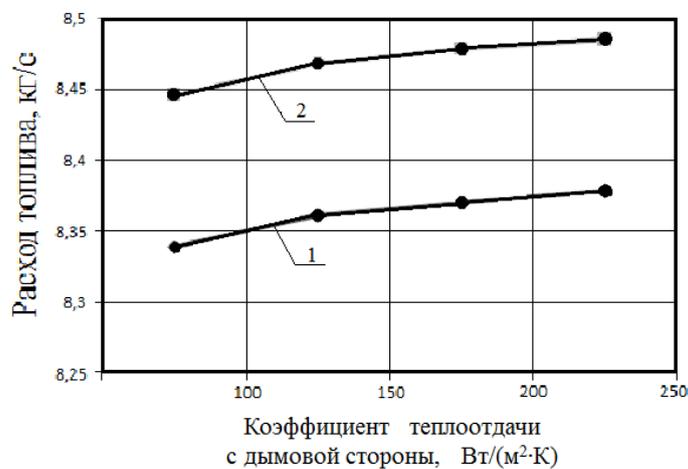
С помощью теплового баланса котлоагрегата составили математическую модель для расчета расхода топлива  $B$ , кг/с, с учетом параметров футеровки котла [7]. В расчетах использовали следующие усредненные технические показатели котлоагрегата:

$D = 0,2$  кг/с;  $q_n = 2260$  кДж/кг;  $Q_n^p = 22050$  кДж/кг;  $c_T = 1,25$  кДж/(кг К);  
 $t_T = 100$  °С;  $\alpha = 1,2$ ;  $V_B^T = 6,5$  м<sup>3</sup>/кг;  $c_B = 1,3$  кДж/(кг К);  $t_B = 200$  °С;  
 $V_D^A = 8,8$  м<sup>3</sup>/кг;  $c_D = 1,3$  кДж/(кг К);  $t_D = 300$  °С;  $\alpha = 0,1$ ;  $c_{шл} = 0,95$  кДж/(кг К);  
 $t_{шл} = 250$  °С;  $F = 180$  м<sup>2</sup>;  $\Delta t = 1150$  °С. Обозначения показателей приняты по источнику [2].

Для первого слоя футеровки использовали шамот класса А, для второго слоя футеровки - огнеупорный бетон с шамотным наполнителем, для третьего слоя - теплоизоляционные армированные маты из каолиновой ваты. Параметры футеровки приведены ниже:  $\delta_1 = 0,230$  м;  $\delta_2 = 0,115$  м;  $\delta_3 = 0,115$  м;  $\lambda_1 = 0,5$  Вт/(м·К); при  $t_{cp} = 1000$  °С;  $\lambda_2 = 0,48$  Вт/(м·К); при  $t_{cp} = 500$  °С;

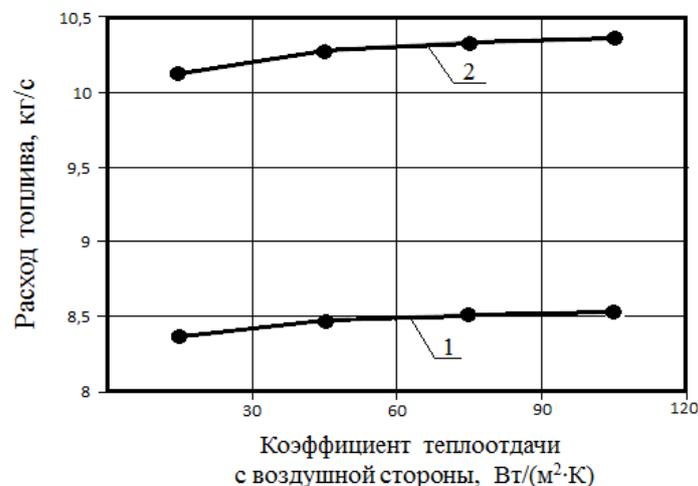
$\lambda_3 = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; при  $t_{\text{ср}} = 200 \text{ }^\circ\text{С}$ ;

Зависимость  $B$  от коэффициента теплоотдачи на дымовой стороне футеровки котлоагрегата показана на рисунке 1. Зависимость  $B$  от коэффициента теплоотдачи на воздушной стороне футеровки котлоагрегата при различной теплопроводности шамотных изделий приведена на рисунке 2.



1 –  $\alpha_{\text{в}}=30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ; 2 –  $\alpha_{\text{в}}=60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива от коэффициента теплоотдачи с дымовой стороны



1 –  $\lambda=0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; 2 –  $\lambda=1,0 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Рисунок 2 – Зависимость расхода топлива от коэффициента теплоотдачи с воздушной стороны

Полученные зависимости показывают, что увеличение коэффициентов конвективной теплоотдачи на границах футеровки приводит к увеличению расхода топлива в котельном агрегате. Причем коэффициент теплоотдачи на дымовой стороне в большей степени влияет на расход топлива. В этой связи целесообразно предложить мероприятия по снижению  $\alpha_{\text{д}}$  теплотехническими методами. В максимальной степени можно снизить расход топлива в котлоагрегате уменьшением коэффициентов теплопроводности огнеупорного и

теплоизоляционного слоев футеровки, используя для этого перспективные волокнистые материалы.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
2. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
3. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
4. Хадеева Л.И. Оценка экономической эффективности модернизации основного энергетического оборудования / Л.И. Хадеева. – Иваново: ИГЭУ, 2005. – 16 с.
5. Рахимов Р.З. Теплоизоляция из каменной ваты / Рахимов Р.З. – М.: АСВ, 2010. – 311 с.
6. Климова Г.Н. Семь проблем и семь ключей энергосбережения / Г.Н. Климова, В.В. Литвак. – Томск: Красное знамя, 2013. – 180 с.
7. Компоновка и тепловой расчет парогенератора / Ю.М. Липов [и др.]. – М.: Энергия, 1975. – 176 с.

УДК 669.162

### **ПОВЫШЕНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОКУСКОВАННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОДУКТА**

**Шабалина М.К., Тодышев А.А., Шуркин А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: poz1.95@mail.ru;*

Проведен обзор литературных источников по проблеме повышения реакционной способности окускованного металлургического продукта. Сформулированы условия оптимизации поровой структуры окускованных дисперсных железосодержащих материалов.

Ключевые слова: реакционная способность, окускованное металлургическое сырье, железорудные окатыши и брикеты.

Окускование железорудных материалов необходимо для получения прочного кускового продукта, являющегося сырьем для экстракции первичного металла (чугуна) в доменных печах или для металлизации сырья в шахтных агрегатах. Существуют три основных способа окускования пылевидной рудной мелочи и тонкоизмельченных железорудных концентратов:

агломерация, брикетирование и производство окатышей. Выбор способа окускования техногенного вторичного сырья (ТВС) сопряжен с рядом технологических и экономических ограничений. В частности, для производства железосодержащих окатышей необходима гидрофильная (смачиваемая водой) структура частиц, размер которых не должен превышать 0,074 – 0,10 мм. Для получения агломерата, напротив, фракция частиц размером менее 0,05 мм нежелательна, поскольку ухудшает газопроницаемость слоя спекаемой шихты и потому требует дополнительного окомкования с получением микроокатышей. Процесс брикетирования по этим критериям менее требователен и позволяет прессовать дисперсное вторичное и рудное сырье с низкой степенью гидрофильности в более широком диапазоне крупности частиц (0 – 5,0 мм) практически в любых пропорциях и составах. По этим причинам процесс брикетирования организовать технологически проще. Некоторую трудность представляет лишь дозирование связующих и их качественное смешивание с брикетируемым материалом. Брикетирование расширяет сырьевую и топливно-энергетическую базу металлургии, позволяет шире внедрять внедоменные способы получения железа.

Целью работы являлось обобщение известных методов формирования параметров структуры окускованных продуктов и применение этих методов в технике производства железорудных брикетов.

Для решения поставленной задачи использовали информационные источники в металлургии и смежных отраслях промышленности. Результаты обобщения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы формирования структуры окускованных продуктов

Параметр структуры окускованного продукта	Метод воздействия	Технологические операции	Источник
Общая пористость	1. Применение выгорающих и вспенивающих добавок	1. Введение в состав шихты частиц угля, кокса, пека, древесных и растительных материалов, мылов	[1]
	2. Применение специальных режимов сушки и обжига	1. Многоступенчатая сушка и циклическое реакционное спекание	[2]
Характер пористости (открытая, закрытая, проницаемая, непроницаемая и т.д)	1. Применение специальных стабилизирующих добавок	1. Введение в состав шихты трубчатых древесных и растительных частиц, тканевых и волосяных нитей	[3]

Продолжение таблицы 1

Параметр структуры окускованного продукта	Метод воздействия	Технологические операции	Источник
	2. Применение специальных методов формообразования	1.Формирование канальной пористости полусухим, инъекционным формованием, вибропрессованием и др. 2. Использование аэродинамических методов формообразования	[3,4]
Форма пор (сферическая, канальная, извилистая, сложной формы) и характер извилистости	1. Подготовка специальных гранулометрических и минеральных составов шихты	1. Применение полидисперсного состава добавок. 2. Применение расширяющих компонентов с различными коэффициентами термического расширения. 3. Использование испаряющихся связующих	[5,6]
Влажность	1.Уменьшение влажности тела применением специальных методов формообразования	1. Полусухое формование и торкретирования. 2. Способ струйной теплосиловой вой обработки и напыления	[1,3]

Реакционная способность сырьевых металлургических продуктов связана с формированием в структуре кусковых продуктов повышенного количества пор крупных размеров, на границах которых способны активно протекать химические реакции. Для успешного протекания термохимических процессов пористость должна быть преимущественно открытой, проницаемой для восстановительных газов, с минимальной извилистостью. На этапе сушки окускованное тело должно иметь невысокое содержание влаги и возможность облегченной диффузии пара из центральной части куска на его поверхность, чтобы исключить формирование предельных структурных и термических напряжений, и связанного с ними процесса трещинообразования. Повышенная реакционная способность окускованного сырья благоприятна для режима фильтрации горновых газов через структуру брикетов и окатышей во время сушки и обжига. Если в шихте окускованных продуктов присутствуют топливные и восстановительные добавки, то благоприятная

поровая реакционная структура одновременно дает возможность протекания окислительных процессов и реакций пиролиза.

Проблема повышения реакционной способности ограничивается снижением механической прочности брикетов, структурно содержащих порообразующие добавки (ПД), что необходимо учитывать при разработке технологии брикетирования. В компромиссном варианте следует учитывать требования ГОСТ по формированию необходимой прочности. Для достижения стандартной прочности брикетов (более 40-60 МПа) [1] рационально использовать более эффективные связки или предусматривать дополнительную упрочняющую термообработку.

К порообразующим добавкам можно предъявить аналогичные требования, что и к связующим материалам. Они должны обладать высокими поверхностно-активными свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность брикетов при минимальном расходе связующего материала. Обеспечивать быструю схватываемость и высокую пластичность прессуемой массы. Вносить минимальное количество вредных, балластных и других примесей, опасных для обслуживающего персонала и снижающих качество конечного продукта. Не ухудшать условий плавки брикетов, быть распространёнными и обладать невысокой стоимостью, характеризоваться низкими транспортными затратами по их доставке на фабрику, не требовать сложных приёмов и операций по их использованию, обеспечивать минимальную влагостойкость.

В экспериментах применяли холодное брикетирование железосодержащих шламов ККЦ-2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Исходные данные для брикетирования: средний размер частиц шлама 0,068 мм, массовая доля связующего 10 %, давление прессования 50 МПа. Температура сушки составляла 105 °С, время сушки – 30 минут. Форма брикетов – Архимедов цилиндр ( $h=d=15$  мм). В качестве порообразующих добавок использовали измельченные стеблевые отходы злаковых культур растительного происхождения. Измельчение проводили на лабораторной мельнице ПМ-16. Измельченные ПД имели игольчатое строение с трубчатой формой сечения диаметром от 0,1 до 1,2 мм. Некоторые частицы имели полукруглое желобчатое сечение. Длина растительных иголок составляла от 1 до 10 мм. В процессе перемешивания компонентов добивались равномерного распределения ПД в структуре массы. В процессе прессования визуально фиксировали схватываемость (твердение) массы и поведение материала в процессе смешивания и прессования.

Эксперименты показывают, что введение до 5 % ПД снижает прочность брикетов на 8-10 % при использовании сульфитдрожжевой бражки (СДБ) и жидкого стекла (50 % водный раствор) ЖС в качестве связки. Увеличение массовой доли этих связующих до 11-12 % позволяет компенсировать снижение прочности брикетов. В ходе экспериментов было зафиксировано снижение пластических свойств брикетируемой шихты, что привело к необходимости более качественного измельчения ПД и устранения крупных

фрагментов размером более 1-3 мм из состава ПД. Для повышения пластичности массы предложено использовать смесь СДБ и ЖС, затворенную водным растворителем. Некоторые растительные частицы, преимущественно крупного (0,5-1,0 мм) размера, располагались по радиусу брикета с выходом на его поверхность, что косвенно свидетельствует о формировании проницаемых каналов в структуре брикетов. Исследование капиллярной пропитки брикетируемой массы, содержащей ПД, показало увеличение скорости распространения влаги в поровой структуре брикетов на 6-8 %.

Брикетирувание железосодержащей шихты с участием ПД показало возможность повышения реакционной способности железорудных брикетов. Технологические трудности, возникающие в процессе формообразования массы, можно устранить подбором оптимального количества связующего и применением более эффективных комбинированных связок.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
2. Павловец В. М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Павловец В. М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. Монография / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
5. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю. С. Юсфин [и др.]. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
6. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Ю.Г. Ярошенко [и др.]. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.

УДК 669.162

## МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

**Ракуц Р.О., Тодышев А.А., Шуркин А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: paragraff78@inbox.ru*

Проведен обзор литературных источников по проблеме формирования оптимальной поровой структуры железорудных окатышей, обеспечивающей повышение реакционной способности окускованного металлургического продукта. Сформулированы условия оптимизации поровой структуры и

предложены методы получения железорудных окатышей с улучшенными металлургическими свойствами.

Ключевые слова: поровая структура, реакционная способность окатышей, окускованное металлургическое сырье, железорудные окатыши.

Железорудные окатыши, наряду с агломератом, являются основным металлургическим сырьем для производства передельного чугуна (30-90 % в шихте доменной плавки) и металлизированных брикетов, применяемых для выплавки электростали [1, 2]. К окатышам, используемым для металлизации, предъявляют повышенные требования по содержанию железа и пустой породы, химическому и минеральному составу, прочностным свойствам, восстановимости, грансоставу и др. Для стабильного получения сырых окатышей при окомковании используют железорудную шихту, включающую железосодержащие концентраты, шламы, отходы, флюсующие и связующие добавки, с частицами крупностью менее 0,074 мм (93-96 %) [3]. Главное требование по фракционному составу шихты продиктовано трудностью окомкования (формообразования) грубодисперсных шихтовых материалов, коэффициент комкуемости у которых составляет менее 0,5, а прочность сырых окатышей не превышает 10 Н/окатыш.

Окатыши удовлетворительной прочности можно получить при грубом помоле концентрата до крупности, равной 0,2 мм [3]. Основное условие для таких шихт при окомковании является замена воды на более эффективные и дорогостоящие связующие. Это растворы жидкого стекла, сульфит-дрожжевая бражка, известковое молоко и др. [2]. Возможность снижения себестоимости окатышей привела к использованию в качестве связующего отходов теплоэнергетики, химической, металлургической и пищевой промышленности. В частности, применяя отходы сахарной патоки при окомковании, можно получить после обжига окатыши высокой прочности [1]. Используя альтернативные связующие необходимо учитывать, что их добавки снижают содержание железа в окатышах и часто приводят к необходимости уменьшения максимальных температур обжига [2]. По этой причине широко распространенный бентонит, вводимый в количестве 1,0-1,5 %, предлагается заменять синтетическим связующим в количестве 0,1-0,2 %. В США разработали комбинированные связующие на основе кальцинированной соды, позволяющие снизить содержание связки в шихте до 0,5 кг/т. В Швеции бентонит заменяют хлоридами кальция и железным купоросом.

Частичная замена дорогостоящего концентрата железосодержащими отходами металлургического производства позволяет снизить себестоимость окускованного сырья. В шихте окатышей применяют металлургические шлаки, бокситовые красные шламы, другие железосодержащие материалы [1,2].

Использование топливных добавок в шихте окатышей (измельченный уголь, пековый кокс, шламы углеобогащения, тканевые и волосяные нити, древесные опилки [2]) позволяет реализовать теплотехнические преимуще-

ства топлива, находящегося в структуре окатышей, при их обжиге [2,3]. Снижается расход более дорогостоящего природного газа, уменьшается длительность термообработки за счет внутреннего источника тепловыделения. Появляется возможность формирования более высокой пористости и улучшенной структуры окатышей. Порообразующие добавки (ПД) должны обладать высокими поверхностно-активными свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность окатышей. Вносить минимальное количество вредных, балластных и других примесей, опасных для обслуживающего персонала и снижающих качество конечного продукта. Не ухудшать условий плавки, обладать невысокой стоимостью. Однако при использовании угля, кокса и углеродсодержащих шламов снижаются комкующие свойства шихты, при обжиге углеродсодержащих окатышей появляется опасность появления спеков. По этой причине содержание углеродсодержащих добавок в шихте окатышей не превышает 1-2 % [3].

Повышение реакционной способности сырых металлургических продуктов связано с формированием в структуре окатышей повышенного количества пор крупных размеров, причем пористость должна быть преимущественно открытой, проницаемой для восстановительных газов, с минимальной извилистостью. На этапе сушки окускованное тело должно иметь оптимальное содержание влаги, чтобы исключить формирование предельных структурных и термических напряжений, и связанного с ними процесса трещинообразования. Повышенная реакционная способность окускованного сырья благоприятна для режима фильтрации горновых газов через структуру брикетов и окатышей во время сушки и обжига.

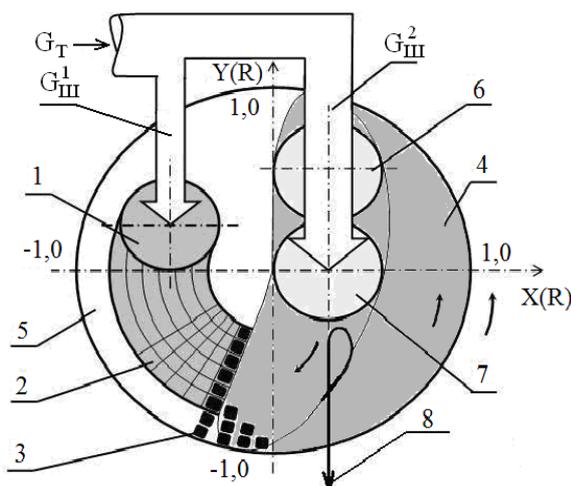
Применение измельченных до крупности 0,1 мм частиц растительного происхождения (древесные частицы, растительная мука) в количестве 1-2 % не ухудшает процесс окомкования, поскольку некоторые из них (например, хвойные) проявляют связующие свойства, усиливающиеся во влажной среде. Стеблевые растительные отходы, измельченные до игольчатого состояния, после обжига окатышей способны сформировать поровую структуру окатышей, содержащих капилляры с минимальной извилистостью, что при восстановлении повышает степень металлизации сырья.

Чтобы исключить ограничения по использованию труднокомкуемых ПД в процессе окомкования и воздействовать на поровую структуру окатышей предложено использовать принудительное зародышеобразование, осуществляемое методом напыления влажной шихты на гарнисаж окомкователя сжатым воздухом [1,2, 4]. В этой технологии напыленный слой шихты (НС), разделенный на множество зародышевых фрагментов, является шихтовой матрицей для получения зародышей с управляемой структурой.

Целью работы являлся анализ методов формирования пористости окатышей с помощью теплосилового метода обработки влажной железорудной шихты в рабочем пространстве окомкователя.

Схема принудительного зародышеобразования реализуется с помощью

устройства, схема которого показана на рисунке 1.



1 – область напыления (напыленный слой); 2 – область зародышеобразования; 3 – зародыши; 4, 5 – рабочая и холостая зоны окомкователя; 6, 7 – области увлажнения и доокомкования; 8 – годные окатыши

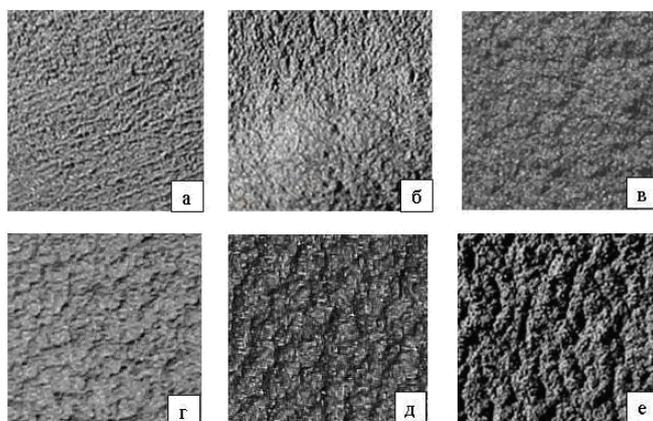
Рисунок 1 – Схема получения окатышей способом принудительного зародышеобразования

Формирование окатышей по схеме: зародышеобразование напылением шихты сжатым воздухом и доокомкование зародышей (ЗНД) начинается с принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарели [2]. Загружаемая шихта делится на два потока  $G_{ш1}$  (20-30 % от всей массы шихты) и  $G_{ш2}$ . Для принудительного зародышеобразования используется шихта потока  $G_{ш1}$ , содержащая ПД, которая напыляется сжатым воздухом на шихтовый гарниз окомкователя. Толщина напыленного слоя шихты составляет 8-10 мм, после чего его делят на прочные мерные фрагменты, выполняющие роль зародышей. Зародыши поступают в рабочую зону тарели, где происходит увлажнение зародышей, после чего на них накатывается шихта потока  $G_{ш2}$ , необходимая для образования оболочки окатыша и формирования кондиционных гранул размером 14-16 мм.

Эксперименты проводили на лабораторном окомкователе диаметром 0,62 м, наклоненном под углом  $45^\circ$  к горизонту и вращающимся со скоростью 12 об/мин. Напыляемая шихта влажностью 8,4 % содержала железорудный концентрат Тейского месторождения и 1% бентонита. Влажную шихту напыляли сжатым воздухом давлением 0,2 МПа и расходом 0,6 м<sup>3</sup>/мин. Прочность на сжатие и плотность исследовали с помощью образцов, вырезанных из них методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84). В каждой зоне НС, ограниченной относительным диаметром  $\delta$ , равным  $0 \pm 0,2$ , брали 10-15 образцов пробоотборниками (режущим кольцом) диаметром 10 мм. Прочность на сжатие влажных –  $P_{вл}$  и сухих –  $P_{сух}$ , кПа, образцов определяли по ГОСТ 17245-79 и 26447-85. Часть проб использовали для определения

плотности  $\rho_{вл}$ , кг/м<sup>3</sup>, и влажности образцов W, %. Взвешивание проводили на электронных весах VIBRA серии AF – R220 CE (Япония).

Анализ макроструктуры (рисунок 2) образцов показал, что в каждой из зон НС существуют заметно выраженные структурные особенности.



а – шихтовый гарнисаж; б – центральная зона НС  $\delta=0$ ;  $\beta=90^\circ$ ;  
в –  $\delta=0,2$ ;  $\beta=90^\circ$ ; г –  $\delta=0,5$ ;  $\beta=90^\circ$ ; д –  $\delta=0,5$ ;  $\beta=45^\circ$ ; е –  $\delta=0,6$ ;  $\beta=45^\circ$

Рисунок 2 – Макроструктура напыленного слоя шихты

В центральной зоне I ( $\delta = 0-0,2$ ) макроструктура НС характеризуется наличием на его поверхности тонкого слоя подвижной шихтовой пульпы (гидросмеси) влажностью более 12 %. Под действием напора воздуха гидросмесь легко растекается, заполняя неровности рельефа на поверхности и, по-видимому, в глубине НС, участвуя в формировании пористости. Плотность НС в зоне I возрастает до 3050-3380 кг/м<sup>3</sup>, а пористость имеет минимальное значение (26,5-27,2 %). Здесь в основном формируется закрытая пористость (19,6-19,8 %). В периферийных зонах II и III глубина и извилистость поровых каналов возрастает, что увеличивает долю открытых пор (таблица 1).

Таблица 1 – Пористость образцов, вырезанных из НС, после их обжига

X(R)	Зона НС ( $\delta$ )	$\rho_{каж}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Pi_o$ , %	$\Pi_{отк}$ , %	$\Pi_z$ , %
0	0-0,2	3240/2916/2630	34,4/40,1/46,7	24,3/30,4/38,6	10,1/9,7/8,1
	0,2-0,6	3110/2810/2585	37,0/43,1/47,7	26,9/33,6/40,5	10,0/9,5/7,2
	0,6-1,0	2960/2705/2512	40,0/45,2/49,1	30,6/36,2/42,6	9,4/9,0/6,5
0,5	0-0,2	3148/2820/2558	36,2/42,9/48,2	26,0/34,1/40,9	10,2/8,8/7,3
	0,2-0,6	3006/2715/2510	39,1/45,0/49,1	29,9/37,4/42,1	9,2/7,6/7,0
	0,6-1,0	2854/2612/2460	42,2/47,1/50,2	33,1/38,7/43,8	9,1/8,4/6,4
0,9	0-0,2	3105/2770/2522	37,1/43,9/48,9	27,5/36,1/41,8	9,6/7,8/7,1
	0,2-0,6	2954/2665/2480	40,2/46,0/49,8	31,2/38,4/42,8	9,0/7,6/7,0
	0,6-1,0	2802/2586/2426	43,2/47,6/50,9	34,7/41,1/44,7	8,5/6,5/6,2

Примечание:  $\Pi_o = (1 - \rho_{каж}/\rho_{ист})100$  %, где  $\rho_{ист} = 4936$  кг/м<sup>3</sup>. Температура обжига 1200 °С, время обжига 10 мин. В дроби: L/d<sub>са</sub> =5; 10; 15.

В ходе экспериментов установили, что железорудная шихта с размерами частиц 0,025-0,2 мм позволяет сформировать прочные (до 120 кПа) и плотные (до 3200 кг/м<sup>3</sup>) влажные зародыши, способные выдерживать ударные нагрузки на окомкователе и комковаться до окатышей прочностью, превышающей 10 Н/окатыш. Получение зародышей с более высокой пористостью (плотность 2200-2600 кг/м<sup>3</sup>) дает возможность формировать окатыши с повышенной пористостью в центре окатышей, что позволяет прогнозировать повышение восстановимости окатышей в металлургической плавке.

#### Библиографический список

1. Павловец В. М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В. М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. Монография / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю. С. Юсфин [и др.]. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
4. Патент № 2385351 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2008139095/02. Заявл. 01.10.2008; Опубл. 27.03.2010. Бюл. №9 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 9.

УДК 621.181

### **ПОВЫШЕНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ ТЭЦ**

**Чепасова И.А., Карева А.Д., Голубев Д.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведен обзор литературных источников по проблеме формирования оптимальной поровой структуры топливных брикетов, обеспечивающей повышение реакционной способности окускованного продукта в процессе слоевого горения на ТЭЦ. Сформулированы условия оптимизации минерального состава и структуры брикетируемой массы. Предложены методы получения топливных брикетов с улучшенными потребительскими свойствами.

Ключевые слова: поровая структура, реакционная способность, топливные брикеты, брикетирование, порообразующие добавки, слоевое горение.

Замена части энергетического топлива на ТЭЦ органическим техногенным вторичным сырьем (ТВС) позволяет существенно снизить себестоимость вырабатываемой тепловой и электрической энергии [1]. В качестве

ТВС в теплоэнергетике используют отходы углеобогащения, деревообрабатывающих предприятий, сельхозпроизводства, измельченные бытовые и органические отходы других предприятий, угольную мелочь, древесную муку и др. Большинство этих материалов находится в сыпучем тонкодисперсном состоянии, при котором транспортировка и качественное сжигание ТВС в слоевом режиме горения невозможна. Поэтому эти материалы переводят в кусковое состояние, пригодное для транспортировки их к парогенератору и эффективного сжигания на решетке котлоагрегата в слоевом режиме горения. В технике существуют три метода окускования сыпучих материалов: агломерация, производство окатышей и брикетирование. Агломерация преимущественно используется для спекания рудных материалов (продукт - железорудный агломерат) и реже для получения строительных керамических материалов (продукт - аглопорит). Производство углеродсодержащих окатышей (топливных гранул) достаточно широко применяется в угольной промышленности [2]. Сложность производства топливных гранул заключается в использовании грануляторов, для работы которых необходима гидрофильная (смачиваемая водой или жидким связующими) структура частиц, с размером не превышающим 0,074-0,10 мм. Углеродсодержащие материалы относятся к гидрофобным (несмачиваемым водой) материалам, поэтому для их грануляции требуется эффективная связка с низкой степенью схватываемости. Процесс брикетирования по этим критериям менее требователен и позволяет окусковывать дисперсное вторичное и рудное сырье с невысокой гидрофильностью в более широком диапазоне крупности частиц (0 - 5,0 мм) практически в любых пропорциях и составах. По этим причинам процесс брикетирования организовать технологически проще. Некоторую трудность представляет лишь дозирование связующих и их смешивание с брикетируемым материалом. При холодном брикетировании сохраняются свойства компонентов, входящих в брикеты, и поэтому этот способ окускования является экологически относительно чистым способом окускования. Схема технологии брикетирования угольной мелочи приведена на рисунке 1 [3].

К основным технологическим параметрам процесса брикетирования относят качество подготовки шихты (степень измельчения компонентов, однородность шихты, уровень влажности и др.), режимы прессования (давление прессования, производительность и др.), показатели термического и химического упрочнения брикетов (температура сушки, длительность процесса упрочнения и др.), количество и стоимость связующих, качество брикетов (прочность, химический состав, влагостойкость и др.) [4].

При брикетировании многих видов измельченного сырья, обладающего недостаточными аутогезионными свойствами, даже при высоких давлениях (более 100 МПа), обычным холодным прессованием получить прочные брикеты без их спекания не представляется возможным. В таких случаях оправдано использование связующих материалов, улучшающих агрегацию частиц и повышающих прочность брикетов до заданного уровня. Они долж-

ны обладать высокими клеящими свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность при минимальном расходе связующего, обеспечивать быструю схватываемость, вносить минимальное количество вредных, балластных и других примесей, опасных для обслуживающего персонала и снижающих качество конечного продукта, не ухудшать условий сжигания брикетов, быть распространёнными и обладать невысокой стоимостью, характеризоваться низкими транспортными затратами по их доставке на фабрику, не требовать сложных приёмов и операций по их использованию, обеспечивать минимальную влагостойкость.



Рисунок 1 – Технологическая схема брикетирования сырья

Связующие подразделяют на три типа: минеральные (неорганические), органические и комбинированные [2, 3]. К наиболее распространённым неорганическим связующим относят гашёную известь, жидкое стекло, глино-

зёмистый и портландский цементы, бентонитовые и нонtronитовые глины. Однако некоторые из них обладают существенными недостатками. Так, гашёная известь и портландцемент при нагревании отдают гидратную влагу и теряют прочность, жидкое стекло содержит значительное количество щелочей и диоксида кремния, относящихся к пустой породе, а глинозёмистый цемент довольно дорог. При этом лучшие вяжущие характеристики обнаруживает жидкое стекло и глинозёмистый цемент. К часто используемым в промышленности органическим связующим относят каменноугольные и нефтяные смолы, мелассу, отходы гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности (сульфитдрожжевая и спиртовая бражки - СДБ и ССБ). Органических связующие наряду с порообразующими добавками (ПД) способны выгорать или возгоняться при высоких температурах и формировать поровую структуру брикетов

Использование органических добавок в составе топливных брикетов позволяет реализовать теплотехнические преимущества слоевого сжигания топлива [2]. Снижается расход более дорогостоящего энергетического топлива, формируется дополнительный источник внутреннего тепловыделения. Появляется возможность формирования пористости и структуры брикетов. Применение измельченных до крупности 0,1 мм частиц растительного происхождения (древесные частицы, растительная мука) в количестве 1-10 % практически не ухудшает процесс брикетирования, поскольку некоторые из них (например, хвойные) проявляют связующие свойства, усиливающиеся во влажной среде. Сухие стеблевые растительные отходы, измельченные до игольчатого состояния, способны сформировать особую поровую структуру брикетов, содержащих капиллярные каналы с минимальной извилистостью, что при сжигании обеспечивает полноту окисления топлива. Использование отходов сельскохозяйственного производства за рубежом (США, Канада) происходит при совестном сжигании природного газа, нефти и измельченных отходов (древесная щепа, стебли кукурузы) в отдельных форкамерах [2].

Реакционная способность топливных брикетов связана с формированием в структуре кусков повышенного количества открытых пор, проницаемых для окислительных газов, с минимальной извилистостью. На этапе сушки окускованное тело должно иметь минимальное содержание влаги, чтобы исключить формирование напряжений и процесса трещинообразования.

Интенсивность выгорания топлива в слое зависит от скорости подвода окислителя. Для обычных слоевых топок пределом дутья является нарушение устойчивости слоя. При более высокой скорости воздуха мелкие частицы выносятся из слоя и в образовавшиеся кратеры устремляется значительная часть воздуха, что приводит к ухудшению равномерности распределения окислителя. Слой топлива, содержащий брикеты, более устойчив при горении, поскольку в нем отсутствует топливная мелочь и равномерность воздухораспределения существенно выше.

Проблема повышения реакционной способности топливных брикетов

связана с режимом слоевого горения. Каждый брикет в слое топлива обладает достаточно высоким термическим и диффузионным сопротивлением. Термическое сопротивление отдельного брикета ( $R=\delta/\lambda$ , где  $\delta$  – расстояние от поверхности тела до его центра, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности брикета или гранулы, Вт/(м·К)) определяет скорость прогрева пористого материала (каменного угля) до температуры воспламенения (600-650 °С). Чем быстрее материал прогреется в глубине топливного брикета до температуры воспламенения, тем скорее он вступит в реакцию окисления и начнет гореть в слое топлива. Обеспечение термического условия режима горения не способно реализовать химическую реакцию окисления без участия воздуха горения. Поэтому для начала процесса горения топлива в центральной зоне брикета к этой области необходимо подвести окислитель. Это очень сложная задача, поскольку к центру брикета нет доступа атмосферного воздуха, а сам брикет обладает сопротивлением диффузии. Самым логичным решением является формирование в структуре брикета повышенного количества пор, преимущественно открытого типа с минимальной извилистостью. По этим поровым каналам атмосферный воздух транспортируется к центральной зоне брикета и участвует в окислении угля. На этом пути снижение диффузионного сопротивления брикета с повышенной реакционной способностью позволяет усилить фильтрацию воздуха и обеспечить полноту горения с минимальным физическим и химическим недожогом.

Порообразующие добавки должны обладать высокими поверхностно-активными свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность брикетов при минимальном расходе связующего. Обеспечивать быструю схватываемость и высокую пластичность прессуемой массы. Вносить минимальное количество вредных и балластных примесей. Быть распространёнными и обладать невысокой стоимостью, характеризоваться низкими транспортными затратами, не требовать сложных приёмов и операций по их использованию, обеспечивать минимальную влагостойкость.

В экспериментах применяли холодное брикетирование угольной мелочи с средним размером частиц 0 - 0,1 мм. Массовая доля связующего (сульфитдрожжевая бражка (СДБ) и жидкое стекло (50 % водный раствор) ЖС) составляла 10 %, давление прессования 50 МПа. Температура сушки была 105 °С, время сушки 30 минут. Полученные брикеты имели форму Архимедова цилиндра ( $h=d=15$  мм). В качестве порообразующих добавок использовали измельченные стеблевые отходы злаковых культур растительного происхождения. Измельченные ПД имели игольчатое строение с трубчатой формой сечения диаметром от 0,1 до 1,2 мм. Некоторые частицы имели полукруглое желобчатое сечение. Длина растительных иголок составляла от 1 до 10 мм. В процессе экспериментов визуально фиксировали схватываемость (твердение) массы и ее поведение в процессе прессования.

Эксперименты показывают, что введение ПД в количестве 10 % повышает общую пористость брикетов на 5-6 %. Увеличение массовой доли свя-

зующих до 12 % позволяет компенсировать снижение прочности брикетов. В ходе экспериментов было зафиксировано, что некоторые растительные частицы крупного (0,5-1,0 мм) размера располагались по радиусу брикета с выходом на его поверхность, что косвенно свидетельствует о формировании проницаемых каналов в структуре брикетов. Исследование капиллярной пропитки брикетируемой массы, содержащей ПД, показало увеличение скорости распространения влаги в поровой структуре брикетов на 8-10 %.

#### Библиографический список

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
2. Павловец В. М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. Монография / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Крохин В.Н. Брикетирование углей / В.Н.Крохин.– М.: Недра, 1984.– 224 с.
4. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.

УДК 621.1819

### **ОЦЕНКА ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ СЫРОЙ МАССЫ ПО КРИТЕРИЮ СХВАТЫВАЕМОСТИ**

**Карева А.Д., Чепасова И.А., Голубев Д.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка брикетирования сырой массы по критерию схватываемости. Представлена информация о методике определения текучести сыпучих дисперсных материалов. Сформулированы условия оптимизации минерального состава и структуры брикетируемой массы с учетом ее текучести.

Ключевые слова: брикетируемая масса, компоненты, брикеты, брикетирование, порообразующие добавки, связующие материалы, схватываемость, текучесть.

При брикетировании многих видов измельченного сырья, обладающего недостаточными аутогезионными свойствами, связующие материалы должны обладать высокими клеящими параметрами, обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность, вносить минимальное количество вредных, балластных и других примесей, быть распространёнными и обладать невысокой стоимостью, характеризоваться низкими транспортными затратами, не требовать сложных приёмов и операций по их использованию,

обеспечивать оптимальную схватываемость брикетируемой массы [1, 2]. К наиболее распространённым неорганическим связующим относят гашёную известь, жидкое стекло, глинозёмистый и портландский цементы, бентонитовые и нонтронитовые глины. К часто используемым в промышленности органическим связующим относят каменноугольные и нефтяные смолы, мелассу, отходы гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности (сульфитдрожжевая и спиртовая бражки - СДБ и ССБ). Органические связующие наряду с порообразующими добавками (ПД) способны выгорать или возгораться при высоких температурах и формировать поровую структуру брикетов [1, 2].

При использовании органических добавок в составе брикетов снижается расход энергетического топлива, формируется дополнительный источник внутреннего тепловыделения. Появляется возможность формирования пористости и структуры брикетов. Сухие стеблевые растительные отходы, измельченные до игольчатого состояния, способны сформировать особую поровую структуру брикетов, содержащих капиллярные каналы с минимальной извилистостью, что при сжигании топливных брикетов обеспечивает полноту окисления топлива.

Порообразующие добавки, как и связующие материалы, должны обладать высокими поверхностно-активными свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность брикетов. Вносить минимальное количество вредных и балластных примесей и обладать невысокой стоимостью. Они должны обеспечивать быструю схватываемость, высокую пластичность и текучесть прессуемой массы. Схватываемость прессуемой массы является важным свойством, поскольку от нее зависит качество брикетов и производительность технологического оборудования. Процессу брикетирования предшествует дозирование компонентов шихты, перемешивание массы и транспортировка материала по технологическому маршруту. Каждый из компонентов сырой массы имеет свои физические свойства, отличающиеся довольно существенно между собой. Перемешанная смесь имеет промежуточные реологические характеристики. У нее может снизиться сыпучесть и появиться текучесть массы, она может полностью или частично затвердеть. Неконтролируемое твердение массы сопровождается снижением пластических свойств и текучести, в результате чего ухудшается качество смешивания и затрудняется загрузка массы в прессформу, что снижает качество брикетов. Твердение массы обусловлено коагуляцией компонентов, развитием физико-химических процессов, полимеризацией и другими явлениями, протекающим между твердыми сыпучими компонентами и связующими материалами.

Схватываемость массы характеризуется длительностью периода, во время которого масса способна сыпаться или течь до момента, когда сыпучесть или течение массы прекращаются. Текучесть сыпучих материалов характеризуют рядом комплексных показателей. Среди них статический угол

сдвига, индекс сдвига, статический угол внутреннего трения и другие [3, 4]. Чаще текучесть определяют косвенными способами, суть которых заключается в том, что в одинаковых условиях измеряют показатель, при помощи которого сравнивают текучесть различных сыпучих материалов. Самым распространенным способом оценки текучести сыпучих материалов является определение угла естественного откоса  $\gamma$ . Для грубодисперсных материалов  $\gamma$  совпадает с углом внутреннего трения и наиболее полно характеризует текучесть материала. Для тонкодисперсных связанных материалов  $\gamma$  может служить для ориентировочной оценки сыпучести в рыхлом состоянии и равен для легкотекучих материалов 25-35° и для плохо текучих 60-70°. Для хорошо текучих материалов в качестве критерия текучести используют величину минимального (критического) размера выходного отверстия  $D_{кр}$ , через которое сыпучий материал свободно истекает, не образуя устойчивого свода. В промышленности текучесть грубодисперсных материалов оценивают по скорости истечения и массовому расходу порошка из воронки. Стандартный метод [3] определения текучести порошков (ГОСТ 20 899-75) основан на истечении 50 г порошка из калибровочной воронки диаметром 2,5 мм, длиной канала 3,2 мм и конусностью 60°. Воронку калибруют 100 г дистиллированной воды. Время истечения воды должно составлять 25±2 с [3].

Процесс схватываемости массы должен быть растянут во времени примерно на 10-15 минут и не должен препятствовать проведению технологических операций дозирования, смешивания, загрузки и собственно прессования. Если процесс схватывания массы, напротив, будет слишком затянут, то сырые пластичные брикеты во время транспортировки или хранения на складе будут деформироваться и разрушиться. Чтобы добиться оптимального времени схватывания прессуемой массы необходимо знать методы, позволяющие регулировать этот процесс.

Целью работы являлось изучение процесса схватываемости брикетируемой сырой массы, содержащей различные виды связующих материалов.

На первом этапе работы исследовали текучесть нетвердеющей массы (железорудный концентрат, затворенный водой,  $W=0-100\%$ , содержащий 1% бентонита), которая являлась эталонной характеристикой для текучести твердеющей массы (железорудный концентрат, затворенный упрочняющими связками и ПД). Характеристики концентрата, используемого для экспериментов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики концентрата, используемого для экспериментов

а) Химический состав концентрата, %									
Компоненты	Fe <sub>общ</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Содержание, %	59,6	27,94	53,36	2,28	7,20	1,95	1,35	0,31	0,07
б) Фракционный состав концентрата, %									
Размер частиц, мм	0-0,05		0,05-0,063		0,063-0,10		>0,10		
Содержание, %	3,30		24,4		40,2		0,10		

Для экспериментов использовали стеклянные воронки объемом 120 мл с различными значениями диаметра выходного отверстия. Угол раскрытия конуса воронки составлял  $60^\circ$ . Масса загружаемой в воронку смеси составляла 100 г. При истечении смеси материалов  $W = 0-11\%$  применяли обстукивание воронки деревянной палочкой с частотой 60-70 ударов в минуту. При  $W > 20\%$  для исключения расслаивания смеси во время истечения ее непрерывно перемешивали. Текучесть смеси оценивали по безразмерному времени  $\Theta_\tau = \tau / \tau_0$ , где  $\tau$  – длительность истечения смеси из стеклянной воронки, с;  $\tau_0$  – эталонная длительность истечения смеси из стеклянной воронки, с.

При проведении экспериментов стандартный метод определения текучести (он определяется для сухих материалов) давал большие погрешности измерения и создавал трудности при исследованиях. Для повышения точности экспериментов и сравнимости результатов текучести значение  $\tau$  определяли в зависимости от содержания влаги в смеси. В интервале  $W = 0-20\%$   $\tau$  определяли с помощью воронки имеющей выходное отверстие диаметром 21 мм. При  $W = 21-100\%$   $\tau$  определяли, используя воронку с отверстием 8 мм. Эталонное значение  $\tau_0$  соответствовало истечению дистиллированной воды через воронку диаметром 8 мм. Повторяемость опытов по стандарту составляла не менее 5 раз. Результаты экспериментов представлены на рисунке 1.

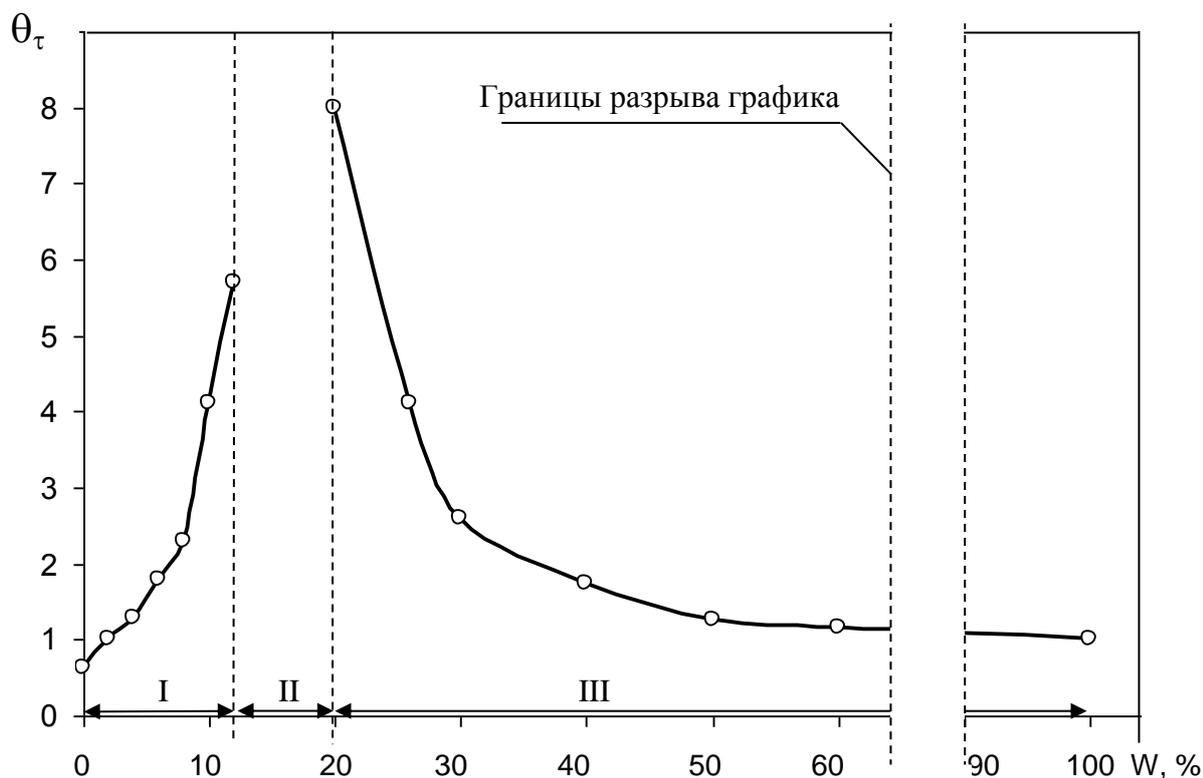


Рисунок 1 – Зависимость параметра текучести  $\Theta_\tau$  смеси железорудной шихты и воды от влажности материала. I, II, III – зоны текучести смеси

На графике зависимости  $\Theta_\tau$  от  $W$  можно выделить три характерные зо-

ны, соответствующие трем определенным состояниям смеси. Зона I характеризует текучесть материала в состоянии, при котором  $W$  изменяется от 0 до 10,7 %, а  $\Theta_t$  возрастает от 0,63 до 5,7. Первое состояние материала ( $10,7 > W > 0$ ) характерно для влажной железорудной шихты, для которой когезионные (поверхностные) связи между частицами достаточно слабые и зависят от рельефа поверхности частиц и содержания влаги в смеси. При низкой влажности материала ( $W = 0-2$  %) на сыпучесть материалов преимущественное влияние оказывают механические силы и силы межчастичного (внутреннего) трения, приводящие к появлению опорной силы. Наличие влаги в любой форме (парообразном, адсорбированном, капиллярном, твердом и кристаллическом) влияет на сцепление частиц между собой (аутогезию) и на текучесть материалов. С увеличением количества влаги и ростом влияния капиллярных сил сухое трение переходит в смешанное и гидродинамическое, что значительно повышает сопротивление сдвигу. При содержании влаги в смеси воды и шихты в пределах 10,7-19,4 % материал переходит в так называемое пастообразное (грязеподобное) состояние. Влага в порах находится в канатном состоянии, при котором 70-100 % объема пор заполнены водой. Частицы шихты находятся в межзеренном взаимодействии без нарушения точечных контактов между собой. Например, для некоторых видов железных руд максимум сопротивления трению приходится на 8 % содержание влаги. Для большинства горных пород (как правило, грубодисперсных) этот максимум соответствует 14-21% влажности сыпучего [3]. Переход капиллярной влаги в канатное состояние уменьшает капиллярные силы, но резко увеличивает вязкость смеси. Зона II графика (рисунок 1) соответствует отсутствию течения смеси через отверстие диаметром 21 мм, т.е. для пастообразных материалов  $D_{кр}$  существенно возрастает. Материал в этом состоянии характеризуется вязким течением, и загрузка смеси может быть осуществлена только с помощью механических устройств или вручную (в исследовательских целях). При дальнейшем увеличении содержания влаги ( $W > 19,4\%$ ) в смеси материал переходит в третье состояние, при котором влага заполняет все поровое пространство. Твердые частицы шихты полностью обволакиваются влагой, в результате чего образуется ограниченный объем воды, наполненный твердыми частицами. Это снижает сцепление частиц и разобцает разные зерна. Текучесть такой смеси (суспензии) возрастает. Частицы шихты удерживаются за счет сил поверхностного натяжения жидкости, которое действует на поверхности капли. Смесь приобретает свойство жидкости (непрерывность течения, способность занимать объем, отсутствие пористости).

Текучесть смеси резко (почти в два раза) ухудшается при использовании в качестве порообразующих добавок измельченных отходов злаковых культур растительного происхождения. Измельченные ПД имели игольчатое строение с трубчатой и желобчатой формой сечения диаметром от 0,1 до 1,2

мм. Длина растительных иголок составляла от 1 до 10 мм. На длительность затвердевания такой смеси введение ПД практически не повлияло. Установили, что наибольшей схватываемостью обладает смесь, содержащая жидкое стекло (ЖС) в качестве связки. Снизить схватываемость материала до необходимых временных пределов можно разбавлением концентрированного ЖС водой (30-50 %) или сульфитдрожжевой бражкой (СДБ) (10-15 %). Ее можно регулировать добавками других жидких связующих, обладающих меньшей упрочняющей способностью. Введение ПД, позволяющих повысить пористость брикетов и их реакционную способность, должно учитывать изменение текучести сырой массы и возможность ее эффективного брикетирования.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
2. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
3. Зимон А.Д, Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов / А.Д. Зимон, Е.И. Андрианов. – М.: Металлургия, 1978. – 288 с.
4. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов / Е.И. Андрианов. – М.: Химия, 1982. – 256 с.

УДК 621.1819

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Давыдов А.С., Ширяев С.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведен анализ перспективных конструкций центробежных пылеуловителей, используемых для улавливания золошлаковых выбросов теплоэнергетических предприятий. Представлена информация о достоинствах и недостатках конструктивных схем циклонов, выявленных в процессе экспериментов. Сформулированы условия оптимизации конструкции пылеуловителей.

Ключевые слова: центробежные пылеуловители, золошлаковые выбросы, эффективность пылеулавливания, сыпучие коагулянты.

Одними из наиболее распространенных пылеуловителей сухого класса аппаратов являются центробежные устройства (циклоны), предназначенные

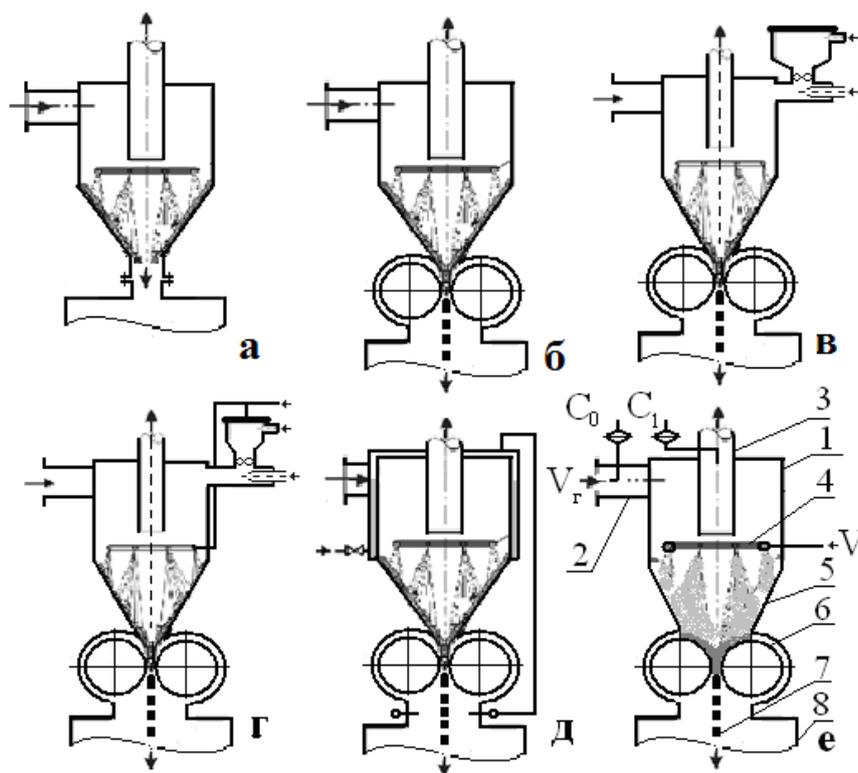
для улавливания твердых частиц пыли из дымовых газов, образующихся в металлургических и теплоэнергетических агрегатах. Центробежные пылеуловители в одиночном и групповом исполнении широко используются в металлургической промышленности для грубой очистки технологических газов на первой ступени систем пылеулавливания [1, 2]. Принцип пылеулавливания в этих устройствах основан на формировании вращающимся запыленным потоком центробежной силы в корпусе вращения (цилиндр, конус, цилиндроконус), которая ориентирует твердые частицы пыли к стенке пылеуловителя, где происходит первичная агрегация частиц. После чего потоки частиц под действием гравитационных сил поступают в пылесборник, а затем, как правило, направляются в шламохранилище гидроудалением. Достоинствами циклонов является их невысокая стоимость, малые габариты, минимальные затраты на обслуживание и ремонт. Их конструкция позволяет достаточно легко накладывать дополнительные физические (электрические, магнитные, акустические) поля на процесс пылеулавливания и организовать орошение рабочего пространства устройства жидкими и твердыми коагулянтами для повышения эффективности пылеулавливания [3].

Недостатком этих устройств является низкая эффективность пылеулавливания особенно при улавливании мелкодисперсных частиц пыли размером менее 10-20 мкм, обладающих низкой плотностью (углеродосодержащие, сажистые, золошлаковые и др.). Плотность топочных пылей составляет 400-600 кг/м<sup>3</sup>, а содержание золошлаковых частиц фракции 0-0,05 мм превышает 40-60 % от массы всех твердых выбросов. Эффективность пылеулавливания циклонов, установленных в групповом исполнении на дымовых трактах котлоагрегатов твердотопливного горения, не превышает 50-60 % .

Целью работы явился анализ технологической работы центробежных пылеуловителей, разработанных на кафедре ТЭ и Э СибГИУ, и выдача рекомендаций по совершенствованию конструктивной схемы пылеуловителей.

Конструктивные схемы центробежных пылеуловителей представлены на рисунке 1. Эксперименты проводили на физических моделях, построенных на основе стандартного пылеуловителя типа ЦН-15-300П. Общим для всех схем пылеуловителей явилось применение жидкостного орошения в рабочем пространстве циклонов. Конструктивная схема циклона, показанная на рисунке 1, а, достаточно простая в конструктивном исполнении и в минимальной степени повышает его аэродинамическое сопротивление. Установили, что эффективность пылеулавливания можно существенно (на 15-20 %) повысить за счет использования в качестве орошающих жидкостей водных растворов мылов и вяжущих жидкостей, обладающих поверхностно-активными свойствами. В этих устройствах наряду с центробежной силой на твердые частицы действуют капиллярные и коагуляционные силы, формирующие физико-химическое взаимодействие капель жидкости и улавливаемых частиц. В качестве жидких коагулянтов предлагается использовать хорошо известные связующие: сульфит-дрожжевую бражку (СДБ), растворы гашеной извести, жид-

кого стекла и другие распространенные вязущие материалы.



В позиции е: 1 – корпус пылеуловителя; 2, 3 – подводящий и отводящий патрубки; 4 – система жидкостного орошения; 5 – пылесборник; 6 – валковый пресс; 7 – брикеты; 8 – бункер брикетов

Рисунок 1 – Схемы пылеуловителей: а – снабженного системой орошения жидким коагулянт (патент РФ № 2259240); б – снабженного системой орошения и валковым прессом (патент РФ № 2392059); в – снабженного системой орошения, валковым прессом и дополнительным орошением рабочего пространства пухонитевидным коагулянт (патент РФ № 2451537); г – снабженного системой орошения, валковым прессом и дополнительным орошением твердым сыпучим коагулянт (патент РФ № 2392059); д – снабженного системой орошения, валковым прессом и теплообменником (патент РФ № 2531313); е – снабженного системой орошения, валковым прессом и расширенной нижней частью пылесборника (патент РФ № 2586557)

Расход жидких коагулянтов сравнительно невелик, поэтому шламы имеют вязкую структуру с элементами сыпучести. Желание организованно утилизировать шламы, содержащие вязущие материалы, привело к техническому решению, в котором одновременно с очисткой газов реализуется процесс брикетирования уловленной пыли (рисунок 1, б). Последний процесс достаточно сложный, поскольку в нем необходимо учитывать схватываемость массы, ее реологические свойства и другие факторы. Технологическая работа валкового пресса хорошо известна в технике [4], а его конструкция удачно вписывается в технологический процесс очистки газов в циклоне с

коническим пылесборником, выполняющим функцию питателя прессуемой массы для валкового пресса. Принцип валкового прессования заключается в уплотнении прессуемой массы между двумя вращающимися в противоположном направлении валками. На цилиндрической поверхности валков крепятся бандажы, на которых выфрезерованы ячейки в виде симметричных полукруглых брикетов. Подготовленная масса подается в пространство между валками и заполняет ячейки, которые при вращении совпадают между собой, производя прессование сыпучего материала. За линией центров валков ячейки расходятся, и брикеты выпадают под действием силы тяжести [4].

В технических решениях, приведенных на рисунке 1, в и г, поставлена и реализована задача снижения стоимости коагулянтов путем применения твердых сыпучих отходов производства, обладающих поверхностной структурой, благоприятной для инерционного и механического захвата частиц пыли. В качестве таких коагулянтов предложено использовать пухонитевидные частицы в виде отходов мехового и текстильного производства (рисунок 1, в), обладающие развитой поверхностью, в которую механически внедряются частицы улавливаемой пыли. Эксперименты показали, что для эффективной работы пылеуловителя частицы перед загрузкой в аппарат необходимо дополнительно измельчать и применять в высушенном состоянии.

Орошение рабочего пространства пылеуловителя влажными древесными опилками и стружками, являющимися отходами ДОК, позволяет существенно повысить концентрацию твердожидкостного коагулянта в рабочем пространстве пылеуловителя (рисунок 1, г). Эта схема по сравнению с предыдущим решением требует отделения мелкой пылевидной фракции размером 0-0,5 мм, способной формировать вторичный унос, и является более технологичной, поскольку облегчает распределение частиц по сечению корпуса циклона аэродинамическим способом. Анализ микроструктуры поверхности древесных опилок лесопильного производства ОАО «НКЗРК» г. Новокузнецка, проведенный с помощью оптического микроскопа МБУ – 4А, показал, что структура поверхности древесных частиц содержит большое количество выступов, зазубрин, неровностей. На некоторых частицах обнаружены глубокие поры и древесные нити. Структура частиц развитая и неоднородная, что благоприятно для коагулянта, улавливающего частицы топочной пыли в запылённом потоке. Плотность древесных частиц составляет 700-800 кг/м<sup>3</sup>, пористость достигает 50-60 %. Такая поверхность легко впитывает влагу и формирует дополнительно капиллярные силы, способствующие захвату золошлаковых частиц пыли. Развитая поверхность древесных частиц способствует их вращению в потоке запылённого газа и формирует активное взаимодействие коагулянта с частицами топочной пыли в рабочем пространстве циклона. Размер пор (0,05-0,3 мм) и неровностей опилок соизмерим с размерами частиц пыли (0,05-0,15 мм), что дополнительно усиливает захват частиц пыли и повышает эффективность пылеулавливания центробежного аппарата. Применение влажного коагулянта (W=20-50 %) или его

искусственное увлажнение резко повышают эффективность пылеулавливания циклона. Это обусловлено тем, что к шероховатостям и порам опилок добавляется небольшой слой воды, усиливающий капиллярное взаимодействие частиц пыли на поверхности коагулянта. Эффективность пылеулавливания циклона на топочных газах, содержащих частицы размером 0-0,05 мм, возрастает до 85 % при расходе коагулянта 1 г/с и влажности 5-10 %. Эффективность пылеулавливания циклона можно повысить до 94 % увеличением расхода коагулянта до 5 г/с и его влажности до 50 %, но в этом случае существенно повышается аэродинамическое сопротивление аппарата. Конструктивная схема пылеуловителя с использованием влажного коагулянта (рисунок 1, г), поступающего с производства в сильно увлажненном состоянии, позволяет сушить древесные опилки топочными газами перед термической утилизацией и сжигать их с помощью системы котлоагрегата «возврат – уноса». Топливные частицы в топке парогенератора окисляются одновременно с древесными опилками, а золошлаковые частицы, уловленные коагулянтом, удаляются из зольника системой гидрозолоудаления.

Конструктивно такой комбинированный пылеуловитель можно дополнительно снабдить теплообменником, утилизирующим тепло отходящих очищаемых газов (рисунок 1, д). Образующийся водяной пар можно использовать в этой схеме для сушки брикетов. Чтобы исключить налипание образующейся массы на стенки и ускорить движение массы на внутренней поверхности пылесборника, валковый пресс предложено установить в нижней части корпуса циклона и расширить нижнюю часть пылесборника (рис. 1, е). В такой конструкции смесь уловленной пыли и коагулянта осаждается непосредственно на рабочие поверхности вращающихся валков и сразу поступает на брикетирование. Чтобы брикетируемая смесь в процессе пылеулавливания не накапливалась в пылесборнике пылеуловителя, скорость вращения валков пресса должна иметь оптимальное значение. Для оценки прочности брикетов, которые технически возможно получать на предлагаемом устройстве (рис.1, е), в лабораторных условиях был проведен процесс брикетирования золошлаковых шламов ТЭЦ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». В качестве связующих для брикетируемых шламов использовали водный раствор бентонитовой глины, СДБ и 50 % водный раствор жидкого стекла. Естественную сушку брикетов (размером 15×15×10 мм) проводили на открытом воздухе в течение 24 часов при температуре 20 °С. Установили, что брикетируемая масса, содержащая указанные связки, обладает хорошей прессуемостью, а полученные брикеты характеризуются высокой механической прочностью. Результаты экспериментов по измерению прочности брикетов в зависимости от содержания связующего показали, что наибольшей прочностью (30-32 МПа) обладают брикеты, содержащие 10 % СДБ.

Эксперименты, проведенные на физических моделях центробежного пылеуловителя, показали возможность повышения эффективности пылеулавливания путем орошения рабочего пространства циклона растворами поверх-

ностно-активных жидкостей и твердых сыпучих коагулянтов. Полученная экспериментальная информация о достоинствах и недостатках конструктивных схем циклонов, позволила сформулировать условия оптимизации конструкции пылеуловителя. В работе показана техническая возможность расширения функциональных возможностей центробежного пылеуловителя, снабженного системой орошения рабочего пространства коагулирующей жидкостью и валковым прессом для брикетирования уловленной пыли.

#### Библиографический список

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
2. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии / В.М. Алешина [и др.]. – М.: Металлургия. – 1984. – 336 с.
3. Павловец В.М. Исследование процесса пылеосаждения в центробежном пылеуловителе / В.М. Павловец // – Известия вузов. Черная металлургия. – 1998. – №10. – С. 70–73.
4. Ожогин В.В. Основы теории технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В.В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ. – 2010. – 442 с.

УДК 662.9 (083)

### **РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОГО ТИПА ГАЗОВОГО ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ**

**Старикова Д.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Стерлигов В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: schadrintseva.darya@yandex.ru*

Проделан системный анализ тепловой работы сталеразливочного ковша, и на его основе разработана конструкция нового типа газового горелочного устройства для металлургических агрегатов

Ключевые слова: сталеразливочный ковш, системный подход, анализ тепловой работы, работоспособность, принцип подобия, плоскопламенная горелка.

Проведение любого эксперимента можно уподобить некому технологическому процессу, реализация которого подчиняется законам теории управления. Выработка управляющего решения в теории управления [1] подчиняется общепризнанному алгоритму, включающему в себя следующие этапы: анализ ситуации; выработка управляющего решения; реализация мероприятий; контроль исполнения и мониторинг действия; анализ результатов

мониторинга и коррекция решения (при необходимости).

Анализ ситуации в качестве вывода дает постановку цели (отвечает на вопрос «что делать?»), а выработка решений (мероприятий) означает постановку задач, отвечает на вопрос «как делать?». Теория управления на этом этапе рекомендует использовать системно-целевой подход, когда явление, процесс, технология рассматривается как часть (подмножество) большого числа таких элементов, находящихся во взаимодействии и создающих единую общность (систему). Применение такого подхода позволяет для объектов и элементов технологических процессов применять законы термодинамики закрытых (изолированных) систем, например, рабочее тело, работающее в устройствах обратимости и равновесие термодинамического и механического, а для процессов теплопередачи, горения, расчета потерь применять термодинамику неравновесных процессов, характерных для открытых систем [2].

Объектом наших исследований была тепловая работа сталеразливочных ковшей, которые сейчас используются довольно широко в металлургии и не только как некоторая емкость, но и как оборудование внепечной обработки стали [3,4]. Многочисленные исследования тепловой работы ковшей при их разогреве и эксплуатации представляют собой как многофакторные детерминированные модели [5,6], являющиеся некоторым приближением к системному подходу, так и результаты практики использования ковшей и изучения условий их службы [7,8].

Системный подход может быть реализован при использовании положений общей теории тепловой работы печей, разработанной М.А. Глинковым [9]. Согласно этой теории процесс теплопередачи, который является основным рабочим процессом для печей-теплообменников, может быть реализован с учетом вида топлива, распределения температур, механики газов и удаления продуктов горения из рабочего пространства. Численное моделирование процесса теплопередачи [10] позволило определить, что наиболее эффективным радиационным режимом теплообмена, который реализуется при температуре печных газов выше 700 °С, является так называемый «косвенный направленный радиационный режим» (КНРР).

Этот вывод появился в результате анализа системы, включающей сжигание топлива, механику газов, температуру горения, что определяется конструкцией и параметрами работы топливо-сжигающего устройства. Поэтому исследование направлено на разработку конструкции горелки, так как существующие горелки не сочетали в себе все необходимые для реализации КНРР показатели.

Необходимо отметить, что преимущество реализации КНРР состояло еще и в том, что для достижения эффективных результатов используется «интенсивный» фактор  $\alpha$ . Такое определение возникает из основного уравнения теплопередачи  $q = \alpha \cdot \Delta t$ , где  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи,  $\Delta t$  – разность температур.

Если использовать в качестве управляющего воздействия величину  $\Delta t$

(экстенсивный) фактор, то в этом случае происходит возрастание энтропии, определяющей потерю работоспособности энергии в открытой системе «факел-тело» при теплопередаче [2]. По этому показателю процесс КНРП является предпочтительнее случая, когда возрастает  $\Delta t$ , например, за счет повышения температуры газов в ковше при обогащении воздуха дутья кислородом, что тоже применяется для разогрева ковшей [11].

При КНРП максимум температур должен быть приближен к кладке ковша, что достигается при использовании так называемых «плоскопламенных горелок» [12]. При установке такой горелки в центре крышки ковша наиболее «удобным» местом является центр факела, где создается, как показывают специальные исследования [13], разрежение и интенсивная рециркуляция газов. Таким образом, ввод факела и отбор дыма должны быть совмещены, что характерно для рекуперативных горелок.

Для работающих рекуперативных горелок, например, описанной в работе [14], характерна принудительная эвакуация газов за счет дополнительной энергии при эжекции, когда при прохождении через узкие каналы создается высокая скорость дымовых газов, что обеспечивает конвективную теплопередачу тепла от дымовых газов. В нашем случае предлагается отбор дыма проводить за счет естественной тяги в вертикально расположенной «дымовой» трубе. Увеличение диаметра этого канала снижает гидравлическое сопротивление дымового тракта при уменьшении скорости потока.

А поскольку газы излучают объемом [15], то это приведет к возрастанию радиационного потока тепла к стенке дымовой трубы, являющейся элементом рекуперативного блока горелки. Опыт одного из заводов [16] показал, что увеличение дымового канала с 50 до 150 мм дало увеличение радиационного теплообмена в 5 раз.

В результате показанного системного анализа и появилась конструкция нового типа устройства – плоскопламенной рекуперативной горелки с радиационным рекуператором (ГПРР), на изобретение которой авторам был выдан патент [17].

Для проверки работоспособности разработанного устройства, была изготовлена в металле горелка, которую подвергли испытаниям. Поскольку нужно было получить характеристики для целого ряда таких горелок разной производительности, необходимо было создать обобщенные характеристики всего ряда горелок. Поэтому весь эксперимент, его методики были построены на основе теории подобия [18], а порядок испытания определяется с учетом требований нормативных документов по испытаниям горелок [12].

Особо следует отметить использование в указанном исследовании не только принципа подобия, который применим для физически однородных процессов. Кроме этого в работе был еще использован и метод аналогии [19]. В данном случае для исследования процессов рекуперации тепла дымовых газов для подогрева воздуха и газа для моделирования объемного излучения газов было использовано поверхностное излучение специального нагревателя,

созданного на основе нихромового сплава. И хотя излучения для этих двух случаев различны процесс описывается одними и теми же уравнениями закона Стефана-Больцмана [15]. Именно в этом случае говорят об «аналогии» явлений, подчиняющейся всем условиям теории подобия. Использование электрического излучателя позволило избежать громоздкого и более сложного в исследовании излучения газов и создать возможность нагрева воздуха (например, была достигнута температура подогрева воздуха 287 °С).

Физическое моделирование было необходимо еще и потому, что наряду с проверкой адекватности расчетных моделей по аэродинамике и теплопередаче в горелке, созданных на основе теоретических уравнений, необходимо было снять и другие характеристики – например, провести визуализацию картины растекания потока по плоской поверхности, определить коэффициенты аэродинамического сопротивления, расходные характеристики по воздуху и газу. Применение физического моделирования в терминах теории подобия позволяет на основе единичного опыта получать обобщенные зависимости, его является типичным для «индукционного» метода познания.

Приведенная информация показывает, как на основе только правильно выбранной методики можно получить значимый и достоверный результат.

#### Библиографический список

1. Глушков В.М. Беседы об управлении / В.М. Глушков, Г.М. Добров, В.М. Терещенко – М.: Наука, 1974 – 224 с.
2. Вильхин В.В. Общая химия /В.В. Вильхин – СПб.: «Лань», 2008 – 384 с.
3. Кудрин В.А. Металлургия стали : Учебник для вузов / В.А. Кудрин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1991. – 488 с.
4. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов : Учебник для вузов. В 3 т. Т. 2. Машины и агрегаты сталелитейных цехов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник [и др.]. – М. : Металлургия, 1988. – 432 с.
5. Фейфер Х.Н. Тепловая модель нагрева сталеразливочных ковшей / Х.Н. Фейфер, Ф. Фет, Х. Шеферт и др./ Черные металлы, 1985, № 14, – С. 3-8.
6. Шкляр Ф.Р. Математическая модель тепловой работы сталеразливочного ковша / Ф.Р. Шкляр, В.М. Малкин, В.А. Коршунов и др. / Изв. вузов. Черная металлургия, 1991, № 2, – С. 91-93.
7. Темлянцев М.В., Матвеев М.В., Костюченко К.Е., Лосицкая М.Ю. Анализ особенностей тепловой обработки периклазоуглеродистых и алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей // Вестник РАЕН. Западно-Сибирское отделение. 2012. Вып. 14. – С. 137–142.
8. Запольская Е.М., Темлянцев М.В, Костюченко К.Е. Анализ основных направлений повышения энерготехнологической эффективности стенов высокотемпературного разогрева сталеразливочных ковшей Вестник РАЕН Западно-Сибирское отделение, 2013, № 15, – С.128-134.
9. Глинков М.А. Общая теория тепловой работы печей / М. А. Глинков, Г.М. Глинков, - М.: Металлургия, 1990, – 232 с.

10. Василькова С.Б. Расчет нагревательных и термических печей: Справ. Изд. Под ред. Тымчака В. М. и Гусовского В.Л. // С.Б. Василькова, М.М. Генкина, В.Л. Гусовский, А.Е. Лифшиц, В.М. Масалович, А.А. Перимов, Э.И. Спивак, В.М. Тымчак. – М., Metallurgia, – 1983, – 480 с.

11. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е., Матвеев М.В. Исследование эффективности использования кислорода при отоплении стендов высокотемпературного разогрева футеровки сталеразливочных ковшей Изв. вузов. Черная металлургия, 2013, №6. – С3-7.

12. Винтовкин А.А. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): Справочное издание / А. А. Винтовкин и др. — М.: Машиностроение-1, 2001. – 496 с.

13. Иванов Д.А., Сеничкин Б.К. Аналитическое определение коэффициента теплоотдачи с помощью пристеночных функций // Энергетики и металлурги настоящему и будущему России : материалы 8-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / под общ. ред. Б.К. Сеничкина. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – С. 141-145.

14. Кузовников А.А., Дружинин Г.М. и др. Промышленное освоение и оценка эффективности тепловой работы нагревательных печей при сводовом отоплении. Отчет ВНИИМТ. – Свердловск, 1976. – 200 с.

15. Михеев М.А. Основы теплопередачи. /М.А. Михеев, И.М. Михеева - М.: Энергия, 1977. – 430 с.

16. Тебеньков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей. М.: Металлургия, 1975, – 296 с.

17. Патент РФ № 2622357 F23D14/12, F23D14/64.

18. Веников В. А. Теория подобия и моделирования / Веников В. А. – М.: «Высшая школа», 1976. – 479 с.

19. Гухман А. А. Введение в теорию подобия / Гухман А.А. – М.: «Высшая школа», 1973. – 296 с.

УДК 662.66:336.226.46(571.17)

## **О ПОСЛЕДСТВИЯХ ВОЗМОЖНОЙ РАТИФИКАЦИИ РОССИЕЙ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ 2015 ГОДА ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ КУЗБАССА**

**Полынцев М.П.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: mi hail\_polynce v@mail.ru*

В данной статье рассмотрены основные модели углеродного регулирования, их последствия для Кемеровской области и возможные альтернативы

методов снижения выбросов CO<sub>2</sub>.

Ключевые слова: Парижское соглашение, угольная энергетика, Кемеровская область, выбросы CO<sub>2</sub>, возможность и последствия ратификации Россией Парижского соглашения.

Парижское соглашение по климату, принятое в декабре 2015 года - Рамочная конвенция ООН об изменении климата, регулирующая меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Данное соглашение станет продолжением и развитием Киотского протокола 1997 года - предыдущего международного документа, регулирующего глобальные выбросы вредных веществ, и уже подписано 195 странами, 113 из которых ратифицировали его. Ключевыми положениями данного соглашения являются:

1) Не позволять средней температуре на планете расти выше 2 °С по отношению к показателям доиндустриальной эпохи, а по возможности снизить ее до 1,5 °С.

2) Начать в период 2050-2100 г.г. ограничивать выброс парниковых газов, получаемых в результате промышленной деятельности человека, до уровня, который деревья, почва и Мировой океан могут переработать естественным образом.

3) Пересматривать в сторону увеличения каждые пять лет вклад каждой отдельной страны по снижению вредных выбросов в атмосферу.

4) Развитые страны должны выделять средства в специальный климатический фонд для помощи более бедным государствам на борьбу с последствиями климатических изменений (например, стихийные бедствия или подъем уровня океана) и переход на использование возобновляемых источников энергии.

Национальные стратегии по сокращению парниковых газов имеют добровольную основу; к тому же переговоры как раз «споткнулись» на вопросе о том, когда необходимо будет их пересмотреть в сторону ужесточения.

Договор обязывает участников пересмотреть достигнутый прогресс в 2018 году, а в дальнейшем проводить подобную оценку каждые пять лет.

Как полагают аналитики, Парижское соглашение - это только начальный этап внедрения энергосберегающих технологий, и сделать придется еще очень много.

Если в ближайшее время Россия не начнет стимулировать снижение выбросов парниковых газов, обязательства, взятые на себя Россией по снижению выбросов парниковых газов к 2030 году на 25–30% по сравнению с уровнем 1990 года, по Парижскому соглашению неизбежно будут нарушаться [1].

Существует широкий спектр мер, направленных на реализацию обязательств в рамках Парижских соглашений, среди которых выделяется группа рентабельных и эффективных мер, не требующих больших финансовых затрат на единицу сокращения выбросов, с короткими сроками окупаемости. К данной группе мер относятся:

- развитие комбинированной выработки электро- и теплоэнергии на ТЭЦ; мероприятия по энергосбережению и повышению энергоэффективности; стимулирование лесовосстановительных работ;

- ряд мероприятий по ограничению выбросов парниковых газов от аграрно-промышленного комплекса (АПК);

- информирование, образование;

- адаптация методик учёта парниковых газов к российским условиям.

С другой стороны, существует группа «радикальных» мер, отличающихся высокими финансовыми затратами на единицу сокращения выбросов. К данной группе мер относятся:

- Введение углеродного сбора, организация систем торговли квотами;

- Строительство «безуглеродных» электростанций (СЭС, ВЭС, АЭС и ГЭС);

- Установка оборудования по улавливанию и хранению CO<sub>2</sub>.

Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ) проанализировал основные модели углеродного регулирования, мировой опыт их использования, эффективность и потенциал их применения в России.

В своем исследовании ИПЕМ отмечает, что, если Россия не начнет стимулировать снижение выбросов парниковых газов, обязательства вряд ли будут выполнены. Даже при среднегодовом росте ВВП на 2% в год, сохранении текущих показателей углеродоемкости экономики и объемов поглощения выбросов лесами к 2030 году выбросы составят 3123 млн. т эквивалента CO<sub>2</sub>, что на 6 % превышает принятое Россией обязательство.

Эксперты выделили четыре основных модели, регулирующие выбросы CO<sub>2</sub> [2]:

*Прямые платежи за выбросы парниковых газов*

Эта стратегия включает два основных рыночных механизма по сокращению выбросов. Во-первых, это так называемый углеродный сбор, т. е. платежная ставка за определенный объем выбросов углекислого газа.

Во-вторых, возможна торговля квотами. Данный механизм предполагает, что изначально устанавливается допустимый суммарный объем выбросов на территории, а затем между источниками парниковых газов распределяются квоты на этот объем выбросов. Допускается и вторичная торговля квотами между компаниями, обладающими избытком или недостатком квот.

Эту стратегию на национальном или региональном уровнях используют около 40 государств, из них большинство является развитыми странами. Только две страны не входят в Организацию Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР) — Китай и Индия.

*Налогообложение моторного и энергетического топлива*

По данным ОЭСР, через налоги на топливо налогообложению подвергается 98 % выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания моторного топлива и только 23 % выбросов от потребления энергетического топлива. Таким образом, эта стратегия, хотя и популярна во многих странах, чревата высокими социальными рисками, поскольку может серьезно сказаться на стоимости моторного топли-

ва. Уже сейчас доля налогов в конечной цене топлива и так доходит до 50 %.

Проведённые ИПЕМ расчёты показывают, что ввод в России углеродного сбора в размере 15 долл. США/т экв. CO<sub>2</sub> потребует ежегодных выплат в размере 42 млрд долл., что соответствует 2,56–3,29 трлн руб. Объём этих выплат равен 3,2–4,1% ВВП за 2015 г., 19–24% доходов федерального бюджета на 2016 г. или 35–45% суммарного объёма Резервного фонда и Фонда национального благосостояния. Если ставка сбора составит 35 долл. США/т экв. CO<sub>2</sub>, то объём выплат составит 7,5–9,6% ВВП.

#### *Стимулирование освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ)*

Эта стратегия приемлема для стран, сильно зависящих от импорта топлива, например, для стран Евросоюза, однако при ее реализации немалые дополнительные затраты ложатся на потребителей. По данным исследования, в ряде европейских стран, активно внедряющих возобновляемые источники энергии, цена электроэнергии для малого предприятия на 50% выше, чем стоимость электроэнергии в Москве.

Более того, как отмечается в исследовании института, в России происходит постоянный рост цен на мощность — цена на нее может подорожать в два раза. Эти факторы не способствуют внедрению ВИЭ в российской энергетике в перспективе ближайших 5-7 лет.

#### *Стимулирование повышения энергоэффективности*

По мнению экспертов ИПЕМ, именно эта модель регулирования наиболее перспективна для России. Во-первых, Россия характеризуется большим потенциалом для дальнейшего повышения энергоэффективности. Во-вторых, Россия уже обладает успешным опытом повышения энергоэффективности в ряде отраслей: меняются требования к утилизации попутного нефтяного газа, происходит модернизация металлургических заводов и нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). В-третьих, в настоящее время в России и происходит переход на принципы наилучших доступных технологий, например, в сфере угольной промышленности.

В кризисный период у регионов нет возможностей экспериментировать с затратными альтернативными способами производства электроэнергии. Потребители должны получать электричество по доступной цене, и именно угольная генерация способна это обеспечить, как делала это раньше и продолжает делать теперь.

Стоит отметить, что в 2015 году выработка гидроэлектроэнергии в Сибири сократилась практически на 20%. Причиной тому стал аномально низкий уровень воды. Именно поэтому в трудно прогнозируемых природных условиях Сибири и Дальнего Востока ориентация только на гидрогенерацию или возобновляемые источники электроэнергии ошибочна. В условиях маловодности угольные электростанции взяли на себя системную нагрузку. Именно ГРЭС и ТЭС, расположенные вблизи угольных месторождений, оказались востребованными и конкурентоспособными на рынке электроэнергии — работали на пределе мощно-

сти, и топливная составляющая здесь играла решающую роль [3].

Для промышленного Кузбасса, по мнению заместителя губернатора Кемеровской области Дмитрия Исламова, последствия введения углеродного сбора могут быть крайне тяжелыми. По предварительным подсчетам, выбросы парниковых газов могут составлять до 85-88 млн. тонн. При условии введения сборов \$15 за тонну, платежи предприятий Кузбасса составят \$1,32 млрд, при ставке \$35 за тонну – \$3,09 млрд. [4].

Поскольку в Сибирском федеральном округе (СФО) значительная часть электрогенерации угольная, углеродный сбор повлечет рост тарифов в 2,5-3 раза, вырастут цены на товары и услуги, при производстве которых используется электроэнергия. Учитывая, что стоимость электроэнергии – один из основных показателей качества жизни, фактически нас призывают осознанно ухудшить социальный климат, что полностью противоречит целям развития экономики любой страны.

Кроме этого, тепловая угольная генерация была и остается основным надежным источником не только электрической, но и тепловой энергии – про этот важный аспект не стоит забывать, особенно в суровых условиях Сибири. К тому же тепловая угольная генерация является мощным инфраструктурным комплексом для угольных регионов, она обеспечивает функционирование и развитие ведущих отраслей промышленности.

Угольная генерация обеспечивает сбыт продукции десяткам, сотням шахт и разрезов. Стабильная работа угольно-энергетического комплекса – это десятки тысяч рабочих мест, налоги в бюджет всех уровней, поддержка и развитие шахтерских городов и поселков [3].

В угольной промышленности Кузбасса занято 88 тыс. человек, с учетом вспомогательного персонала на поверхности - более 110 тыс. человек. При этом на угольную отрасль в регионе "завязаны" предприятия энергетики, горного машиностроения, транспортные и строительные компании, где занято около 500 тыс. человек. От угольной отрасли зависит экономика 18 моногородов и районов с населением более 1,5 млн. человек, это почти 60% населения региона.

Реализация озвученных инициатив приведет к ухудшению социального положения населения целых регионов, экономической нестабильности, сокращению сотен рабочих мест, уничтожению созданной инфраструктуры и оттоку населения из Сибири.

В плане защиты окружающей среды важнее реконструировать изношенные мощности и укрупнять мелкие котельные, отмечает руководитель областного департамента энергетики Дмитрий Кудряшов. Это подтверждает и начальник производственно-технического управления Кузбасского филиала «Сибирской генерирующей компании» Алексей Кутырев: «У нас в регионе избыток электроэнергии, и строить новые станции экономически нецелесообразно». Тепла, напротив, не хватает, а перспективы теплоэнергетики связаны именно с развитием угольной генерации. «Есть постановление пра-

вительства, что все новые тепловые мощности больше 5 МВт должны снабжаться генераторами, – говорит Дмитрий Кудряшов. У нас должна развиваться угольная энергетика и угольная промышленность – наши условия существования именно такие».

Доцент кафедры теплоэнергетики КузГТУ Виктор Сливной рассказал о перспективах развития альтернативной энергетики в Сибири. Он ещё раз напомнил о минусах ГЭС (невозможность регулировать температурные пики) и АЭС (опасность аварий в сейсмичной зоне, проблема захоронения отходов). Использовать солнечные батареи и ветряки нужно и можно, говорит эксперт, но в Сибири солнца и ветра немного, поэтому они могут служить лишь как дополнительные источники энергии [5].

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс.- Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>.
2. Электронный ресурс.- Режим доступа: <http://www.forbes.ru/biznes/349321-ekonomika-vybrosov-kak-rossiya-budet-soblyudat-parizhskoe-soglasenie-po-klimatu>.
3. Электронный ресурс.- Режим доступа: <https://www.kem.kp.ru/daily/26503.1/3372410/>.
4. Электронный ресурс.- Режим доступа: <http://sibgenco.ru/press-center/media-on-sgc/pravo-na-ugol-zashchita-iz-kuzbassa/?bxajaxid=509ae832dade92c4159bf3f55f9dd553>.
5. Электронный ресурс.- Режим доступа: <http://kuzbass85.ru/2016/04/26/otsifrovat-so/>.

УДК 621.796

## ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ УГЛЯ НА ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЯХ

**Тодьякова А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: atodyakova@mail.ru*

В данной статье рассмотрены проблемы и пути совершенствования транспортировки и условий хранения угля на тепловых станциях.

Ключевые слова: уголь, транспортировка, хранение, тепловые электрические станции, топливо, угольные склады.

Подавляющее большинство тепловых электростанций (ТЭС) нашей

страны работает на твердом топливе. Его запасы очень велики, и по сравнению с газом и жидким топливом твердое топливо, в частности, уголь является дешевым и доступным. Уголь - это один из наиболее активно используемых в мире полезных ископаемых. Он применяется в промышленной сфере практически повсеместно. Столь широкое распространение данного горючего материала обуславливает необходимость его оперативной транспортировки. Нередко перемещение больших объемов угля осуществляется между странами и даже континентами. В этом случае к вопросу транспортировки нужно подходить максимально взвешенно и ответственно.

Транспорт играет огромную роль в экономике страны. От его работы зависит развитие и нормальное функционирование предприятий промышленности, сельского хозяйства, снабжения и торговли. Велико его значение во внешнеэкономических связях, в освоении новых экономических районов.

На данный момент транспортировка каменного угля осуществляется всеми видами транспорта:

- автомобильным (на небольшие расстояния);
- железнодорожным (внутри страны, а также между государствами);
- морским (для перемещения продукции между континентами).

Самым востребованным и экономически обоснованным способом транспортировки является использование железнодорожного транспорта. Это обусловлено особенностями железной дороги, которая обладает необходимой скоростью перемещения, а также способностью одновременно транспортировать большие объемы груза. Каждый вид транспорта имеет собственные оценки качественных критериев, характеризующих его рациональность для конкретной перевозки.

Автомобильный транспорт используется, как правило, при небольших объемах перевозки. Дело в том, что это весьма длительный процесс - необходимо обзавестись специальным транспортным средством, погрузить уголь и выгрузить его. Кроме того, каменный уголь представляет собой весьма специфический материал. Он, как и соль техническая, нуждается в особом подходе при транспортировке, поэтому неправильная погрузка в неподходящий транспорт может привести к большой потере при транспортировке.

Транспортировка угля морским транспортом наименее востребована, однако для перемещения груза между континентами, на большие расстояния, он незаменим. Такой способ транспортировки характеризуется медленной скоростью, однако при этом и высокой надежностью. Уголь засыпается в специальные контейнеры, что обеспечивает фактически стопроцентное сохранение первоначальных объемов в конечной точке доставки. Кроме того, перевозка угля морским транспортом позволяет постоянно контролировать груз, что положительным образом сказывается на эффективности доставки.

При транспортировке ископаемого угля необходимо придерживаться определенных правил, что позволит доставить данный груз в надлежащем техническом состоянии. Главное, на что необходимо обращать внимание -

это уровень влажности угля, который в каменном угле не должен превышать 7 %, а в буром - 30% [1].

Перевозки каменного угля по своему объёму составляют значительную часть грузооборота на железнодорожном транспорте. В структуре погрузки грузов на железных дорогах России уголь составляет более одной трети и является самым массовым грузом. Каменный уголь перевозится в полувагонах. Они должны быть исправными и иметь зазоры в разгрузочных люках не более допускаемых техническими условиями. Полувагоны, подаваемые под погрузку коксующихся углей, не должны иметь сора и песка. Перед погрузкой каменного угля мелких фракций грузоотправитель обязан убедиться в том, что перевозка в данном полувагоне не вызовет его потерь, загрязнения им железнодорожного пути и окружающей среды. Для этого грузоотправитель принимает дополнительные меры по уплотнению зазоров кузова полувагонов. Загруженные вагоны взвешиваются и в соответствии с грузоподъемностью полувагона догружаются или отгружаются при ее превышении, т.е. производится дозировка.

При перевозке и хранении угля необходимо учитывать такие его свойства, как самовозгорание, смерзание, дробление. Ископаемые угли обладают способностью поглощать кислород воздуха, что приводит к самонагреванию и самовозгоранию. По мере окисления происходит выделение и накопление тепла, что, в конечном счете приводит к самовозгоранию углей. Не допускается погрузка ископаемых углей в вагоны, засоренные остатками других грузов, так как угольная пыль при взаимодействии с другими веществами (с серным колчеданом, аммиачной селитрой и др.) образует взрывчатые смеси. Марка каменного угля указывается грузоотправителем в накладной в графе «Наименование груза» [2].

В договорах на поставку твердого топлива должны быть указаны: марка топлива, группа по зольности и предельная зольность, содержание летучих, класс по крупности и максимальные размеры кусков, отсутствие в топливе посторонних включений и максимальная влажность. На электростанциях должны периодически проводиться анализы качества топлива.

Как уже отмечалось, уголь доставляют на ТЭС железнодорожным, водным, автомобильным или конвейерным транспортом. Вопрос о способе доставки должен решаться на основании технико-экономических расчетов, с учетом особенностей района размещения ТЭС. Подъездные пути ТЭС эксплуатируются по договору с предприятием Министерства путей сообщения, заключаемому на основании "Единого технологического процесса (ЕТП) работы подъездных путей и станций примыкания". Норма простая вагонов с углем под разгрузкой определяется в результате расчетов в ЕТП затрат времени на следующие операции: подачу маршрута с углем со станции примыкания на ТЭС; взвешивание угля; разбивку маршрута на ставки и маневровые работы на ТЭС; разгрузку вагонов с углем; сбор порожняка и его возврат на станцию примыкания.

Топливо доставляется в полувагонах, т.е. открытых вагонах. Конструктивно-технический уровень полувагонов характеризуется рядом основных параметров, к числу которых относятся грузоподъемность, коэффициент тары, число осей.

Топливные склады выполняются открытыми. Закрытые склады допускаются для электростанций, расположенных в больших городах в условиях стесненной территории, а также (при специальном обосновании) в отдаленных северных районах. Склад, организуемый для планового и долгосрочного хранения топлива в целях обеспечения электростанции топливом при длительных задержках в его доставке, называется резервным складом. Склад, организуемый для систематического выравнивания расхождения в количестве прибывающего на электростанцию топлива и подаваемого в данный момент в бункера котельной, называется расходным. Резервные и расходные склады угля располагаются на территории электростанции поблизости от главного корпуса и могут совмещаться на одной площадке. В этом случае из-за нечеткой границы между ними значительная часть резервного склада переходит в разряд расходного.

Вместимость складов угля и сланцев принимается, как правило, равной 30-суточному расходу топлива. Для электростанций, удаленных от угольных разрезов или шахт на расстояние 41-100 км, она может приниматься равной 15-суточному расходу, а на расстояние до 40 км - 7 - суточному расходу. Если электростанция проектируется с учетом расширения, то должна предусматриваться и возможность расширения склада.

За состоянием складов топлива организуются регулярные наблюдения. Склады, где хранятся угли, должны осматриваться от 3 раз в неделю до 2 раз в месяц в зависимости от групп углей. В период сильных ветров, дождей и при обнаружении очагов самовозгорания топлива на отдельных участках штабеля все склады следует осматривать ежедневно. Внешними признаками самонагревания угля служат влажные пятна на поверхности штабеля, появляющиеся за ночь и исчезающие на солнце, быстрое образование сухих пятен после дождя, проталины в снежном покрове и окрашивание снега, дым над штабелем и запах продуктов окисления топлива.

При появлении признаков самонагревания топлива следует дополнительно уплотнить поверхность штабеля на участке, превышающем в 2-3 раза размеры очага. Если после этого выделение продуктов разложения топлива в виде пара, газа и дыма будет продолжаться, то уголь из очага самовозгорания должен быть выбран и затушен на отдельной площадке склада распыленной водой и вместе со свежим топливом подан в котельное отделение.

Расходование топлива со склада должно проводиться в соответствии с обоснованным графиком его обновления.

Уголь должен храниться на открытых специально оборудованных площадках, под навесами или в закрытых складских помещениях типа сараев, в бункерах, ямах (котлованах). Для хранения больших запасов угля необ-

ходимо обустроить склад с хранением угля в штабелях. При проведении погрузочно-разгрузочных операций на угольном складе значительной емкости должны применяться краны с грейферами, транспортеры и другое оборудование, позволяющее производить непрерывную погрузку-выгрузку угля и распределение его по штабелям. Размеры штабеля бурого и каменного угля не должны превышать по высоте 2,5 м, а по ширине 20 м. Длина штабеля не ограничивается. Штабель должен иметь форму усеченной пирамиды с квадратным, прямоугольным или трапецеидальным основанием. Поверхности штабеля выравниваются с одновременной утрамбовкой для придания достаточной плотности, препятствующей проникновению влаги и воздуха внутрь штабеля. Для лучшего стока воды верх штабеля должен строиться четырехскатным с небольшим подъемом посередине. Разрывы между штабелями должны быть не менее 4 м. Каждый штабель должен одной стороной прилегать к проезду шириной не менее 10 м. Угольные брикеты должны укладываться в клетки, из которых состраиваются штабели, отдельно для каждого сорта (размера) брикетов. Во всех рядах брикеты должны укладываться плашмя. Как отдельные клетки брикетов, так и штабель в целом, должны быть выполнены правильной формы по шнуру, боковые стенки - по отвесу. Кокс для предохранения его от атмосферных осадков должен храниться в штабелях под навесом. Высота штабеля не ограничивается и зависит от технических возможностей применяемых средств механизации погрузочно-разгрузочных работ. Каждый уложенный штабель должен снабжаться табличкой с указанием в ней марки хранимого в штабеле угля. Смешивание в одном штабеле угля разных марок не допускается, так как это усиливает вероятность самовозгорания.

Необходимо систематически производить проверку температуры угля в штабеле, постоянно следить и обеспечивать сохранность, ровность и плотность поверхностей, целостность защитной корки штабеля. Трещины или другие возникающие дефекты и повреждения в поверхностях штабеля, приводящие к проникновению воздуха и влаги внутрь, должны немедленно устраняться выравниванием и уплотнением поврежденных мест корки специальными катками. Для контроля за температурой угля в штабель должны устанавливаться контрольные трубки. Замер температуры в трубке должен производиться при помощи ртутного термометра. Термометр должен быть заключен в деревянный футляр, а ртутный шарик в гильзу, наполненную машинным маслом или металлическими опилками. Термометр должен находиться в трубке не менее часа, после чего его извлекают и результаты измерения температуры заносят в специальный журнал с указанием номера штабеля, трубки и даты измерения. Нормальной температурой в штабеле считается температура угля от 30 до 60 °С. Первое измерение температуры должно производиться непосредственно после укладки штабеля, последующие - через каждые пять дней. Если температура в каждую пятидневку начинает повышаться на 5 °С или приближаться к критической (60 °С), ее измерение должно

производиться ежедневно. При повышении температуры угля выше 60 °С необходимо тщательно уплотнить катком поверхность штабеля на участке образования очага нагревания и создать на этом участке защитную корку.

Если зона нагревания будет увеличиваться, необходимо вынуть разогревшийся уголь и вместо него засыпать свежий. После этого должно быть произведено тщательное уплотнение. Извлеченный из штабеля разогревшийся уголь необходимо разбросать на свободной запасной площадке слоем толщиной не более 0,5 м. После охлаждения этот уголь нельзя укладывать обратно в штабель. Его следует в первую очередь отпустить потребителю. Загоревшийся уголь можно тушить водой, разбросав его на запасной площадке [3].

Таким образом, соблюдение всех требований к условиям транспортировки и хранения угля на ТЭС имеет большое значение для эффективности работы энергетического оборудования.

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс.- Режим доступа: [www.krot.su/stati/transportirovka\\_uglya\\_kak\\_ego\\_perevoziat/](http://www.krot.su/stati/transportirovka_uglya_kak_ego_perevoziat/).
2. Электронный ресурс.- Режим доступа: [http://studbooks.net/2219646/ekonomika/perevozka\\_uglya\\_zheleznodorozhnym\\_transportom](http://studbooks.net/2219646/ekonomika/perevozka_uglya_zheleznodorozhnym_transportom).
3. Электронный ресурс.- Режим доступа: [https://studwood.ru/1671546/matematika\\_himiya\\_fizika/toplivnoe\\_hozyaystvo\\_tverdom\\_toplive\\_harakteristiki\\_svoystva\\_tverdogo\\_topлива\\_shema\\_toplivopodachi\\_dostavka](https://studwood.ru/1671546/matematika_himiya_fizika/toplivnoe_hozyaystvo_tverdom_toplive_harakteristiki_svoystva_tverdogo_topлива_shema_toplivopodachi_dostavka).

УДК: 620.95

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КУЗБАССА

Алшынбаев С.Д.

**Научный руководитель:** канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [alshinbaev\\_sayat@mail.ru](mailto:alshinbaev_sayat@mail.ru)*

В статье проводится анализ современных технологий по использованию нетрадиционных источников энергии на территории Кузбасса с оценкой возможности и целесообразности их применения в данном регионе.

Ключевые слова: Кузбасс, нетрадиционная энергетика, экология, солнечная энергетика, энергия ветра, геотермальная энергия.

Энергетика вносит значительный вклад в формирование основных социально-экономических параметров развития страны, что заставляет обращать особое внимание на специфику ее развития.

Сегодня доля угля, нефти и газа в структуре энергетического потребления России составляет около 90%. Кроме того, топливно-энергетический

комплекс (ТЭК) ориентирован в основном на экспорт, а это приводит к ряду негативных моментов, требующих незамедлительного решения.

Угроза истощения запасов углеводородных ресурсов с особой остротой поставила вопрос реализации инвестиционных проектов по разведке и освоению новых месторождений, в том числе и труднодоступных, а также интенсификации разработки действующих. Поэтому важным элементом устойчивого развития страны, не ставящего под угрозу возможности будущих поколений, становится обеспечение рационального распоряжения запасами полезных ископаемых в средне- и долгосрочной перспективе.

Загрязнение окружающей среды энергетическим сектором, приводящее к существенному ущербу здоровью населения, актуализирует вопрос внедрения новых экологически чистых технологий.

Политика диверсификации и модернизации экономики невозможна без повышения энергоэффективности российской экономики, а это требует поворота с траектории, ведущей страну к превращению в сырьевой придаток «зеленой» мировой экономики, на траекторию устойчивого развития на основе широкого применения как энергоэффективных углеродных технологий, так и технологий на основе возобновляемых ресурсов [1].

Обзор современных технологий использования солнечной энергии как альтернативного источника энергии позволяет сделать вывод о том, что в Кемеровской области могут найти практическое применение солнечные коллекторы для нагрева воды и фотоэлектрические станции небольшой мощности для выработки электрической энергии.

Применение данных технических средств возможно в автономных системах энергоснабжения при сезонном использовании – с апреля по сентябрь. Наибольшую экономическую эффективность данные энергетические установки будут иметь в децентрализованных зонах Кемеровской области, где себестоимость вырабатываемой энергии существенно выше, чем в целом по региону.

Большая географическая широта Кемеровской области и низкие среднегодовые температуры обуславливают крайне низкую эффективность солнечных электростанций с концентраторами энергии и солнечных прудов. Применение данных технологий в Кемеровской области на сегодняшний день нецелесообразно.

Для определения экономической эффективности использования в энергетических целях солнечных коллекторов и фотоэлектрических преобразователей (удельной стоимости 1 кВт установленной мощности, срока окупаемости проекта, себестоимости вырабатываемой энергии) требуется проведение технико-экономических расчетов [2].

С учетом развития лесодобывающей и деревообрабатывающей промышленности в регионе, технологии прямого сжигания древесных отходов могут найти практическое применение в Кемеровской области, особенно в зонах децентрализованного энергоснабжения.

Коммерческий интерес представляют современные технологии пере-

работки древесных отходов – производство топливных брикетов и древесных гранул. Амбициозные планы развития лесного комплекса Кемеровской области предусматривают уже в ближайшее время довести объем заготовок древесины до 1 млн. м<sup>3</sup> в год. При таком развитии событий строительство заводов по переработке отходов лесоперерабатывающей промышленности становится не только экономически привлекательным, но и технически необходимым.

Интересным с точки зрения использования нетрадиционных видов энергии является опыт совхоза «Барачатский» по выращиванию и переработке рапса, который свидетельствует о возможности производства биодизельного топлива, имеющего хороший рынок сбыта в современных условиях.

Одним из наиболее перспективных альтернативных источников энергии является также земное тепло. Стоимость 1 кВт генерируемой мощности в 2 раза ниже стоимости генерации на тепловых электростанциях (ТЭС). Кроме того, при получении энергии можно решать проблемы утилизации CO<sub>2</sub> от выбросов электростанций (отделение CO<sub>2</sub> от выбросов электростанций, сжижение и закачка в геотермальные станции).

Источниками низкопотенциальной теплоты (при использовании тепловых насосов) могут служить очищенные воды станций аэрации в крупных городах; циркуляционные воды систем охлаждения турбин ТЭС и ГРЭС, теплые шахтные воды; геотермальные воды и т.д. Возможно также прямое использование геотермальной энергии для обогрева помещений и производства горячей воды.

Анализ современных технологий использования энергии ветра для выработки электрической энергии и энергетический кадастр ветровой энергии региона позволяют сделать вывод о том, что на территории Кемеровской области возможно практическое использование только малых ветроэнергетических установок.

Крупномасштабное производство электрической энергии с помощью энергии ветра экономически целесообразно на территориях со среднегодовыми скоростями ветра более 6 м/с. Таких районов в регионе нет, однако имеются территории со среднегодовой скоростью ветра более 4 м/с, что определяет экономическую целесообразность использования малых ветроэнергоустановок (ВЭУ) мощностью до 30-50 кВт, для производства электрической энергии в составе автономных систем электроснабжения [3].

Наиболее перспективными территориями области с точки зрения энергетического использования ветровой энергии, являются районы Новокузнецка, Центрального Рудника, Тисуля, Тайги и Юрги. Возможно локальное применение ВЭУ в районах Горной Шории и предгорьях Кузнецкого Алатау за счет рационального использования ландшафта горного рельефа. В предгорьях, у выходов из узких долин на свободные широкие степные и пустынные просторы скорости ветра обычно возрастают. Однако для определения оптимальных мест размещения ВЭУ в этих районах требуются дополнитель-

ные исследования параметров ветрового режима.

Итак, в Кемеровской области есть необходимые природные ресурсы для развития альтернативной энергетики. Нельзя сказать, что они присутствуют в изобилии и равномерно распределены по территории региона, но их достаточно, чтобы решать такие задачи, как повышение надежности электроснабжения, создание резервных мощностей, компенсация потерь, а также электроснабжение удаленных районов.

Вместе с тем нужно понимать, что проведение любого технического перевооружения, реконструкция оборудования - это немалые затраты, строить с нуля - еще дороже. К полному переходу к нетрадиционной энергетике в нынешней ситуации наша страна в целом и регион в частности пока не готовы [4].

#### Библиографический список

1. Бояринцев А. Э., Семененко Н. М. Альтернативные источники энергии // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 25. – С. 106–110.
2. Перспективы возобновляемой энергетики Кемеровской области, Кемерово, 2008. – 234 с.
3. Лосюк Ю.А., Кузьмич В.В., Нетрадиционные источники энергии. Минск: УП «Технопринт», 2005. – 233 с.
4. Сливной В.Н., Перспективы возобновляемой энергетики в Кузбассе / III Международная конференция «Возобновляемая энергетика – проблемы и перспективы». – Махачкала, 2014. – С.43-46.

УДК 662.66:336.226.46

## **ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛА ПРОДУВОЧНОЙ ВОДЫ И ПРОЛЕТНОГО ПАРА ВОЗВРАТА КОНДЕНСАТА**

**Дьяченко Е.В**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: qwerty210295@gmail.com*

В статье отражены мероприятия по энергосбережению в промышленных котельных, приведен пример схемы возврата пара конденсата в котельную № 2 Абагурского филиала АО «ЕВРАЗРУДА»

Ключевые слова: котлоагрегат, конденсат, продувочная вода, тепло, пар, барабан.

Важнейшим приоритетным направлением энергетической политики России является рациональное использование и экономия энергии (энерго-

сбережение – так наиболее часто называют этот процесс в России). В основе этого понимания лежат следующие причины:

- энергообеспечение сопряжено с огромными финансовыми, материальными и трудовыми затратами;
- добыча, производство, транспорт и потребление топливно-энергетических услуг оказывают негативное воздействие на окружающую среду;
- увеличение объема потребления энергоресурсов предприятием вызывает увеличение стоимости выпускаемой продукции, а, следовательно, снижение ее конкурентоспособности на рынке [1].

Вполне естественно, что в современных условиях энергосбережение становится одним из важнейших факторов экономического роста и социального развития, позволяя при тех же уровнях энергообеспечения национального хозяйства направлять высвобождающиеся значительные ресурсы на другие цели - рост производительности труда и доходов населения, развитие социальной инфраструктуры, увеличение производства товаров и услуг и т.п. Выбор основных направлений деятельности в области энергосбережения, а также разработка и внедрение энергосберегающих мероприятий для любого промышленного предприятия возможны только на основе анализа фактического состояния эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, определения потенциала энергосбережения с учетом условий функционирования основных технологических объектов. Такие данные можно получить различными способами, однако наиболее полными и объективными являются результаты, полученные в ходе проведения энергоаудитов предприятий. Основанием для проведения таких энергетических обследований промышленных объектов России является Федеральный закон РФ об энергосбережении [2].

Процедура энергоаудита предполагает оценку всех аспектов деятельности предприятия, которые связаны с затратами на топливо и энергию различных видов. Аудит дает руководству предприятия четкое понимание сегодняшнего состояния эффективности энергетических систем, ее соответствие мировым стандартам, возможности и пути достижения этих стандартов.

При проведении энергетического аудита решается ряд основных задач, таких как:

- анализ режимов работы систем энергоснабжения и оценка эффективности использования энергетических ресурсов и вторичных энергоресурсов на предприятии;
- оценка текущего состояния энергопотребления и его сравнение с показателями, указанными в проектной документации и в технологических регламентах;
- составление топливно-энергетических балансов предприятия и оценки обоснованности действующих норм потребления энергоресурсов;

Последовательное решение этих задач складывается в устоявшуюся методику проведения энергоаудита. Кроме того, в соответствии с требовани-

ями действующего законодательства в области энергосбережения, решаются некоторые формальные задачи энергетического обследования

Решение всех этих задач возможно только при совместной работе высококвалифицированных экспертов со специалистами заказчика непосредственно на объектах предприятия.

Объектом для написания статьи является Абагурский филиал АО «Евразруда». Специфика энергопотребления обследуемого объекта заключается в необходимости постоянного использования электро- и тепловой энергии для обеспечения технологического процесса и жизнеобеспечения работающего персонала, поэтому необходимость оценки эффективности использования энергоресурсов для обследуемого объекта очевидна и актуальна.

Мероприятия по энергосбережению в промышленных котельных разнообразны. Среди них повышение коэффициента полезного действия (КПД) котлов за счет снижения температуры уходящих газов, использование тепла продувочной воды, рациональное снижение давления пара от давления в барабане котла до давления, требуемого в технологических аппаратах, рациональное распределение нагрузки между несколькими котлами, работающими одновременно и др. При рассмотрении мероприятий по экономии тепловой энергии и топлива наиболее приоритетными являются те, применение которых позволяет не только обеспечить значительную экономию, но и повысить производительность и надежность теплотехнических установок.

В данной статье анализируются способы экономии топлива за счет использования остаточного тепла продувочной воды и пролетного пара возврата конденсата [3].

Система теплоснабжения (СТ) предназначена для обеспечения технологических нужд объектов Абагурской агломерационной фабрики (склады мазута аглоцеха, гаражи размораживания руд) и для отопления производственных и административно-бытовых зданий. Абагурская аглофабрика обеспечивает также теплоснабжение сторонних потребителей тепловой энергии. Обеспечение технологических нужд объектов фабрики и отопление производственных корпусов осуществляется паровой системой теплоснабжения. Отопление и горячее водоснабжение административно-бытовых зданий осуществляется от Центральной бойлерной, отопление центрального склада – от собственной бойлерной. Источником тепловой энергии на Абагурской агломерационной фабрике является собственная котельная.

На котельной установлены семь паровых котлов КЕ -25/14 и один котел ДЕ- 25/14. В эксплуатации находятся шесть котлов КЕ -25/14, работающих на угле. Два котла, работающих на мазуте, не эксплуатируются из-за высокой стоимости мазута. Еще на одном котле проводились мероприятия по переводу для работы в режиме высокотемпературного кипящего слоя, однако обеспечить нормальную работу котла в этом режиме по различным причинам не удалось. Котлы, находящиеся в эксплуатации, оборудованы механической топкой ТЧЗМ- 2.7/5,6 с цепной чешуйчатой решеткой обратного

хода и двумя ленточными пневмомеханическими забрасывателями и питателями или плунжерными питателями. Для привода колосникового полотна топки служит механизм, который имеет бесступенчатое регулирование частоты вращения. Для подогрева питательной воды за котлами установлены чугунные водяные экономайзеры.

Нагрузка котлоагрегатов регулируется изменением скорости движения решетки, частотой вращения пневмомеханических забрасывателей угля, а также регулированием подачи воздуха под решетку по каждой зоне. Это производится вручную, какое-либо автоматическое регулирование отсутствует [4].

Контроль количества пара, вырабатываемого котлами, осуществляется с помощью приборов расхода пара, установленных после каждого котла. Кроме этого, контролируется расход питательной воды на каждый котел и давление пара после котла.

Возврат конденсата потребителями пара осуществляется самотеком за счет остаточного давления в паровой системе теплоснабжения. Конденсат от каждого объекта поступает в магистральные конденсатопроводы, которые, в свою очередь, объединяются в общий трубопровод, по которому конденсат поступает в котельную № 2 фабрики.

В котельной конденсат собирается в двух конденсатных баках объемом 15 м<sup>3</sup>, куда также поступает конденсат из котельной. Из конденсатных баков конденсат подается на деаэраторы.

Возврат конденсата осуществляется не всеми объектами фабрики, потребляющими пар на свои нужды. Не возвращается конденсат с мазутного хозяйства фабрики: он сбрасывается в дренажную систему фабрики. Со многих объектов конденсат сбрасывается в канализационную систему. Конденсатопроводы со стороны аглофабрики № 1 обрезаны. Общая протяженность работающих конденсатопроводов составляет 1178 метров.

Конденсатопроводы проложены по земле без каких-либо опор. Тепловая изоляция на 90 % участков конденсатопроводов отсутствует. Там, где тепловая изоляция имеется, она сильно разрушена, не имеет покровного слоя. Эта проблема требует решения и является существенным резервом энергосбережения на фабрике [5].

В практике эксплуатации паровых систем теплоснабжения недостаточное внимание уделяется сбору и возврату конденсата в котельную, а это приводит к значительному перерасходу топлива.

При избыточном давлении пара 1,6-1,3 МПа, наиболее распространенном в отопительно-производственных котельных, каждый процент продувки, если тепловая энергия ее не используется, увеличивает расход топлива на величину, составляющую примерно 0,34 % от расхода топлива на выработку пара.

При максимальной допустимой расчетной продувке 10 %, установленной нормами для котлов с давлением до 1,4 МПа, и без использования тепловой энергии продувочной воды потери топлива могут превысить 3,5 % общего расхода топлива.

Для использования тепловой энергии непрерывной продувки устанавливают сепаратор и теплообменник.

При эксплуатации открытой системы сбора конденсата для исключения коррозии поверхностей следует вводить конденсат под уровень жидкости возможно ближе к месту его забора, поддерживать температуру конденсата на уровне 95 – 100 °С, применять для конденсатных баков сталестружечный затвор с поплавком. Кроме того, конденсат необходимо непрерывно откачивать. Открытые системы сбора конденсата применяют при производительности конденсатной системы менее 10 т/ч и удалении потребителя от котельной на расстояние не более 0,5 км.

Для экономичной работы теплоиспользующих установок следует добиваться в них полной конденсации пара. Отвод конденсата из аппаратов без пропуска пара достигается при помощи конденсатоотводчиков. В системах пароснабжения промышленных предприятий могут использоваться конденсатоотводчики различных типов, например, с механическим затвором (поплавковые, термостатические, мембранные). Конденсатоотводчики с механическим затвором применяют при давлении выше 0,1 МПа. Производительность их составляет 18 м<sup>3</sup>/ч. Конденсатоотводчики с механическим затвором рассчитаны на давление до 1,6 МПа при температуре до 200 °С и имеют условный диаметр 15; 20; 25; 32; 40 и 50 мм. Поплавковые конденсатоотводчики бывают с открытыми и закрытыми поплавками. Работа конденсационных горшков с закрытыми поплавками менее надежна вследствие перепада давления на поплавке. Конденсатоотводчик с открытым поплавком сложнее в изготовлении и эксплуатации, но более надежен в работе [6].

Термостатические конденсатоотводчики основаны на принципе расширения тел при нагревании и используются только для отбора охлажденного конденсата. Устанавливаются они непосредственно у потребителей пара и могут работать при начальном давлении до 0,6 МПа и противодавлении до 50 %.

Мембранные конденсатоотводчики просты и удобны в эксплуатации. Однако их характеристики снижаются с течением времени вследствие потери упругости мембраны.

Конденсатоотводчики устанавливают также на дренажных линиях магистральных паропроводов сразу за водоотделителем. Дренажная система позволяет вывести образовавшийся конденсат из паропроводов, что предотвращает возможность гидравлических ударов, повреждающих фланцевые соединения. Дренажные системы подразделяются на постоянные и временные. Постоянные дренажи используют при нормальной работе трубопроводов и устанавливают через 200 — 300 м. Временные (пусковые) дренажи предназначены для пуска паропровода и устанавливают в местах возможного скопления конденсата. Иногда предусматривается свободный слив конденсата, что позволяет осуществлять контроль за прогревом паропровода и работой конденсатоотводчика. Для удаления загрязненного конденсата устраивают специальные дренажи. Поскольку производственный конденсат,

как правило, загрязнен, производят его очистку от механических примесей, соединений железа и меди, кислорода, аммиака и т.д. [7].

#### Библиографический список

1. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. М.: Издательство Машиностроение-1, 2006. – 256 с.
2. Федеральный Закон РФ от 03 апреля 1996 г. № 28-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-е изд. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с.
4. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж[и др.]. – Изд. 3-е перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1988. – 432 с.
5. Теплоснабжение: учеб. пособие / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков[и др.]. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.
6. Варфоломеев Ю. М. Отопление и тепловые сети / Ю.М. Варфоломеев, О. Я. Кокорин. – М.: Изд-во Инфра, 2006. – 425 с.
7. Копко В.М. Теплоснабжение и вентиляция: учеб. пособие / В.М. Копко, Ю.Я. Кувшинов, Б.М. Хрусталева. – Москва: Изд-во АСВ, 2007. – 487с.

УДК 621.181

### ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА ФИЛИАЛА ШАХТЫ «ЕСАУЛЬСКАЯ»

**Турлак Н.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: turlak\_natalia@mail.ru*

В работе рассмотрены и проанализированы проблемы энергетического хозяйства филиала шахты «Есаульская», представляющего собой совокупность паросиловых установок и оборудования (паровые котлы, парогенераторы, паровые двигатели и др.), в которых энергия водяного пара превращается в механическую работу.

Ключевые слова: котлоагрегат, энергокомплекс, уголь, экологические проблемы, технологические проблемы, экономические проблемы.

Энергетическое хозяйство шахты представляет комплекс следующих объектов:

1. Котельная (здесь находятся котлоагрегаты, водоподогреватели, насосы, зольное отделение, очистные сооружения).

2. Отделение углеподачи (ленты подъема, конвейерное хозяйство, дробилки, пересыпы, питатель, приемные бункера).

3. Калориферные установки (вентиляционные установки для прогрева воздуха, идущего в шахту).

4. Теплотрассы поверхностного и подземного комплексов (протяженностью 1,6 км и 2,5 км, с давлением до 1,6 МПа).

5. Угольный склад.

6. Тепловые узлы на внутренних потребителях.

7. Скважины подачи производственно-технической воды на технологию.

Все проблемы энергетического хозяйства шахты можно разделить на:

- экологические,

- технологические,

- экономические [1, 2].

*Экологические проблемы.* Для решения этих проблем, в первую очередь, следует уменьшить выбросы пыли в дымовых газах путем настройки работы циклонов специализированной организацией и в будущем установить приборы и устройства, регулирующие автоматически оптимальные режимы работы очистных устройств. При автоматическом регулировании режимов работы очистных сооружений влияние человеческого фактора будет сведено до минимума.

*Технологические проблемы.* Вследствие удаленности предприятия от поставщиков энергетического угля, необходимого для работы котлоагрегатов, приходится проводить завоз угля на отопительный сезон железнодорожным транспортом и большими партиями (более 10000 т). На складе под открытым небом перед отопительным сезоном скапливается до 16000т угля. Уголь, хранясь в открытом штабеле, впитывает в себя все внешние осадки, теряя при этом горючие свойства (окисляется, разлагается, смерзается, приобретает способность к самовозгоранию и т.д.). В процессе сжигания этого угля происходит следующее:

- в процессе погрузки и транспортировки ленточными конвейерами происходят постоянные запрессовки углем дробилок, перегрузов, пневмомеханических забрасывателей на самих котлах, что приводит к перерывам в работе котлов, износу пневмомеханических забрасывателей, химическому и механическому недожогу угля, снижению коэффициента полезного действия котлоагрегата и нестабильной работе теплотехнического оборудования;

- температурный режим работы теплотрасс становится нестабильным;

- воздух, нагреваемый на вентиляционных установках и подаваемый затем в шахту, недостаточно прогрет;

- температурные колебания на тепловых установках и сосудах, работающих под давлением, изнашивают их за более короткий срок, отличающийся от проектного в несколько раз. Все это приводит к необходимости дополнительных ремонтов оборудования.

*Экономические проблемы.* В соответствии с действующими норматива-

ми уголь должен храниться на открытых специально оборудованных площадках, под навесами или в закрытых складских помещениях. Строительство крытого угольного склада на 4000-6000 т угля и поэтапный завод в течение всего отопительного сезона свежего угля в количестве 5000 т за один привоз мог бы кардинально исправить ситуацию на шахте с нестабильной работой и износом дорогостоящего оборудования в лучшую сторону. Примерные затраты на строительство закрытого склада оцениваются примерно в 5 млн. рублей, а стоимость трубных пучков водоподогревателей от 1 млн. рублей и выше (в зависимости от материала, из которого они будут изготовлены).

На котлах КЕ-25/14 №1, №2 и №3 были проведены теплотехнические испытания, цель которых заключалась в следующем:

- оптимизация режимов работы котлов при сжигании каменного угля марки «Г»;

- определение основных технико-экономических показателей работы котлов, удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии;

- составление режимных карт.

На основании результатов испытаний были сделаны следующие рекомендации [3].

1. Режимы работы котлов следует устанавливать согласно режимным картам.

2. Необходимо обеспечить нормативную плотность топки, конвективной шахты, воздухоподогревателей, экономайзеров и циклонов. Для этого нужно устранить присосы воздуха в следующих местах:

*Котел №1:*

- присосы через неплотности ремонтных люков в конвективной части справа и слева;

- неплотности через ремонтный люк с фронта котла.

*Котел №2:*

- присосы в районе вала редуктора решетки;

- на уровне площадки обслуживания котлов в районе заднего вала колосниковой решетки справа и слева отверстия в кожухе 400x300 мм.

*Котел №3:*

- присосы в районе вала редуктора решетки;

- на уровне площадки обслуживания котлов в районе заднего вала колосниковой решетки справа и слева отверстия в кожухе 350x300 мм;

- сзади колосниковой решетки, щель в кожухе по всей ширине решетки;

- со стороны питателей.

3. Оборудовать котлы контрольно-измерительными приборами:

- стационарные паромеры для замера расхода пара;

- контрольно-измерительные приборы для замера разрежений уходящих газов за конвективным блоком, за экономайзером, перед дымососом;

- контрольно-измерительные приборы для замера температуры уходящих газов за конвективным блоком и за экономайзером;

- контрольно-измерительные приборы для замера давления воздуха в каждой дутьевой зоне;

- контрольно-измерительные приборы для замера температуры воздуха после воздухоподогревателя;

- контрольно-измерительные приборы для замера температуры питательной воды после экономайзера.

4. Для предотвращения кислородной коррозии внутренних поверхностей нагрева котлов необходимо обеспечить работу деаэратора по назначению для обескислораживания питательной воды с температурой ее на входе в экономайзер не менее 100 °С.

Выполнение перечисленных выше рекомендаций позволит повысить стабильность и эффективность работы теплоэнергетического оборудования шахты.

#### Библиографический список

1 Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник для вузов / Г.Ф.Быстрицкий. – 3-е изд., стер. – М.: КноРус, 2012. – 350 с.

2 Теплогенерирующие установки: учеб. / Г. Н. Делягин [и др.]. – М.: БАСТЕТ, 2010.– 624 с.

3 Истомин Д.Ю. Теплотехнические испытания паровых котлов КЕ-25/14 ст.№1, №2 и №3 котельной филиала «Шахта «Есаульская» ОАО ОУК «ЮКУ»: технический отчет / ОАО «СШМНУ». – Новокузнецк, 2012. – 27 с.

## **IV. ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

УДК 504.064:621.18

### **ОЦЕНКА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОТЕЛЬНОГО ЦЕХА НА ПАО "ЮЖНО-КУЗБАССКАЯ ГРЭС" Г. КАЛТАН**

**Кузина О.П.**

**Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: lelya-kuzina.94@mail.ru*

Проведена оценка вредных выбросов от котельного цеха на ПАО "Южно-Кузбасская ГРЭС".

Ключевые слова: загрязняющие вещества, источники загрязнения, санитарные нормы, котельный цех, котлы.

Основным источником загрязнения на Южно-Кузбасской ГРЭС является котельный цех, в котором установлены 11 паровых котлов типа ПК – 10, производительностью 230 т/ч, давлением 100 кгс/см<sup>2</sup> и температурой перегретого пара  $t_{\text{пп}} = 510$  °С. Его назначение – выработка пара для турбинного цеха.

Основным топливом служит каменный уголь: тощий рядовой (ТР), тощий мелкий с семечкой и штыбом (ТМСШ) в смеси с промпродуктом обогатительных фабрик, сжигаемый в котле в пылевидном состоянии. Средняя зольностью 30,5 % и теплотворной способностью 4900-5900 ккал/кг (20,5 - 25 МДж) [1].

Растопочным топливом для котлов служит мазут, марки топливо котельное мазут (ТКМ-16). В цистернах он поставляется на приемно-сливную эстакаду станции и сливается в приемные подземные железобетонные резервуары № 1 и № 2, вместимостью по 100 м<sup>3</sup>. От туда насосом перекачивается в металлический подземный расходный резервуар № 3, вместимостью 100 м<sup>3</sup>, или в металлические наземные резервуары для хранения мазута № 4 и № 5, вместимостью по 1000 м<sup>3</sup>.

Система пылеприготовления - замкнутая с воздушной сушкой топлива, промбункером и установкой двух шаровых барабанных мельниц типа Ш-16. Подача пыли из промбункера в пылепроводы производится по-средствам питателей [5]. Транспорт пыли в горелки осуществляется высоконапорным воздухом по пылепроводам.

Летучая зола, которая уносится дымовыми газами, пройдя конвективные поверхности нагрева котла, осаждается в золоулавливающих установках (ЗУУ) мокрого типа. ЗУУ состоят из 4 скрубберов и 4 горизонтальных труб

Вентури с установленными в них аэроакустическими резонаторами. Эффективность золоуловителей достигает 98,5%. Далее, зола попадает в канал гидрозолоудаления и шламовыми насосами перекачивается на золошлакоотвал.

Отвод дымовых газов от котлов осуществляется через систему золоулавливания к трем дымовым трубам высотой 100м.

Целью настоящей работы являлось исследование выбросов вредных веществ в 2017 году в атмосферу ПАО "Южно-Кузбасская ГРЭС". Расчет выбросов вредных веществ проводилась согласно: "Руководству по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки"[3] и "Методическому пособию по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух"[4].

От котлоагрегатов в атмосферу выбрасываются следующие загрязняющие вещества: пыль золы углей, оксиды азота, ангидрид сернистый, углерода оксид, сажа и бенз/а/пирен. На первом этапе были установлены источники выделения загрязняющих веществ, на втором - установлены количественные характеристики этих выбросов. Далее сравнили выбросы предприятия с предельно допустимыми концентрациями и сделаны выводы по получившимся данным. Результаты проделанной работы приведены на рисунках 1- 6.

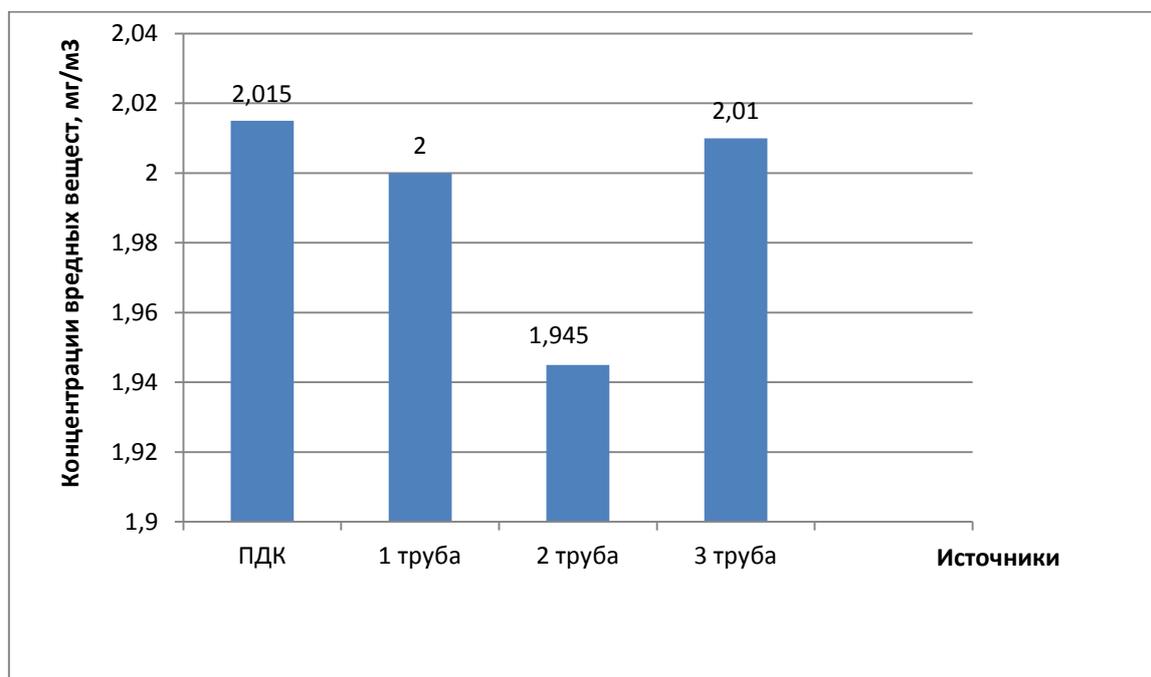


Рисунок 1- Выбросы золы от котельного цеха

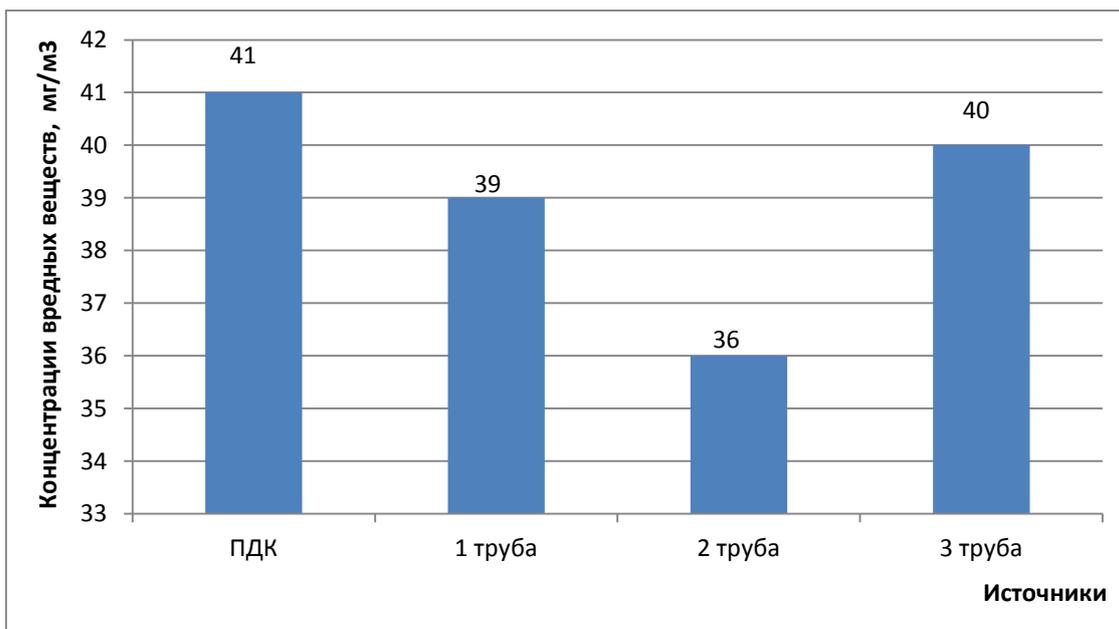


Рисунок 2- Выбросы сажи от котельного цеха

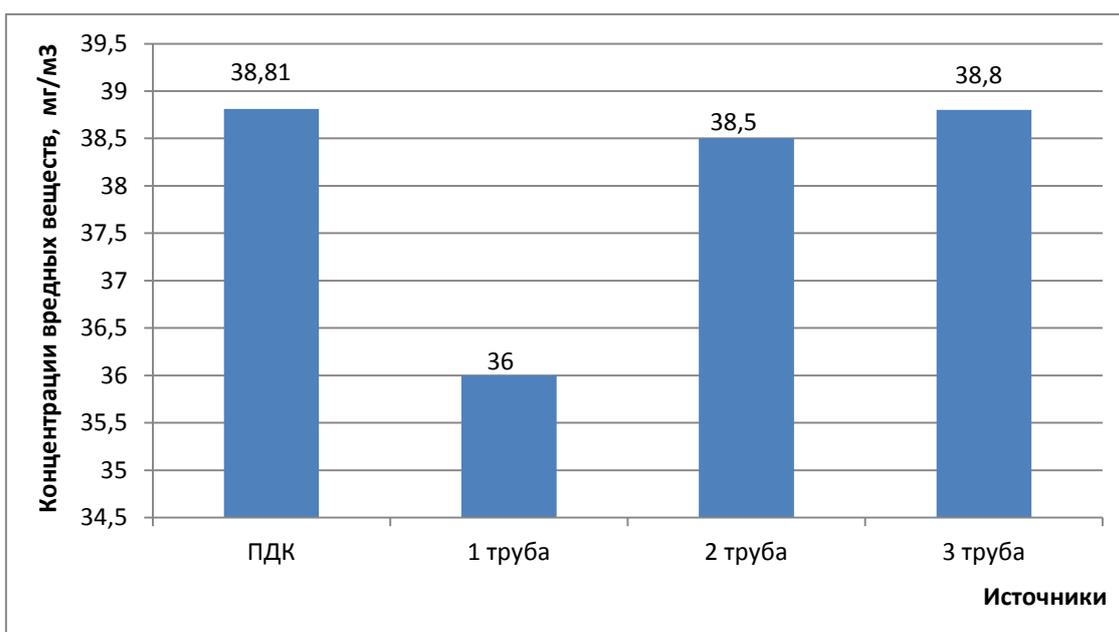


Рисунок 3 - Выбросы оксида азота от котельного цеха

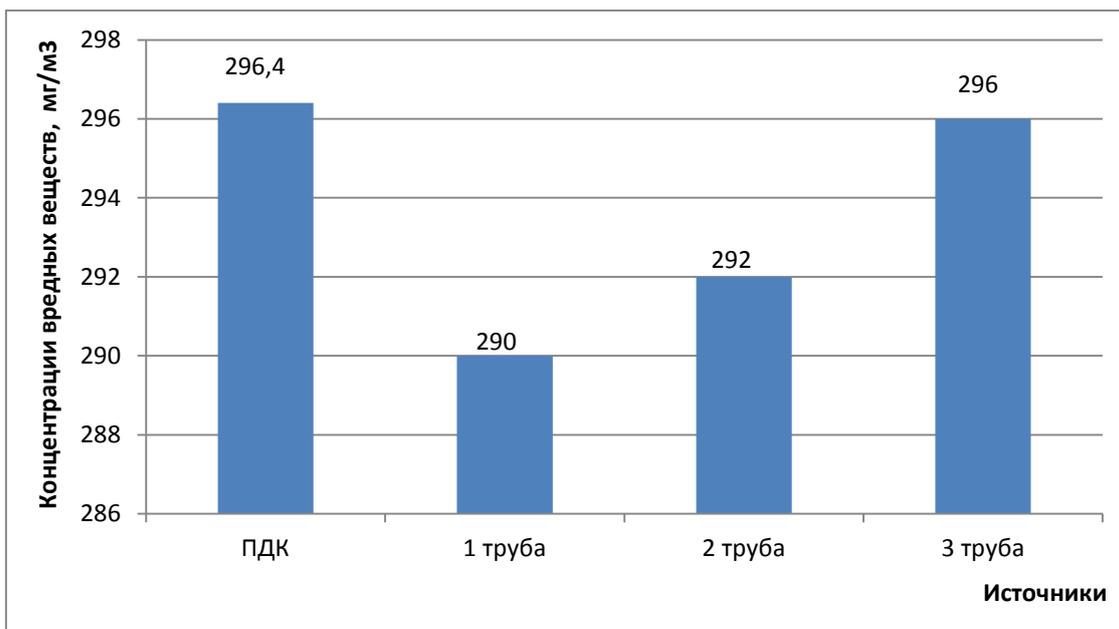


Рисунок 4 - Выбросы ангидрида сернистого от котельного цеха.

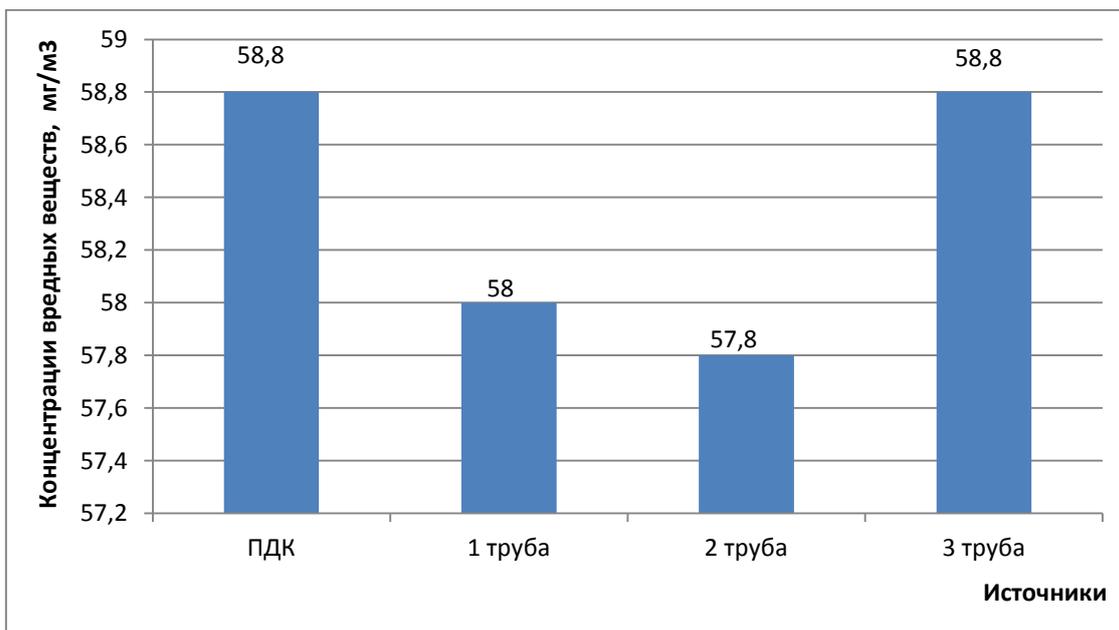


Рисунок 5 - Выбросы оксида углерода от котельного цеха.

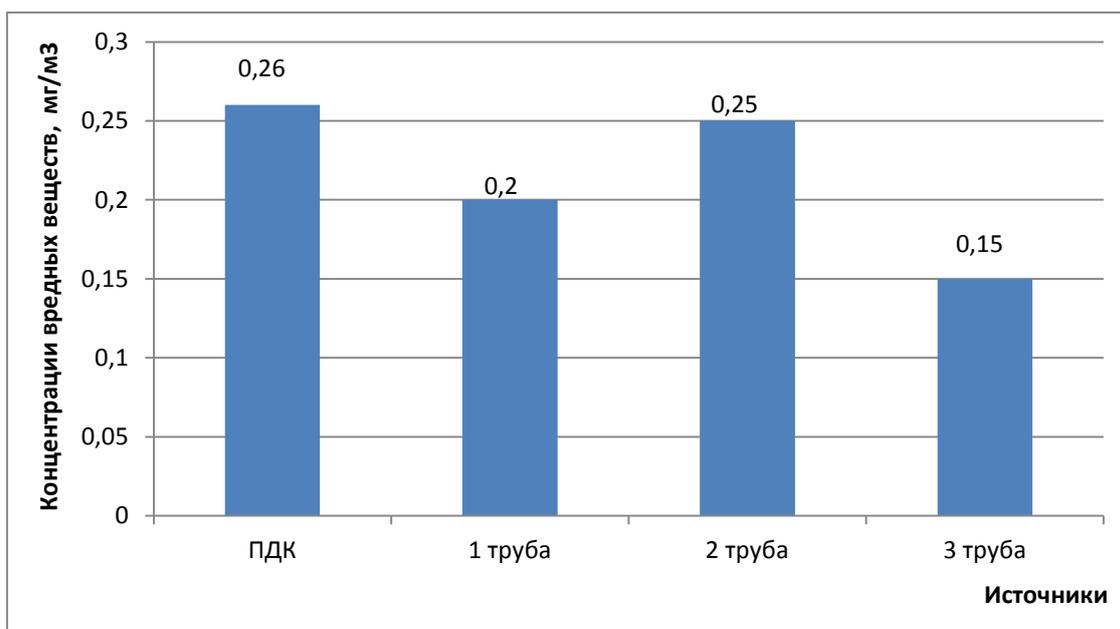


Рисунок 6 - Выбросы бенз/а/пирена от котельного цеха.

Согласно анализу представленных данных, ни по одному загрязняющему веществу не наблюдается превышение санитарных норм.

Вывод: Установлены количественные характеристики выбросов вредных веществ для каждой дымовой трубы за 2017 год на Южно-Кузбасской ГРЭС. Из рисунков видно, что ни одно вредное вещество не имеет превышения ПДК.

#### Библиографический список

1. Акт по ЮК ГРЭС (комплексная) исправленный [Текст] / согл. С. П. Мирошниковым.— Калтан, 2013. — 7 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. — М. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. — 97 с.
3. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки (Р.2.2.1766-63).-М.:Гигиена труда, 2003.-12с.
4. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное).-СПб, НИИ Атмосфера, 2012.
5. 2. Паспорт ЮК ГРЭС [Текст] / согл. С. Н. Помыткин, утв. К.Б. Вахитов. — Калтан, 2004. — 48 с.

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД  
ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОАО «ВОДОКАНАЛ»  
г.НОВОКУЗНЕЦКА**

**Буримова Е.С., Захарова М.А., Воробьева Д.Н.**

**Научный руководитель: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: bk4444@mail.ru*

В статье освещаются основные этапы обезвреживания осадков сточных вод. Особое внимание уделяется использованию промышленных отходов металлургии в качестве обезвреживающего материала.

Ключевые слова: обезвреживание, обеззараживание осадков сточных вод, дегельминтизация, тяжелые металлы, химические токсиканты, лабораторные, промышленные исследования, окалина блюминга, аспирационная пыль, содержание цинка, свинца, меди, фтора, известковая пыль.

В России и за рубежом накоплен определённый опыт по обезвреживанию осадков сточных вод [1, 2]. Для обезвреживания осадков используются промышленные отходы: цементная пыль, зола каменного угля или бактериальная микрофлора, окисляющая токсические соединения в биологическом реакторе [3].

Для обеззараживания осадков сточных вод кроме термофильного сбраживания в метантенках, термической обработки, пастеризации и обработки гашеной известью применяют более современные методы, такие, как радиационный, используют также электронные носители. После радиационной обработки в осадке практически отсутствуют сальмонелла, кишечная палочка и была достигнута полная его дегельминтизация [4].

Химический состав исследуемых твердых отходов зависит от источников их возникновения, применяемых методов очистки и способов обезвреживания. Под обезвреживанием понимается снижение содержания токсичных для живых организмов водорастворимых соединений тяжелых металлов (ТМ) и химических токсикантов.

На иловых картах городских очистных сооружений города Новокузнецка общей площадью 27,5 га накоплено не менее 300000 т ОСВ, то есть, существует проблема их размещения и утилизации.

Сотрудники НПП «Экоуголь» ещё с 1995 года начали проводить обширные лабораторные и промышленные исследования по способам обезвреживания осадков сточных вод из илонакопителя очистных сооружений г. Новокузнецка.

В ходе проведенных исследований обезвреживание рассматривалось как способ, обеспечивающий снижение содержания водорастворимых форм фтора, свинца, меди, цинка и никеля. Исследовались следующие отходы го-

родских очистных сооружений (ГОС):

- сырой осадок;
- избыточный активный ил;
- смесь отходов (ОСВ).

В качестве обезвреживающих добавок использовались отходы Западно-Сибирского металлургического комбината АО «ЗСМК»:

1. аспирационная пыль цеха обжига известняка (ЦОИ);
2. окалина блюминга.

В таблице 1 приведены данные о химическом составе используемых материалов.

Таблица 1 – Химический состав отходов АО ЗСМК

Наименование материала отходов	Содержание химических элементов и соединений, %								
	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Аспирационная пыль ЦОИ	76,6	1,73	–	2,60	3,95	–	0,76	0,26	0,10
Окалина блюминга	0,80	39,40	54,60	0,90	0,58	0,55	0,30	0,10	0,04

Известно, что негашеная известь обеспечивает:

- перевод ионов металлов в нерастворимые гидроксиды и карбонаты, связывание фтора в труднорастворимый флюорит CaF<sub>2</sub>;
- подавление жизнедеятельности болезнетворных микроорганизмов вследствие повышения щелочности;
- гибель яиц гельминтов в условиях экзотермической реакции гашения активного кальция извести;
- разложение ПХБ – самых устойчивых и трудно удалимых хлорорганических соединений. Окалина также может обладать обезвреживающим эффектом благодаря наличию оксида Fe (III) – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 39,4 %, способного восстанавливать ионы металлов.

Аспирационная пыль ЦОИ характеризуется наряду с высоким содержанием CaO – 76,6 %, тонкодисперсным составом (размер частиц < 0,1 мм), а, следовательно, реакционной поверхностью, обеспечивающей высокую эффективность взаимодействия с обрабатываемыми отходами.

В таблице 2 приведено содержание исследуемых компонентов в обезвреживающих добавках, а также их предельные значения в исходных отходах ГОС, установленные в ходе проведения эксперимента. Обе добавки в целом характеризуются значительно меньшим по сравнению с отходами ГОС содержанием фтора и меди. В то же время, содержание цинка в аспирационной пыли ЦОИ и свинца в обеих добавках существенно выше, чем в отходах ГОС. Водорастворимые соединения никеля в исходных пробах отходах ГОС

обнаружены не были, в то время как в аспирационной пыли ЦОИ их содержание составило 0,015 мг/кг сухого вещества, а в окалине блюминга – 0,36 мг/кг сухого вещества.

Таблица 2 – Содержание растворимых соединений исследуемых элементов

Наименование материала	Содержание элементов, мг/кг сухого вещества				
	F	Pb	Cu	Zn	Ni
Аспирационная пыль ЦОИ	2,40	0,07	0,02	0,07	0,015
Окалина блюминга	0,31	0,07	0,02	<0,01	0,36
Сырой осадок	7,0 – 13,7	0,04 – 0,11	0,11 – 1,89	0,04 – 2,30	н/о*
Активный ил	131,4 – 1187,5	0,29 – 0,75	1,25 – 1,86	4,38 – 11,43	н/о
Смесь отходов (ОСВ)	15,7 – 40,6	0,07 – 0,75	1,07 – 1,25	0,68 – 4,67	н/о
* не обнаружено					

Пробы обрабатывались и исследовались в исходной влажности. Содержание водорастворимых соединений в сухой пробе рассчитывалось по содержанию сухого вещества в исследуемой пробе. Для определения содержания сухого вещества в исходных и обработанных пробах навеску материала весом 100 г (100мл) выдерживали в сушильном шкафу при температуре не выше 70 градусов до постоянной массы. По сухому остатку определяли процентное содержание сухого вещества.

Исследования показали возможность существенного снижения содержания водорастворимых соединений цинка, свинца, меди, фтора за счет их осаждения при реагировании с вводимыми добавками. Эффективность осаждения зависит от вида добавки, ее содержания, условий смешения. В некоторых случаях ввод добавки может не оказывать влияния на эффективность осаждения или приводит к обратному эффекту. В условиях простого смешения обезвреживающей добавки с исследуемой пробой достигалось снижение концентрации водорастворимых соединений цинка, меди и фтора, уменьшение концентрации водорастворимого свинца в этих условиях не обеспечивалось.

В процессе исследований установлено избирательное действие добавок на отдельные элементы. Например, известковая пыль обеспечила отличный эффект по цинку – уменьшение на 50 %, но не оказала влияние на медь. Добавка окалина, наоборот, привела к снижению содержания водорастворимой меди – на 25 %, но не привела к осаждению цинка. В отношении фтора известь была значительно более эффективной – снижение на 53 %, чем окалина – снижение на 27 %. Суммарное снижение водорастворимых соединений исследуемых элементов составило для известки – 32, 2 %, для окалина – 32,6 %. Смешение сырого осадка с обезвреживающей добавкой в условиях нагрева способствовало существенному повышению эффекта в отношении

меди: получено снижение ее водорастворимых ионов на 62 – 77 %. При нагреве возможно также получение эффекта в отношении свинца – снижение его водорастворимых форм на 25 %. Нагрев практически не оказывал влияние на эффективность осаждения фтора и несколько ухудшил достигнутый при использовании извести без нагрева эффект по цинку.

#### Библиографический список

1. Шевцов Н.М. – Внутрипочвенная очистка и утилизация городских сточных вод. – М.: Агропромиздат, 1988. – 87 с.

2. Романов Е.М., Шабалова В.И., Бирюкова З.В., Жемкова Л.Н., Терехова Т.С. Экологические и технологические проблемы утилизации осадков сточных вод в земледелии // Почвы Сред. Поволжья и Урала, теория и практи. их использ. и охраны: Тез. докл. 12 конф. почвоведов, агрохимиков и земледелов Сред. Поволжья и Урала. Ч.2 / Казан. Гос. ун-т.- Казань, 1991. – С. 259 – 262.

3. Hanify Douglas E., Duncan Steven P., Emmett Robert C., Brox Gunter H. Bioslurry reactor for treatment of slurries containing minerals, soils and sludges: Пат. 5227136 США, МКИ 5 В 01 F 7/16 (Envirotech Corp. – N612585; Заявл. 05.11.90; Опубл. 13.07.93; НКИ 422/225

4. Петряев Е.П., Сосновская А.А., Субботина Н.Н., Ветров В.С., Василевский Г.М., Денисенко М.Ф. Радиационная технология получения удобрений из осадков станций биологической очистки сточных вод // Всес. Конф. по с.-х. радиол.: Тез. докл., Обнинск, 2 – 7 июня, 1990. Т.3. – Обнинск, 1990. – С. 27 – 29.

УДК 662.74

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ КУЗБАССА**

**Басов А.Ю., Пономаренко С.О., Захаров С.В., Воробьева Д.Н.**

**Научный руководитель: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.<sup>1</sup>**

**Савина И.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк e-mail: aleksejj-sharkov@mail.ru*

<sup>2</sup>*Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов  
Администрации г. Новокузнецка*

В статье освещены технологические вопросы утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций. Особое внимание уделяется биологическому этапу рекультивации золоотвалов. Предложена технологическая схема проведения рекультивации с использованием осадков сточных вод, донных отложений иловых образований дренажных канав.

Ключевые слова: утилизация золошлаковых отходов, биологический этап рекультивации, техногенно нарушенные земли, осадки сточных вод, донные отложения иловых образований,

Зола – несгорающий остаток, образующийся из минеральных примесей топлива при полном сгорании и осаждаемый из дымовых газов золоулавливающими устройствами [1]. В зависимости от вида топлива зола подразделяется на антрацитовую, каменноугольную, бурогольную, сланцевую, торфяную и др.

Уровень утилизации этих отходов в ряде развитых стран – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % их текущего выхода. В этих странах применяются в основном сухие золы, и проводится государственная политика, стимулирующая их использование. Так, в Польше резко повышена цена на землю под золоотвалы, поэтому ТЭЦ доплачивают потребителям с целью снизить собственные затраты на складирование. В Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту зол [2].

В России сегодня ежегодно перерабатывается только 14-17 % от всех золошлаковых отходов (ЗШО) [3], производимых на энергообъектах, причем золошлаковые материалы используются, в основном, в строительной индустрии и строительстве дорог, при возведении дамб и др. Между тем золошлаковые отходы ТЭС представляют собой ценное минеральное сырье, в состав которого входят соединения более 30 химических элементов.

Минеральная часть как углей, так и почв генетически связана с осадочными породами. В углях с кислым составом золы (содержание CaO менее 10 %, ГОСТ 25818-91) минеральная часть на 2/3 состоит из глинистых минералов [4]. В таблице 1 приведены колебания составов наиболее распространенных типов глин, основных типов почв и средний состав кислых осадочных пород (глины и сланцы). Основные типы почв взяты по В.В.Докучаеву (7 типов почв: тундровые, светло-серые подзолистые, серые и темно-серые, черноземные, каштановые и бурые, аэральные, латеритные почвы). На основе геохимического анализа (таблица 1) видно, что глинистые минералы, почвы и осадочные породы имеют примерно одинаковый химический (элементный) состав.

Значительно сложнее обстоит дело с оценкой степени опасности золошлаков для здоровья человека. Особенностью расчетной части СанПиН 2.1.7.1386-03 [5] является то, что по этой методике расчетом невозможно получить принадлежность самых безопасных веществ к минимально опасным. Даже компоненты, которые по определению являются практически неопасными (СанПиН, п.4.4.5), относятся к 3 классу опасности, но не к 4-му. Это существенно завышает степень опасности отходов для здоровья человека. В то же время за последние годы медицинскими работниками накоплено достаточное количество экспериментального материала, свидетельствующего об отсутствии опасных свойств у золошлаков тепловых электростанций от сжигания углей с кислым составом золы [6].

Таблица 1 – Пределы колебания составов глинистых минералов, основных типов почв и средний состав осадочных пород, масс. %

Элемент	Глины	Почвы	Осадочные породы
SiO <sub>2</sub>	43,6...62,9	31,8...80,0	58,8
TiO <sub>2</sub>	0,2...2,1	0,6...1,2	0,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,8...38,9	8,5...27,0	22,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0...9,2	1,7...9,8	5,5
CaO	0,2...4,1	0,3...4,7	4,1
MgO	0,2...5,4	0,6...2,0	2,6
K <sub>2</sub> O	0,3...5,6	0,3...3,1	3,2
Na <sub>2</sub> O	0,2...2,7	0,1...2,1	1,0
SO <sub>3</sub>	0,01...0,6	<0,1...0,6	0,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,1...0,3	0,2
MnO	0,0...0,05	0,0...0,1	0,1

Недействующий золоотвал Томь-Усинской ГРЭС находится в г. Мысках Кемеровской области. Он расположен на надпойменной террасе реки Томь между площадкой ГРЭС (960 м от главного корпуса) и близлежащей деревней Безруково. Золошлаковый материал включает в себя фракции размером менее 0,25 мм – золу, более крупные относят к шлакам. Котлован заполнен золой в 1963 г. (начат в 1957 г.) и представляет собой практически плоскую поверхность, сформированную гидронамывом золы от сжигания каменного угля. Емкость котлована – 1,8 млн. куб. м. Общая площадь нарушенной территории – 39 га. Поверхность золоотвала приподнята над окружающей территорией на высоту 2 – 2,5 м. Первоначальная обваловка золоотвала сохранилась практически по всему его периметру.

На участках, отсыпанных шлаком, растительность практически отсутствует. Более или менее развитый растительный покров сформировался на поверхности золоотвала и на свалках промышленных и бытовых отходов. Однако любое механическое повреждение дернины надолго оголяют поверхность золы, и позволяет развиваться эрозионным процессам.

Традиционно для рекультивации используются природные материалы - плодородный слой почв, глина, суглинки и т.п. По оценке специалистов [7] Кузбасс относится к регионам с низкой обеспеченностью природными материалами для рекультивации, что делает актуальным вовлечение отходов, содержащих органическое вещество. Наиболее эффективные результаты по восстановлению плодородия почв достигается при использовании специальных препаратов.

При наличии собственных отходов в виде осадков сточных вод, донных отложений иловых образований дренажных канав целесообразно исследовать их пригодность для рекультивационных целей. Такие отходы, как правило, характеризуются низкой плотностью, высокой водонепроницаемо-

стью и водоудерживающей способностью.

Золоотвалы ГРЭС являются постоянно действующим источником поступлений вредных веществ в окружающую среду по двум основным факторам воздействия:

- выветривание пылевидных частиц в результате ветровой эрозии в атмосферу, на почву и в поверхностные водоисточники прилегающей территории;
- вымывание водорастворимых соединений в наземные и подземные водоносные потоки.

Предлагаемая технология рекультивации обеспечивает:

- прекращение выветривания пылевидных частиц в результате ветровой эрозии в атмосферу, на почву и в поверхностные водоисточники прилегающей территории за счет задернения пылящей поверхности;
- прекращение вымывания водорастворимых веществ в наземные водные объекты за счет задернения поверхности, подвергаемые водной эрозии;
- существенное сокращение миграции и соединений в подземные водоносные потоки в результате стабилизации физико-химических процессов также за счет задернения поверхности.

При выборе направления и способа рекультивации следует учитывать ряд факторов, среди которых наиболее важными являются стоимость работ и оценка экологической эффективности.

#### Библиографический список

1. Золошлаковые материалы угольных электростанций - отходы или ценное сырье / Безукладников П. В., Тропин В. В., Полушкина Е. Н., Меркульева Т. А. // Рециклинг отходов. - 2008. - № 6. - С. 24-25.
2. Золошлаковые отходы тепловых электростанций - ценный сырьевой ресурс для черной и цветной металлургии / Ежова Н. Н., Власов А. С., Сударева С. В., Делицын Л. М. // Экол. пром. пр-ва. - 2010. - № 2. - С. 45-52.
3. Ежова Н. Н. Золошлаковые отходы тепловых электростанций - ценный сырьевой ресурс для черной и цветной металлургии / Н.Н. Ежова, А.С. Власов, С.В. Сударева, Л.М. Делицын // Экол. пром. пр-ва. - 2010. - № 2. - С. 45-52.
4. Юсфин Ю.С. Промышленность и окружающая среда [Текст]/ Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов.– М.: ИКЦ «Академкнига».- 2002.–469 с.
5. Санитарные правила СП 2.1.7.1386-03 "Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления"С изменениями и дополнениями от: 12 января 2010 г., 31 марта 2011 г.
6. Методы минералогических исследований. Справочник / Под ред. А.И. Гинзбурга. – М.: Недра, 1985. – 480 с.
7. Андроханов В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / Автореф. дисс. докт. биол. наук. – Новосибирск, 2005. – 32 с.

## **РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА «СТЕПАНОВСКИЙ»**

**Мещерякова Д.Е., Кречетов П.К., Матыгина Н.В.**

**Научный руководитель: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк e-mail: [dasha.meshcheryakova.94@mail.ru](mailto:dasha.meshcheryakova.94@mail.ru)*

В статье освещаются основные этапы проведения рекультивации после эксплуатации угольных разрезов. Особое внимание уделяется биологическому этапу рекультивации техногенно нарушенных земель угольных предприятий.

Ключевые слова: технический и биологический этапы рекультивации, техногенно нарушенные земли, угольный разрез, научный, технический, сельскохозяйственный аспекты, вскрышные породы, карьерная выемка.

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.1.01-83 [1] рекультивация нарушенных земель должна осуществляться в два последовательных этапа: технический и биологический.

Рекультивации подлежат карьерная выемка, отвалы вскрышных пород, бездействующие водоотводные каналы, водосборники, а также площадки всех зданий и сооружений, эксплуатация которых прекращается после отработки угольных запасов разрезов.

Разрез «Степановский» введен в промышленную эксплуатацию 5 февраля 2010 года. Предприятие расположено в Новокузнецком районе Кемеровской области. На разрезе «Степановский» выполняется масштабная экологическая программа. В 2010 году предприятие ввело в эксплуатацию очистные сооружения. По границам горного отвода идет посадка деревьев. Началось возведение шумозащитной стены протяженностью 500 метров вдоль разреза, она будет задерживать пыль и звуковую волну. Разработан план последующей рекультивации нарушенных земель [2].

Рекультивация территории угольного разреза производится для её восстановления. Условия приведения нарушенных земель в состояние, пригодное для последующего использования, а также порядок снятия, хранения и дальнейшего применения плодородного слоя почвы, устанавливаются органами, предоставляющими земельные участки в пользование и дающими разрешение на проведение работ, связанных с нарушением почвенного покрова, на основе проектов рекультивации, получивших положительное заключение государственной экологической экспертизы.

Вложения средств в рекультивацию земель ООО «Разрез «Степановский» обеспечивает финансовую нагрузку на предприятие и возможность выполнения работ по рекультивации нарушенных земель.

Отчисления денежных средств предприятием в фонд рекультивации

должны быть достаточными для сметных затрат на работы по рекультивации земель, нарушенных предприятием [3].

Изначально отработка начинается с Южного эксплуатационного блока с развитием работ с востока на запад. Вскрышные породы вывозятся автосамосвалами на внешний отвал. По мере продвижения фронта работ с востока на запад появляется возможность перехода на внутреннее отвалообразование, что может позволить снизить затраты на рекультивацию технического этапа.

Создание внутреннего отвала выполняется на 4 год отработки южного блока. Транспортирование вскрышной породы производится автотранспортом во внешний и внутренний бульдозерные отвалы. Отсыпка внутреннего отвала выполняется с востока на запад, по мере отработки угля в технических границах. В период отработки южного блока участка (2011–2016 гг.) производится выход центрального блока на производственную мощность 1000,0 тыс. т и развитие горно-строительного этапа северного блока. Вскрышные породы вывозятся автосамосвалами на внешний и внутренний отвалы. Создание внутреннего отвала в центральном блоке производится с юга на север, по мере отработки запасов угля в технических границах. Вскрышные породы вывозятся автосамосвалами на внешний отвал и внутренний отвал выработанного пространства центрального блока. В 2015 г. по проекту разрез вышел на производственную мощность – 2200 тыс. т. угля в год. На заключительном этапе проектом предусмотрена рекультивация нарушенных земель [4].

В соответствии с проектом, рекультивации подлежат карьерная выемка, внутренний и внешний отвалы вскрышных пород, бездействующие водосточные каналы, перегрузочный пункт (временный угольный склад), очистные сооружения, технологические дороги. Общая площадь, подлежащая рекультивации на разрезе составляет 777,8 га. Согласно ГОСТ 17.5.1.01-83 [5], рекультивация нарушенных земель на разрезе осуществляется в два последовательных этапа: технический и биологический.

Технический этап рекультивации является подготовительным звеном к биологической рекультивации. Основная задача этапа – техническое устройство нарушенной территории, подготовка условий для нормального роста и развития растительности.

Этот этап предусматривает планировку, формирование откосов, снятие, транспортирование и нанесение почв и плодородных пород на рекультивируемые земли, устройство гидротехнических и мелиоративных сооружений, строительство дорог, необходимых для проведения биологического этапа рекультивации, захоронение токсичных вскрышных пород, а также проведение других работ, создающих необходимые условия для дальнейшего использования рекультивированных земель;

Биологический этап рекультивации техногенно нарушенных земель включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почв. В результате её проведения обеспечивается

экологический баланс ландшафта, и создаются условия для восстановления и повышения почвенного плодородия.

В 2017 году предприятие ООО «Разрез «Степановский» (ООО «Мелтэк») направило средства на благоустройство дорог и возведение дамбы в пос. Гавриловка. Отремонтирован мост и проведено грейдирование в д. Учул, в пос. Гавриловка и Елань, отремонтирована дорога в пос. Красинск, установлена водопроводная труба и возведена дамба, проведена ЛЭП в садовом некоммерческом товариществе «Новомосковка». За счет средств угольщиков оплачивается содержание дамбы реки Кыргызаковка [4].

К 2023 г. на баланс муниципального образования планируется передать 90 га рекультивированных земель, рекультивация которых, на основании календарного плана рекультивации, должна быть начата в 2019 г. Следовательно, к этому периоду фонд должен обладать средствами для начала проведения работ по рекультивации.

Итогом обеспечения денежных средств рекультивации земель, нарушенных разрезом «Степановский», является на этапе накопления (2036 г.) сумм средств, которые равны 561 104,315 тыс. руб.

Далее необходимо направить эти средства на рекультивацию земель «экологического долга».

Таким образом, отчисление денежных средств:

- гарантирует планомерную финансовую нагрузку на разрез;
- будет накоплена нужная сумма для обеспечения рекультивационных работ согласно проекта рекультивации;
- использование фонда в виде гаранта выполнения работ по рекультивации позволит избежать отсутствие реализации проектных решений в этом направлении.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения.

2. Перфильева Е. В., Шипилова К. В. Проблема нарушенных земель в Кемеровской области. Законодательные инициативы по решению проблемы. Участие общественности / Экология Кузбасса: проблемы и решения. Сборник материалов. – М.: РОДП «ЯБЛОКО», 2015. – С. 99–105.

3. Манаков Ю. А. Нарушенные земли Кузбасса: путь решения проблем – Фонд рекультивации // Экобюллетень. Экология Сибири: практика решения проблем. – 2008. – № 4 (129). – С. 29–33.

4. Селюков А. В. Критерии эколого-экономического сравнения технологий внутреннего отвалообразования на разрезах Кемеровской области // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей. – Новокузнецк, 2015. – С. 91–98.

5. ГОСТ 17.5.1.01-83. Государственный стандарт Союза ССР. Охрана природы. Рекультивация земель.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Гальчун А.Г.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: nasgal7574@mail.ru*

Проведен анализ негативных последствий, которые оказывают энергосистемы на окружающую среду (ОС).

Ключевые слова: энергосистема, энергетика, окружающая среда, линии электропередачи.

Актуальность выбранной темы обуславливается негативным воздействием энергосистем на ОС и повышением цен на энергоносители, что заставляет нас пересмотреть свое отношение к использованию традиционных энергоресурсов.

Энергосистемы - один из нескольких китов, на которых стоит современная мировая энергетика. Они позволяют транспортировать электроэнергию от производителя к потребителю, осуществлять её продажу. Большая стоимость сооружения линий электропередач (ЛЭП) не позволяет нам строить их только ради поставки электроэнергии потребителю, поскольку стоимость такой энергии непомерно возрастает с каждым километром. Главный и неоспоримый плюс энергосистем - возможность регулирования пиковых нагрузок сети. Если бы не было этих возможностей, то жители крупных городов, таких как Москва, не могли бы все вечером включить свет, телевизоры и компьютеры. Для нашей страны, расположенной в 11 часовых поясах, это особенно важно. Единая энергосистема России позволяет гомогенно распределять суточные нагрузки и прослеживать пиковые волны. Энергосистемы очень важны и в случае аварий на местных электростанциях. При строительстве и эксплуатации ЛЭП создаются различные факторы воздействия на среду обитания и на организм человека [1].

Строительство ЛЭП приводит к фрагментации и значительным изменениям ландшафтов, вырубаются леса и отчуждаются огромные территории. Воздействие при возведении ЛЭП и при её функционировании различны. При возведении происходит расчистка территорий, идёт работа тяжёлой техники, происходит фрагментация мест обитания животных. Расстояние между опорами определяется возможной длиной незакреплённых проводов, что определяется их прочностью, которая рассчитывается с учётом климатических факторов. То есть расстояние между опорами ЛЭП одной мощности, находящихся в одной природной зоне - величина постоянная. Этой величиной определяется точечное воздействие ЛЭП на окружающую среду, как при

строительстве, так и при дальнейшей эксплуатации.

При функционировании ЛЭП воздействие на ОС отличается от воздействия ЛЭП при их строительстве. Остаётся точечное воздействие опор.

И добавляется самый серьёзный фактор воздействия - электромагнитное излучение (неионизирующая радиация). Полностью воздействие неионизирующей радиации на окружающую среду плохо изучено. Достоверно известно негативное воздействие на нервную систему человека, и в некоторых случаях наличие канцерогенного эффекта. К факторам раздражения, создаваемым ЛЭП, относится и звуковое воздействие. Возможен контакт проводов с птицами и животными, приводящий к летальным исходам [2]. При функционировании ЛЭП проводится регулярный уход и наблюдение за ЛЭП, эти процедуры тоже являются фактором раздражения для диких животных. Кроме того, расчищенное пространство под ЛЭП часто используется как дорога для проникновения глубже в лес охотников и браконьеров, которые физически выбивают животных, живущих вокруг ЛЭП.

В Санитарных нормах России в основе установления предельно- допустимого уровня электромагнитного поля (ЭМП) лежит принцип пороговости вредного действия ЭМП. В качестве ПДУ ЭМП принимаются такие значения, которые при ежедневном облучении в свойственном для данного источника излучения режимах не вызывает у населения без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения [3].

В РФ существуют следующие ПДУ и СНиПы, регулирующие воздействие ЭМП ЛЭП на человека и ОС:

- Санитарные нормы и правила выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты (50 Гц)" № 5802-91.

- Предельно-допустимые уровни магнитных полей частотой 50Гц ПДУ № 3206-85.

- Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты (СНиП 2971-84).

Провода работающей линии электропередачи создают в прилегающем пространстве электрическое и магнитное поля промышленной частоты. Расстояние, на которое распространяются эти поля от проводов линии, достигает десятков метров. Дальность распространение электрического поля зависит от класса напряжения ЛЭП: чем выше напряжение, тем больше зона повышенного уровня электрического поля, при этом размеры зоны не изменяются в течение времени работы ЛЭП.

Дальность распространения магнитного поля зависит от величины протекающего тока или от нагрузки линии. Поскольку нагрузка ЛЭП может неоднократно изменяться как в течение суток, так и с изменением сезонов года, размеры зоны повышенного уровня магнитного поля также меняются.

Основной принцип защиты здоровья населения от электромагнитного поля ЛЭП состоит в установлении санитарно-защитных зон для линий электропередачи, ориентированных на предельно-допустимый уровень электрического поля, но учитывающих магнитное поле.

Решение проблемы электромагнитного загрязнения окружающей среды является комплексной задачей, затрагивающей социальные и экономические интересы различных отраслей и ведомств, и требует междисциплинарных подходов и привлечения специалистов разного профиля. Особенностью проблемы является то, что основными источниками электромагнитного загрязнения окружающей среды являются наиболее динамично развивающиеся отрасли (связь, энергетика) со значительными привлеченными капиталами и инвестициями как в техническую инфраструктуру, так и в целом в экономику отраслей. В связи с этим, для реального решения проблемы крайне необходимо иметь полномочный орган государственной координации работ [4].

Существующая тенденция увеличения использования электромагнитной энергии в хозяйственной деятельности человека и современное состояние обеспечения проблемы электромагнитной безопасности на государственном уровне позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение электромагнитного загрязнения окружающей среды. Поэтому разработка и введение в практику нормативно-правовых и экономических регуляторов электромагнитного загрязнения, безусловно, позволит создать коренной позитивный поворот в ситуации, предотвратить деградацию среды обитания и сокращение видового биоразнообразия, внесет важный вклад в обеспечение устойчивого развития страны.

#### Библиографический список

1. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Магнитное поле Земли и организм человека // Экология человека. - 2005. - № 9. - С.3-9.
2. Баранский П.И., Гайдар А.В. А.Л. Чижевский и проблемы взаимодействия магнитных полей с объектами живой природы // Вестн. Калуж. ун-та. - 2007. - № 3. - С.37-41.
3. Удалова Д.А., Арбузов В.В. Магнитные поля - угроза здоровью // Мед. экология: V междунар. науч.-практ. конф., 29-30 июня 2006 г.: сб. ст. - Пенза: Приволж. Дом знаний, 2006.
4. Паньков И.В. Электромагнитное загрязнение окружающей среды // Современные проблемы технических наук: сб. тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. студ. конф. "Интеллектуальный потенциал Сибири", Новосибирск, 19-20 мая 2004 г. Ч.2. - Новосибирск: ИГАСУ, 2004. - С.73.

**КОНВЕРСИЯ ПРОПАН БУТАНОВОЙ ФРАКЦИИ  
В АРОМАТИЧЕСКИЙ УГЛЕВОДОРОДЫ НА ЦЕОЛИТНЫХ  
КАТАЛИЗАТОРАХ Н-ЦКЕ-ХМ МОДИФИЦИРОВАННОМ  
GA<sub>2</sub>O<sub>3</sub> И ZNO**

**Джалилова С.Н.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Ерофеев В.И.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: dzhalilovasn@mail.ru*

В настоящее время актуальным является вопрос рационального использования попутного нефтяного газа (далее - ПНГ), представляющий собой один из видов природного газа. Особое внимание уделяется углеводородным фракциям, извлеченным из ПНГ, являющимся дополнительным сырьевым источником развития нефтяной отрасли. В ПНГ основными компонентами являются углеводороды от метана до гексана, включая изомеры C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub>.

Ключевые слова: пропан-бутановая фракция, цеолиты, арены, оксид цинка, оксид галия.

Вопрос эффективного и рационального использования попутного нефтяного газа (далее – ПНГ), являющимся побочным продуктом нефтедобычи, обсуждается и решается на самом высоком уровне ещё с 90-х годов прошлого века. ПНГ имеет сложный химический состав, который меняется во времени и в зависимости от температуры окружающей среды. Сжигание нефтяного газа происходит на газогорелочном устройстве в детонированном режиме с низким КПД, протекает неполное сгорание газа и большой выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Это приводит к выбрасыванию большого количества парниковых газов, которые влияют на климат планеты. К парниковым газам относятся водяной пар, метан, вещества содержащие хлор, диоксид углерода и другие. Также нерациональное использование попутного нефтяного газа неизбежно связаны с огромными экономическими потерями.

По данным Минприроды РФ, на территории России существует 1200 нефтегазоконденсатных месторождений, где добывается 60 млрд м<sup>3</sup> ПНГ в год, из них: 47 % списывается на технологические потери или используется на нужды промыслов, 27 % направляется на переработку ГПЗ, 26 % сжигается на факелах, таким образом на факелах сгорает свыше 20 млрд м<sup>3</sup> ПНГ [1].

Для выполнения принятых в соответствии с Киотским протоколом обязательств, Правительство РФ 8 января 2009 года приняло Постановление №7 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» которое требует предусматривать утилизацию не менее 95% попут-

но добываемого нефтяного газа при разработке нефтяных месторождений [2].

Одно из направлений повышения уровня использования попутного нефтяного газа является процесс превращения газов в жидкость, позволяющая получать из углеводородных фракций ПНГ химические продукты с высокой добавленной стоимостью.

Целью настоящей работы являлось исследование процесса превращения пропан-бутановой фракции на цеолитсодержащих катализаторах в высокооктановые бензины, модифицированных оксидом цинка и оксидом галлия

Микропористые цеолиты синтезировали из щелочных алюмосиликатов при 170-175 °С в течение 4 суток с применением спиртовой фракции по методике, описанной в [3]. В активную форму Н-ЦКЕ-ХМ переводили путем обработки цеолита 1М водным раствором  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  с последующим высушиванием и прокалкой при 600 °С.

Конверсию пропан-бутановой фракции состава: метан – 0,3; этан – 3,0; пропан – 80,9; бутаны – 15,8 мас. % на модифицированном цеолитсодержащем катализаторе проводили по методике, описанной в [4].

В работе проводились исследования каталитической активности промышленного цеолитсодержащего катализатора Н-ЦКЕ-ХМ, модифицированного оксидом цинка и оксидом галлия. Мерой каталитической активности катализатора, является количество образующихся аренов. Результаты исследований, представлены в таблице 1 для оксида цинка и на рисунке 1 для оксида галлия.

Конверсия пропан-бутановой фракции проводилась на установке проточного типа при атмосферном давлении.

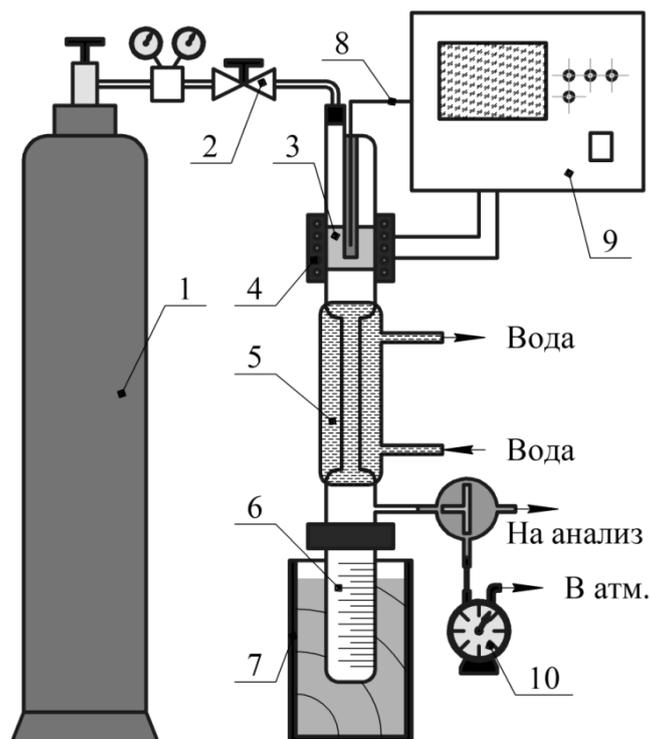
Исходная пропан-бутановая фракция углеводородов  $\text{C}_2\text{-C}_4$  из баллона через редуктор и вентиль тонкой регулировки поступала в кварцевый реактор. Объем катализатора в реакторе 4 см<sup>3</sup>, при помощи печи осуществляется нагревание реактора. При помощи программного регулятора РПН-БУАН-1,5-1П, задавалась температура в реакторе. Пройдя через слой катализатора пропан-бутановая фракция, продукты реакции и оставшееся непревращенное сырье поступали в водяной холодильник и сепаратор для конденсации.

В сборнике сепаратора помещенном в сосуд Дьюара со льдом, собирали жидкие продукты реакции. С помощью газового счетчика ГСБ – 400 измеряли объем отходящих газов. Отбор газовой пробы на анализ осуществляли с помощью крана-дозатора.

Превращение низших алканов проводили при температуре реакции 525 – 600 °С и объемной скорости подачи газовой смеси 240 ч<sup>-1</sup>.

Схема установки приведена на рисунке 1.

Основными продуктами каталитической конверсии смеси низших алканов  $\text{C}_2 - \text{C}_4$  на высококремнистых цеолитах являются газообразные углеводороды состава  $\text{C}_1 - \text{C}_4$  и жидкие углеводороды фракции БТК, алкилароматические углеводороды  $\text{C}_9 - \text{C}_{10}$ .



1 – баллон с пропан-бутановой смесью, 2 – редуктор, 3 – реактор, 4 – электрическая печь, 5 – водяной холодильник, 6 – пробирка (объем 10 см), 7 – сосуд Дьюара, 8– термопара, 9 – регулятор РПН-4, 10 – газосчетчик барабанный ГСБ-400

Рисунок 1 – Схема каталитической установки

Таблица 1 - Влияние температуры процесса на состав продуктов (мас. %) конверсии ПБФ на модифицированных цеолитных катализаторах Н-ЦКЕ-ХМ, модифицированных ZnO, при объёмной скорости 240 ч<sup>-1</sup>

Катализатор	99%Н-ЦКЕ-ХМ/ 1% ZnO			97%Н-ЦКЕ-ХМ/ 3% ZnO			95%Н-ЦКЕ-ХМ/ 5% ZnO		
	550	575	600	550	575	600	550	575	600
Температура, °С	550	575	600	550	575	600	550	575	600
Конверсия,%	76,7	81,3	79,4	86,7	91,2	88	87,0	87,8	67,1
Выход газовой фазы,%	40,1	36,3	37,3	35,8	33	31,6	41,9	40,4	35,9
Выход жидкой фазы,%	59,9	63,7	62,7	64,2	67	68,4	58,1	59,6	64,1
Состав газовой фазы,%									
Метан	17,1	19,2	22,1	22,3	26,4	20,8	23,0	25,5	17,6
Этан	14,9	16,1	17,4	33,0	38,0	28,5	39,4	39,4	24,7
Этилен	2,4	2,9	4,8	1,3	1,7	3,0	0,9	1,7	3,0
Пропан	59,5	56,2	50,1	35,8	26,4	36,0	28,4	24,2	39,0
Пропилен	2,5	2,6	3,5	2,2	3,0	6,2	2,7	3,9	8,5

Продолжение таблицы 1

Катализатор	99%Н-ЦКЕ-ХМ/ 1% ZnO			97%Н-ЦКЕ-ХМ/ 3% ZnO			95%Н-ЦКЕ-ХМ/ 5% ZnO		
	и-бутан	0,8	0,6	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2
н-Бутан	2,4	2,0	1,3	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5	1,5
Состав жидкой фазы, %									
Бензол	6,8	14,4	17,2	17,9	19,1	17,0	4,4	7,2	5,0
Толуол	41,4	36,5	36,6	42,4	39,5	37,2	26,8	37,2	28,9
Этилбензол	2,5	2,4	1,9	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,4
р,м-ксилол	16,9	4,6	13,4	14,6	11,9	12,3	18,1	14,8	15,5
о-ксилол	5,0	4,6	3,9	17,9	19,1	16,9	5,0	4,0	4,5
Псевдокумол	1,1	1,0	0,7	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
Нафталин	6,6	9,6	8,8	8,4	12,7	14,6	11,3	17,8	21,7
β-метилнафталин	3,8	5,1	4,5	4,6	6,6	8,6	6,1	11,4	14,2
α-метилнафталин	1,2	1,5	1,1	1,1	1,3	1,0	0,5	0,4	0,5

На рисунке 1 представлена зависимость выхода жидкой фазы от температуры процесса конверсии.

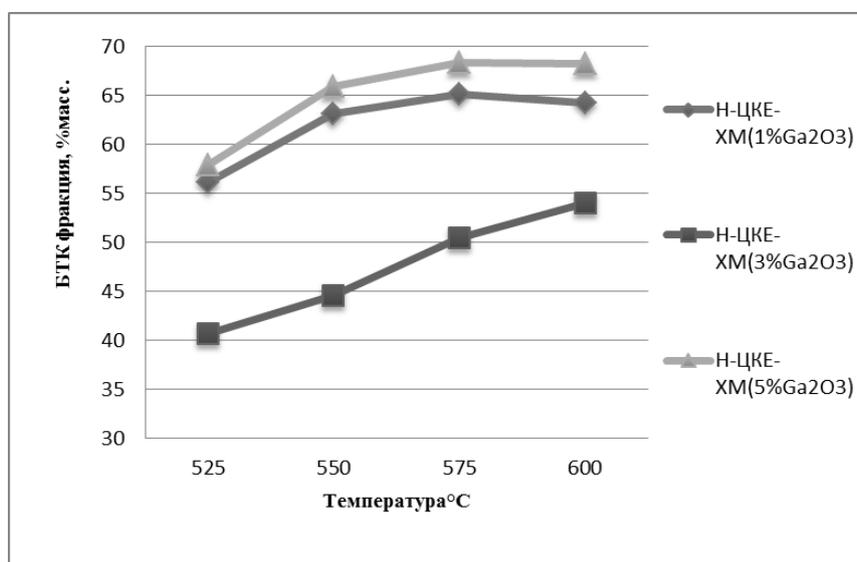


Рисунок 1 – Влияние температуры процесса на выход жидкой фазы на катализаторе Н-ЦКЕ-ХМ, модифицированном оксидом галлия  
Примечание: БТК фракция – бензол, толуол, ксилол фракция

Таким образом, наибольший выход продуктов катализата наблюдается на Н-ЦКЕ-ХМ(5%Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и составляет 68,3% при 600 °C и 57,9% при 525 °C. Также увеличивается выход жидкой фракции на катализаторе Н-ЦКЕ-ХМ

(3 % ZnO) и составляет 64,2 % при 550 °С и 68,4 % при 600 °С, что обусловлено условиями протекания процесса и эксплуатацией катализатора а также подтверждает большую каталитическую активность образца.

#### Библиографический список

1. ООО “Энергосинтоп Инжиниринг” [Электронный ресурс]. – URL: [www.energosityntop.com/texts/38](http://www.energosityntop.com/texts/38).
2. Постановление Правительства РФ от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» – М., 2009.
3. Ерофеев В.И., Коваль Л.М. Пат. России № 2313486. 2007. Опубл.: 27.12.2008.
4. Ерофеев В.И., Хасанов В.В., Вайсбеккер М.С., Егорова Л.А. Успехи современного естествознания, 2017, №7, С. 7-11.

УДК 504.7:622

### ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В КУЗБАССЕ

**Горбунова А.Р., Павелко Т.С., Кузнецова Е.А.**

**Научный руководитель канд. с.-х. наук, доцент Шипилова А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: garro7991@mail.ru*

В данной статье рассматривается метод исследования качества атмосферного воздуха Кузбасса по поврежденности и возрасту хвои.

Ключевые слова: качество воздуха, источник воздействия, загрязнение.

Промышленное производство и другие виды хозяйственной деятельности людей сопровождаются выделением в воздух помещений и в атмосферный воздух различных веществ, загрязняющих воздушную среду.

Основными источниками загрязнения внешней воздушной среды являются:

- промышленные предприятия, в первую очередь, химические, нефтехимические и металлургические заводы;
- теплогенерирующие установки (тепловые электростанции, отопительные и производственные котельные);
- транспорт, в первую очередь, автомобильный;
- печное отопление частного сектора.

Защита воздушного бассейна Кузбасса является одной из наиболее актуальных проблем защиты окружающей среды, ввиду сырьевой направленности региона. Охрана атмосферы от загрязнений промышленными и транспортными выбросами является важнейшей социальной задачей, входящей в

комплекс задач глобальной проблемы охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Загрязнение воздуха вредными веществами наносит значительный материальный ущерб народному хозяйству и приводит к увеличению заболеваемости населения [1].

Хвоя сосны – редуцированные листья со сниженной транспирацией, вследствие чего они не опадают на зиму и способны сохраняться на побегах сосны, в зависимости от чистоты воздуха и по разным данным, от трех до семи лет (обычно до четырех лет). Однако именно малая поверхность листьев и многолетний срок жизни («вечнозеленость») делает их уязвимыми к различным загрязнениям – химическим и механическим, которые приводят к снижению интенсивности фотосинтеза из-за разрушения хлорофилла и, как следствие, к хлорозам и некрозам.

Представленный метод пригоден для больших и малых территорий в любое время года. Сосновые леса в умеренной зоне являются «эталонном биодиагностики» по сравнению с другими хвойными породами (в порядке убывания чувствительности: ель обыкновенная – пихта – сосна – ель колючая – лиственница), т.к. хвоя сосны очень чувствительна к загрязнениям воздуха диоксидом серы (SO<sub>2</sub>), хлором (Cl<sub>2</sub>), хлористым водородом (HCl), фтористым водородом (HF), аммиаком (NH<sub>3</sub>), диоксидом азота (NO<sub>2</sub>) (ЗВ расположены в порядке убывания чувствительности к ним). При периодическом воздействии оксидов серы и азота, т.е. очень сильном загрязнении, хвоя сохраняется только на побегах текущего года и приобретает темно красный цвет. В сосновых лесах, окружающих крупные города или техногенные зоны, при хроническом загрязнении диоксидом серы отмечается 15 снижение массы хвои на 30-60 % в сравнении с контрольными участками, а также преждевременное ее опадение. В этих условиях самый простой способ – определение массы 1000 хвоинок в нескольких повторностях и с разных участков [2].

*Цель работы* – определить качество воздуха по возрасту и степени повреждения хвои в Кузбассе.

Подбор участков сосновых насаждений осуществлялся в условиях загрязнения и на сравнительно чистой территории. Деревья для изучения были взяты на относительно открытых местах, т.к. здесь повреждения наиболее выражены и заметны.

Было выбрано три города Кузбасса: Киселевск, Новокузнецк, Осинники. В каждом городе были определены три участка для исследования.

*Город Киселевск:*

Участок 1 находится около границ земельного и горного отвода Краснобродского угольного разреза «Вахрушевское поле», слева в 1 км от ведения горных работ, 300 м от отвалов возрастом 20 лет, справа расположен частный сектор, вдоль участка отбора проходит технологическая дорога с умеренным движением автотранспорта. Образцы хвои были отобраны с трех деревьев возрастом 5 – 8 лет, высотой 1,5 – 2,5 м.

Участок 2 располагается в частном секторе г. Киселевска район Крас-

ный камень. В 10 км до ведения горных работ Краснобродского угольного разреза «Вахрушеского поле», в 10 м проходит автомобильная дорога с неинтенсивным движением автотранспорта. Возраст отобранных образцов хвой сосны 14 – 16 лет, высота 3 - 5 м.

Участок 3 находится в черте города, рядом автодорога, движение неинтенсивное, в 10 км находится разрез «Октябринский», в 300 м автозаправочная станция. Возраст образцов 6 – 9 лет, высота 2 – 2,5 м.

*Город Осинники:*

Участок 1 располагается в центре города Осинники, центральная аллея, в непосредственной близости от проезжей части дороги с интенсивным движением автотранспорта. В 10 м от места отбора находятся жилые дома с прилегающими парковочными местами для автомобилей. Возраст отобранных образцов 20 -25 лет, высота 8-10 м.

Участок 2 расположен в частном секторе города, в 100 м от автодрома автошколы ДОСААФ (автодром не используется 2 года), около каждого дома находится парковочное место с автомобилем. В 15 км находится угледобывающее предприятие «Шахта «Осинниковская». Возраст отобранных образцов хвой 7 лет, высота 4-5 м.

Участок 3 находится в центральном городском парке, справа в 200 м проходит железнодорожная дорога, слева в 100 м автозаправочная станция и автомобильная дорога с интенсивным движением автотранспорта. Возраст образцов 8-10 лет, высота 6-8 м.

*Город Новокузнецк:*

Участок 1 располагается около территории завода ЕВРАЗ ЗСМК, в 7 м проходит автодорога с интенсивным движением автотранспорта. Возраст образцов 50 – 70 лет, высота 12 – 16 м.

Участок 2 находится в центральном районе, улица Ермакова, аллея влюбленных. В 5 м расположена автодорога с очень интенсивным движением автотранспорта. Возраст деревьев 5 – 8 лет, высота 1,5 м.

Участок 3 расположен на территории культурного центра СибГИУ. В 10 м находится парковка, в 30 м проходит автомобильная дорога с очень интенсивным движением автотранспорта. Возраст образцов 50 лет, высота 15 -17 м.

Таблица 1 - Состояние сосновой хвой на исследуемых участках

Город	Участок	Класс повреждения	Класс усыхания
Киселевск	1	2	3
	2	3	3
	3	2	2
Осинники	1	1	1
	2	2	2
	3	1	2
Новокузнецк	1	4	3
	2	1	1
	3	1	2

Классы повреждения хвои: 1 – хвоя без пятен; 2 – небольшое число мелких пятен; 3 – большое число желтых и черных пятен.

Классы усыхания хвои: 1 – нет сухих участков; 2 – усох кончик на 2–5 мм; 3 – усохла треть хвоинки; 4 – вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая.

По продолжительности жизни хвои и баллам повреждения оценивается качество воздуха: I – очень чистый воздух; II – чистый; III – относительно чистый («норма»); IV – заметно загрязненный («тревога»); V – грязный («опасно»); VI – очень грязный («вредно») [3].

В результате из полученных данных можно сделать вывод, что в г. Киселевске воздух относится ко второй категории – чистый воздух. Главным источником загрязнения атмосферного воздуха является открытые горные работы и выбросы автотранспорта, которые не оказывают существенного влияния.

На основе результатов исследования качество воздуха в г. Осинники относится к 1 категории – очень чистый и 2 категории – чистый воздух. Основным источником воздействия выбросы автотранспорта, а также печное отопление частного сектора.

Качество воздуха в г. Новокузнецке оценивается к 1 категории – очень чистый и к 4 категории – заметно загрязненный. Основным источником загрязнения выбросы завода ЕВРАЗ ЗСМК.

Из выше сказанного следует вывод, что по качеству воздуха по возрасту и степени повреждения хвои в Кузбассе очень чистый воздух в г. Осинники, чистый воздух в г. Киселевске, а заметно загрязнен воздух в г. Новокузнецке на 1 участке.

#### Библиографический список

1. Горбунова А.Р., Павелко Т.С., Кузнецова Е.А.: курсовая работа/ Теоретические основы технологий защиты атмосферного воздуха выбросов техногенного характера, Сиб. гос. индустр. ун-т, 2018.
2. Мелихова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П. Мелеховой и Е. И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288с.
3. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие / Под. ред. проф. И.С. Белюченко, проф. Е.В. Федоненко, проф. А.В. Смагина. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с.; илл.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ГОРОДА НОВОКУЗНЕЦКА

**Павелко Т.С., Кузнецова Е.А., Горбунова А.Р., Павлов Д.С.**  
**Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: pavelko.tanya00@gmail.com*

В данной статье рассмотрена проблема качества вод города Новокузнецка. Представлены основные источники загрязнения водных объектов и основные водопотребители города. Приведена методика исследования качества вод.

Ключевые слова: качество воды, источники загрязнения, сульфат – ион, фторид – ион, водородный показатель рН.

Мировое водопотребление на планете Земля составляет от 7 до 8 млрд т/сут. Каждодневно происходит непрерывный рост потребления воды в различных сферах жизнедеятельности. Распределение вод на Земле выглядит следующим образом (в % от общего количества мировых запасов воды): Мировой океан – 96,53 %; ледники и снега полярных и горных областей – 1,74 %; подземные воды – 1,69 %; озера – 0,014 %; почвенная влага – 0,001 %; болота – 0,0007 % и речные воды – 0,0002 %.

В результате деятельности человека происходит антропогенное загрязнение гидросферы. Попадание производственных сточных вод в водоем, в результате деятельности промышленных предприятий, играет немаловажное значение в снижении рекреационно-хозяйственных функций, приводит к проблемам с водоснабжением, заболачиванием почв и т.д. Поэтому крайне важно соблюдать требования, предъявляемые к качеству сбрасываемых сточных вод при выпуске их в водоемы [1].

На территории новокузнецкого района расположено большое количество промышленных предприятий, оказывающих огромное влияние на окружающую среду, в частности, водные ресурсы.

По территории г. Новокузнецка протекают более 10 рек и речек. Основными речными системами в черте Новокузнецка являются р. Томь и р. Аба. Основными источниками воздействия на данные водные объекты являются: ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», ОАО «Кузнецкая ТЭЦ», ОАО «Завод Универсал», ООО «Водоканал», ОАО «Шахта Полосухинская», СП Томь-Усинская ГРЭС Филиал ОАО КУЗБАССЭНЕРГО, ООО «Шахта «Абашевская», ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» («Талдинский угольный разрез»), ООО «Шахта Кушеяковская», ООО «Шахта "Есаульская», МП «Сибирская Сбытовая Компания», ООО «Центральная ТЭЦ», ОАО Органика, АО «Кузнецкие Ферросплавы», ОАО РУСАЛ «НКАЗ» [2].

Цель работы является анализ уровня загрязнения водных ресурсов г. Новокузнецка.

Для проведения исследований было использовано лабораторное оборудование: спектрофотометр ПЭ 5400 ВИ, анализатор воды АНИОН – 7051 (рН-метр), анализатор воды АНИОН 4100 (иономер). Оборудование представлено на рисунках 1-3.



Рисунок 1 - Спектрофотометр ПЭ 5400 ВИ



Рисунок 2 - Анализатор воды АНИОН – 7051 (рН-метр)

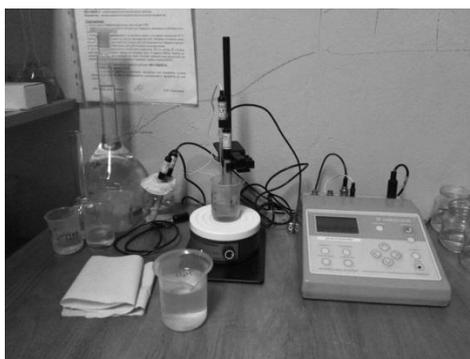


Рисунок 3 - Анализатор воды АНИОН 4100 (иономер).

Спектрофотометр ПЭ 5400 ВИ предназначен для измерения коэффициента пропускания, оптической плотности и концентрации жидких проб различного назначения.

Принцип действия спектрофотометра основан на сравнении светового потока  $\Phi_0$ , проведенного через растворитель или контрольный раствор, по отношению к которому проводится измерение, и светового потока  $\Phi$ , про-

шедшего через исследуемую среду.

Световые потоки  $\Phi$  и  $\Phi_0$  преобразуются фотоприемником в электрические сигналы  $U$ ,  $U_0$ . Также измеряется  $U_1$  – сигнал неосвещенного приемника. По величинам этих сигналов микропроцессором спектрофотометра рассчитывается и отображается на дисплее результат измерения в виде коэффициента пропускания, оптической плоскости или концентрации в зависимости выбранного режима измерения.

Анализатор воды АНИОН – 7051 (рН-метр) предназначен для измерения показателя активности ионов водорода (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и температуры водных растворов. Измерение рН, Еh и температуры осуществляется с помощью измерительного преобразователя и набора электродов.

Прибор представляет собой комплект, включающий преобразователь, блок сетевого питания и набора электродов.

Концентрация ионов водорода, выраженная величиной рН — один из важнейших показателей качества воды. Величина рН имеет решающее значение при протекании многочисленных химических и биологических процессов в природной воде. Именно от величины рН зависит, какие растения и организмы будут развиваться в данной воде, каким образом будет происходить миграция элементов, от этой величины также зависит степень коррозионной активности воды на металлические и бетонные конструкции.

От величины рН зависят пути превращения биогенных элементов и степени токсичности загрязняющих веществ.

Сульфаты в питьевой воде ухудшают ее органолептические показатели, при высоких концентрациях оказывают физиологическое воздействие на организм человека. Сульфаты в медицине используются как слабительное средство, поэтому их содержание в питьевой воде строго нормируется.

Высокие концентрации фтора наблюдаются в сточных водах стекольных, металлургических и химических производств (при производстве удобрений, стали, алюминия и др.), а также на горнорудных предприятиях.

Содержание фтора в питьевой воде нормируется. Повышенное содержание фтора в питьевой воде вызывает заболевание костной ткани — флюороз. Недостаток фтора тоже опасен. В местностях, где в питьевой воде содержание фторидов понижено – менее 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, у людей чаще развивается кариес зубов [3,4].

Отбор проб воды осуществлялся в марте 2018 года. Для данного исследования были выбраны следующие объекты:

- проба №1. Река Аба, Центральный район, в 50 м от кинотеатра «Октябрь».
- проба №2. Снег на левом берегу реки Томи в 100 м от ООО «Водоканал», Центральный район.
- проба №3. Снег на дворовой территории, Куйбышевский район.
- проба №4. Озеро искусственно созданное при строительстве технологической дороги на полигон промышленных отходов производства Новокузнец-

кого Аллюминиевого завода. Озеро находится в 500 метрах у подножия склона, на вершине которого расположен полигон, Орджоникидзевский район.

- проба №5. Река Байдаевка ниже впадения ручья Докшинского, в который производится сброс шахтных вод законсервированной шахты "Байдаевская".

Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты лабораторных исследований

№ пробы	pH	Фторид - ион, мг/л	Сульфат - ион, мг/л
1	8,08	0,34	4956,00
2	7,45	1,90	14,45
3	7,8	0,83	0,65
4	9,71	320	326058,69
5	8,48	5,76	17,17
ПДК	6,5 -8,5	0,75	500

- ПДК – предельно допустимая концентрация примеси, установленная Минздравом России.

Из полученных результатов лабораторных исследований качества воды следует:

1. Активность ионов водорода во всех отобранных образцах находится в интервале предельно допустимых концентраций, за исключением четвертой пробы, в которой превышено значение норматива. Вода в озере, расположенном рядом с полигоном промышленных отходов НКАЗ - щелочная.

2. Превышение фторид - ионов отмечено в четырех из пяти объектах исследования. Самым загрязненным фторид – ионами является озеро в Орджоникидзевском районе. Превышение ПДК составляет 426,7 раз.

Также превышение ПДК наблюдается на территории ООО «Водоканал» в 2,53 раз, Куйбышевский район в 1,11 раз и в реке Байдаевка в 7,68 раз.

3. Превышение сульфат - ионов отмечено в реке Аба в центральном районе и в озере, рядом с полигоном промышленных отходов НКАЗ в Орджоникидзевском районе. ПДК в озере превысило в 652,12 раз, а в реке Аба 9,9 раз.

Предполагается, что повышенная концентрация фторид-ионов и сульфат-ионов в воде связана с промышленной деятельностью завода ЕВРАЗ ЗСМК. Самая загрязненная вода оказалась в искусственно созданном озере Орджоникидзевского района из-за нарушения требований к строительству полигона для отходов, вследствие чего происходит эмиссия вредных веществ в водные объекты.

#### Библиографический список

1. Павелко Т.С., Кабанова Г.М., Ложкина Ю.Ю. Рациональное использование осадков сточных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения, под общ. ред. М.В. Темлянцева, Новокузнецк. – 2015. с. 348–350.

2. Никитина А.М., Борзых Д.М., Риб С.В. Исследование качества речной воды города Новокузнецка // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения, под общ. ред. М.В. Темлянцева, Новокузнецк. – 2016. с. 314–319.

3. ГОСТ 2761-84 "Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора".

4. Горная энциклопедия. Официальный сайт [Электронный ресурс] – Режим доступа URL <http://www.mining-enc.ru/>

УДК 622.6

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ВЕЛЬЦ-ВОЗГОНОВ ПЫЛИ ЭДП В АММИАЧНО-ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРАХ**

**Костина Д.А., Топоркова Ю.И.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук Анисимова О.С.**

*Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»,  
г. Екатеринбург, e-mail: dar.kostina2013@yandex.ru*

В работе исследовали процесс выщелачивания вельц-возгонов пыли электродуговой плавки стали в аммиачно-хлоридном растворе. Осуществляли подбор оптимальных параметров процесса, обеспечивающего максимальное извлечение цинка в раствор. Также был проведен электролиз цинка из полученных растворов.

Ключевые слова: пыль ЭДП, вельцевание, аммиачное выщелачивание, извлечение цинка.

В сталелитейной промышленности одним из видов основного сырья является металлолом. Как правило, стальные изделия цинкуют для защиты от коррозии, поэтому при выплавке стали в электродуговых печах из оцинкованного лома образуется большое количество пылевидных отходов, содержащих иногда до 30 % легко возгоняемого цинка. Пыль формируется механическим выбросом капель расплава и испарением компонентов, имеющих сравнительно низкую температуру кипения.

В среднем пыль электродуговой плавки (ЭДП) содержит железо около 30 %, цинк – 20-30 %, хлор – 10 %, иногда кадмий, свинец и другие элементы и их соединения. Возвращать пыль в оборот процессов черной металлургии нельзя из-за высокого содержания цветных металлов, это приведет к сбою технологических процессов. А при попадании в выплавляемую сталь даже долей процента нежелательных примесей существенно снижается ее качество и ухудшаются требуемые свойства металлоизделий [1]. В свою очередь пыль ЭДП представляет особый интерес как богатейший ресурс для

цинковой промышленности.

Цинк в пыли ЭДП представлен двумя основными фазами – оксидной и ферритной. При выщелачивании перевести в раствор оксид цинка не представляет труда, но феррит цинка является крайне устойчивым соединением и не растворяется, тем самым существенно снижая общее извлечение по цинку. С этой целью проводят вельцевание пыли. При высокой температуре и в присутствии восстановителя практически весь цинк переходит в газовую фазу и улавливается, а затем при взаимодействии с кислородом воздуха металлический цинк окисляется до оксида. На этом этапе происходит концентрирование по цинку, железо не возгоняется и остается в твердом остатке вельцевания.

Классический процесс вельцевания ведут в две стадии. На первом этапе улавливают возгоняемые вещества, на втором этапе проводят прокалку с целью очистки вельц-возгонов от высокотоксичного хлора. Получаемый вельц-оксид направляют на выщелачивание, а после на электроэкстракцию. При кислотном или щелочном выщелачивании нельзя допустить попадание хлора в растворы, поскольку при электролизе токсичный хлор будет выделяться из электролита [2]. Однако, в случае аммиачного выщелачивания хлор участвует в регенерации растворителя – хлорида аммония. Следовательно, нет необходимости проводить дорогостоящий процесс прокалики вельц-возгонов.

В исследовании осуществили подбор оптимальных параметров выщелачивания первичных вельц-возгонов в аммиачно-хлоридном растворе. В качестве основного растворителя применяли хлорид аммония, также добавляли свободный аммиак. Сперва был проведен химический анализ вельц-возгонов и установлено, что возгоны содержат 58 % цинка, около 1 % железа, 10 % хлора, 2 % свинца. Выщелачивание проводили в реакционном стакане, изменяли 3 параметра – отношение Ж:Т (10:1; 15:1; 20:1); концентрацию хлорида аммония (3 моль/дм<sup>3</sup>, 4 моль/дм<sup>3</sup>, 5 моль/дм<sup>3</sup>), концентрацию аммиака (1 моль/дм<sup>3</sup>, 1,5 моль/дм<sup>3</sup>, 2 моль/дм<sup>3</sup>). В большинстве проведенных опытов был достигнут высокий показатель извлечения цинка на уровне 80-90 %. Максимальный – 90 %.

После выщелачивания было проведено несколько пробных опытов электролиза цинка из раствора. Испытание проводили в стакане объемом 250 см<sup>3</sup>, использовали анод из платинированного титана и катод из нержавеющей стали. Концентрация раствора по цинку была доведена до 25 г/дм<sup>3</sup>. Процесс электроэкстракции проводили при рН раствора 8-9, силе тока 1,72 А, напряжении 2,7-2,8 В в течение 5-6 часов. По результатам электролиза получили 3,9 г компактного цинка, что доказывает возможность выделения чистого цинка из данных растворов.

#### Библиографический список

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин – М. : Мир, 2003. – 528 с.

2. Процессы и аппараты цветной металлургии [Текст]: учебное пособие / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, С.В. Карелов и др. – Екатеринбург: ФГАОУ ВПО УРФУ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2013. – 564 с.

УДК 628.19:551.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДЕ НОВОКУЗНЕЦКЕ ПО СНЕЖНОМУ ПОКРОВУ**

**Кузнецова Е.А., Горбунова А.Р., Павелко Т.С., Никитина Д.Ю.  
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: ka.andreewa2018@yandex.ru*

В данной статье рассматривается качество атмосферного воздуха по составу сухого остатка снежного покрова в городе Новокузнецке.

Ключевые слова: атмосферный воздух, сухой остаток, снежный покров, химический состав.

Особенности климата и географического расположения Кемеровской области способствует тому, что большая часть промышленных выбросов веществ не рассеивается в атмосферном воздухе, а осаждается в Кузнецкой котловине, при том образуется фотохимический смог, который оказывает негативное влияние на здоровье населения.

По данным доклада «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2017 году» уровень загрязнения в г. Новокузнецке атмосферного воздуха оценивался как очень высокий [3].

Целью работы является – определение качества атмосферного воздуха по составу сухого остатка снежного покрова.

Одной из составляющих тем современных исследований является изучение загрязнения снегового покрова.

Снежный покров является весьма удобным и информативным индикатором при проведении геоэкологических исследований, что определяется следующими его свойствами: устойчивость снежного покрова в течение длительного времени; отбор проб снежного покрова достаточно прост и не требует сложного оборудования; слабая интенсификация биохимических и химических процессов в снежном покрове позволяет получать адекватные количественные данные о поступлении загрязнителей из атмосферы в течение сезона; концентрация поллютантов в снежном покрове, обычно на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе; снежный покров как естественный планшет-накопитель даёт достаточно объективную величину сухих и влажных выпадений за зиму (или выбранный промежуток времени при по-

слоином анализе); геохимический анализ снежного покрова позволяет проследить пространственное распределение загрязняющих веществ по территории и получить достоверную картину зон влияния конкретных объектов на состояние окружающей среды. Биологическая активность тяжелых металлов выводит данную группу загрязнителей на приоритетное место в мониторинговых исследованиях окружающей среды.

Снег не активен ни в биологическом, ни в химическом отношении и, поэтому, является показателем предшествовавшего загрязнения атмосферы и будущего загрязнения почвы и гидросферы, куда твердые и водорастворимые загрязнители поступают при таянии снега. В снеговом покрове аккумулируется пыль, оседающая в периоды между снегопадами. Содержание элементов-загрязнителей, в частности, тяжелых металлов в снежном покрове колеблется в широком диапазоне в зависимости от степени антропогенного влияния.

Тяжелые металлы оказывают достаточно серьезное влияние на среду обитания человека, поэтому установление динамики и характера их поведения в атмосферном воздухе через мониторинг снежного покрова является весьма актуальной задачей геоэкологии. При таянии снега осуществляется транзит тяжелых металлов в водотоки и почвенный покров и таким образом, насущной задачей является контроль за накоплением тяжелых металлов, поступающих из снежного покрова, в донных осадках водоемов и почвах [1].

Изучение снегового покрова позволяет составить картину пространственного распределения химических элементов и оценить интенсивность воздействия источников загрязнения в зимний период. А по средствам многолетнего мониторинга снегового покрова можно обнаружить новые очаги загрязнения и определить тенденцию в изменении качества окружающей среды. Таким образом, снеговой покров можно считать надежным индикатором загрязнения атмосферы [2].

Для проведения исследования снежного покрова было выбрано три участка в городе Новокузнецке и близ лежащих районах:

- Участок № 1 находился во дворе ул. Чекалина, в Кузнецком районе.
- Участок № 2 располагался на территории Кузнецкого Ферросплавного завода в Кузнецком районе.
- Участок № 3 находился в лесном массиве, около поселка Баевка.

Карта расположения мест отбора проб приведена на рисунке 1.

Пробы сухого остатка были переданы в Лабораторию экологии и комплексного использования минеральных отходов ФГБОУ ВО «СибГИУ» для рентгеноспектрального (химического) анализа.

Результаты рентгеноспектрального анализа сухого остатка снега приведены в таблице 1.

Для сухого остатка снега нет норматива предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, поэтому в качестве критерия сравнения выбрали наиболее чистый участок снега (проба № 3).

Проанализировав результаты исследования, было выявлено превыше-

ние массовой доли следующих веществ:

- на первом участке  $Al_2O_3$  в 2 раза, V в 1,3 раза, F в 2 раза, Bi в 15 раз, Pb в 2 раза, La в 5 раз, Nb в 1,2 раза, Y в 1,6 раза, Ga в 30 раз, Ni в 1,8 раз, Cr в 15,5 раза;



Рисунок 1 – Карта расположения мест отбора проб

Таблица 1 – Результаты рентгеноспектрального анализа сухого остатка снега

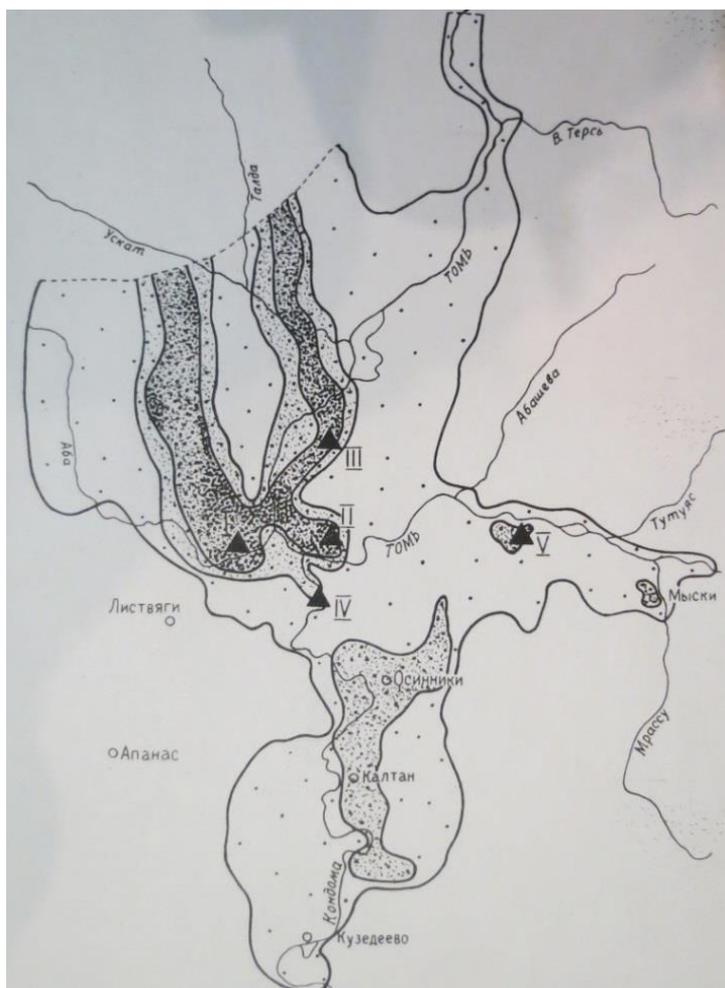
Элементы	проба №1 / массовая доля элементов, %	проба №2 / массовая доля элементов, %	проба №3 / массовая доля элементов, %
$SiO_2$	48,20	40,77	52,78
$Fe_2O_3$	6,96	8,29	8,83
CaO	2,76	2,65	7,31
$Al_2O_3$	29,23	25,94	14,65
MgO	1,26	1,18	2,42
MnO	0,12	0,19	0,16
S	0,18	0,44	0,27
$P_2O_5$	0,18	0,34	0,27
$K_2O$	1,81	0,95	2,01
$Na_2O$	0,75	0,48	1,24
V	0,019	0,018	0,015

Продолжение таблицы 1

Элементы	проба №1 / массовая доля элементов, %	проба №2 / массовая доля элементов, %	проба №3 / массовая доля элементов, %
F	1,40	1,42	0,68
N	0,44	0,54	1,23
TiO <sub>2</sub>	0,86	0,48	0,94
Bi	0,0015	0,0018	<0,0001
Pb	0,002	0,004	0,001
Ti	<0,0001	0,0002	<0,0001
Hg	<0,01	<0,01	<0,01
W	<0,001	<0,001	0,0003
Ta	0,01	0,01	0,01
Hf	<0,001	<0,001	<0,001
Ce	0,004	0,005	0,006
La	0,005	0,0004	0,001
Ba	<0,001	0,099	0,117
C	1,32	13,08	6,47
Sn	<0,001	0,001	<0,001
Nb	0,0012	0,0003	0,0010
Zr	0,025	0,019	0,031
Y	0,005	0,003	0,003
Sr	0,030	0,061	0,058
As	0,001	0,001	<0,001
Ga	0,003	0,005	<0,0001
Zn	0,033	0,017	0,036
Cu	0,012	0,054	0,021
Ni	0,017	0,020	0,009
Co	0,0003	0,0011	0,0011
Cr	0,031	0,009	0,002

- на втором участке MnO в 1,2 раза, S в 1,6 раза, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в 1,3 раза, F в 2 раза, Bi в 18 раз, Pb в 4 раза, Ti в 2 раза, C в 2 раза, Sr в 1,05 раза, Ga в 50 раз, Ni в 2,2 раза, Cr в 4,5 раза.

Рассмотрев результаты анализа проб сухого остатка снега, пришли к следующему: основными источниками загрязнения атмосферы города являются дымовые шлейфы (см. рисунок 2). Об этом говорят результаты проб сухого остатка снега промышленной зоны, так как эти пробы имеют значительные превышения ПДК по наличию тяжёлых металлов в сухом остатке (Pb, As, Cu и др.).



**I** – ООО «Сталь-КМК»; **II** – промышленные объекты Кузнецкого района;  
**III** – ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»; **IV** – Абагурский филиал ОАО «Евразруда»;  
**V** – СП Томь-Усинская ГРЭС;  – дымовые шлейфы от источников загрязнения

Рисунок 2 – Дымовые шлейфы от источников загрязнения

#### Библиографический список

1. Зарина Л.М. Геоэкологические особенности распределения тяжелых металлов в снежном покрове Санкт – Петербургского региона, автореферат, Санкт-Петербург, 2009
2. Воронцова А. В. Особенности поведения поллютантов в покрове Санкт – Петербурга и их влияние на городскую среду, автореферат, Санкт-Петербург, 2013
3. Ежегодный доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2017 году [Текст] – Кемерово, 2017г.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К ВОДОУГОЛЬНЫМ ТОПЛИВАМ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ИХ СЖИГАНИИ**

**Няшина Г.С.**

**Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Стрижак П.А.**

*Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: gsn1@tpu.ru*

Выполнено экспериментальное исследование влияния добавок типичных лесных горючих материалов (ЛГМ) (измельченных хвоинок, листьев и их смеси), на концентрации антропогенных выбросов при сжигании суспензионных угольных топлив, приготовленных на основе отходов угле- и нефтепереработки. Проведены измерения концентраций наиболее опасных антропогенных выбросов – оксидов серы и азота при сжигании суспензионных топлив с добавлением ЛГМ и без этих примесей.

Ключевые слова: водоугольное топливо; добавки и примеси; лесные горючие материалы; сжигание; антропогенные выбросы.

### *Введение*

Основными источниками энергии на сегодня являются полезные ископаемые: нефть, уголь, газ, горючие сланцы, торф, уран и др. Состояние и перспективы развития мировой энергетики значительно зависят от ее ресурсной обеспеченности. По оценкам экспертов [1–3], доля угля в структуре мирового топливно-энергетического баланса составляет около 25–35 %. Основными ее отраслями-потребителями являются металлургия и электроэнергетика. С использованием угля производится 40–45 % мировой электроэнергии [1–3]. Одной из основных проблем, связанных с использованием угля, является наносимый природе вред при его добыче, переработке и сжигании. Самые актуальные экологические проблемы (изменение климата, кислотные дожди, общее загрязнение среды) прямо или косвенно связаны с использованием данного энергоресурса [4, 5].

В связи с этим во многих странах на предприятиях энергетики совершенствуются устройства контроля загрязнения атмосферного воздуха [6]. Рациональное использование собственных энергоресурсов, благоприятный климат и экологически чистая окружающая среда являются ключевыми факторами устойчивого развития любого государства [4,5]. В рамках данного направления исследований авторами [6,7] предложено сосредоточиться на решении основных фундаментальных и прикладных задач в области определения эффективных, в первую очередь, с точки зрения экологических аспек-

тов, условий использования перспективных водоугольных суспензий взамен традиционным энергоресурсам (мазут, газ, уголь).

Под водоугольным топливом (ВУТ) понимается смесь измельченного угольного компонента с водой. В качестве горючей основы могут использоваться [6, 7] угольные шламы и отсеивы, отходы углеобогащительных фабрик (фильтр-кеки), низкосортные угли, твердые остаточные продукты переработки традиционных энергетических ресурсов (угля, нефти), смолы. Для обеспечения необходимого уровня энергетической мощности и повышения энергоэффективности при использовании ВУТ авторы [6, 7] предложили добавлять в суспензии 10–15 % жидкого горючего компонента [6, 7]. Таким образом, получают суспензии органоугольных топлив (ОВУТ). В качестве жидкого горючего компонента могут выступать отработанные промышленные и автомобильные масла, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, промышленные стоки и др. Но применение жидких горючих отходов и низкорекреационных компонентов в составе ОВУТ приводит к неизбежному росту концентраций антропогенных выбросов. Основным направлением решения данной проблемы представляется активное применение растительных добавок [8, 9].

Цель настоящей работы – экспериментальное определение влияния добавок лесного горючего материала на концентрации наиболее опасных антропогенных выбросов при сжигании суспензионных угольных топлив.

#### *Изучение экологических индикаторов применения ОВУТ*

В таблицах 1 и 2 представлены основные характеристики использованных в качестве добавок лесных горючих материалов (листья березы, хвоя сосны и их смесь).

Таблица 1 - Характеристики использованных ЛГМ [10]

Добавка	Элементный состав, %					Технический анализ		
	С	H	N	O	S	A <sup>d</sup> , %	W <sup>a</sup> , %	Q <sub>н</sub> , МДж/кг
Хвоя сосны	53.15	7.83	0.93	32.79	0.03	5.3	7-12	20.58
Листья березы	48.8	6.52	0.84	36.03	0.1	7.8	5-10	13.5-19.2

Таблица 2 - Типичный элементный состав листьев березы и хвои сосны [10]

Добавка	Элементы, мкг/г								
	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Zn	Ni	Cu
Хвоя сосны	120	1.38	3.26	5.97	327	103	44	3	4
Листья березы	51-75	2.75-4.10	6.622-15.23	7.52-17.52	160-300	170-240	122-185	2-4	4-10

Для изучения концентраций газообразных выбросов, образующихся при горении углей, продуктов и отходов углепереработки, а также перспективных суспензий ВУТ и ОВУТ с соответствующими добавками и примесями

ми, использовался стенд, аналогичный представленному в [11]. Основными элементами экспериментальной установки являются камера сгорания, представляющая собой трубчатую муфельную печь, и газоанализатор. Применение муфельной печи обеспечивает возможность создания воздушной среды с диапазоном температур (700–1000 °С).

Перед проведением эксперимента топливная навеска взвешивалась при помощи аналитических весов с дискретностью 0.01 грамм. Масса навески в каждом эксперименте варьировалась в диапазоне 0.5–1.5 грамма. Для обеспечения автоматического ввода и фиксации модульного зонда газоанализатора с навеской топлива в камере сгорания использовался координатный механизм (аналогично [11]). Установленная на координатном механизме вертикальная заслонка со слоем высокотемпературной изоляции закрывала отверстие, служащее для ввода навески топлива в камеру сгорания. Таким образом, обеспечивался контроль коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . Газообразные продукты, выделяемые в процессе нагрева, зажигания и горения топлива в муфельной печи, регистрировались и анализировались газоанализатором Testo 340.

На рисунке 1 представлены концентрации основных антропогенных выбросов ( $SO_x$ ,  $NO_x$ ), образующиеся при сжигании водоугольного топлива и органоводоугольных суспензий с примесями лесного горючего материала в виде листьев березы, хвои сосны и их смеси (в последней доли листьев и хвои составляли 50/50 %).

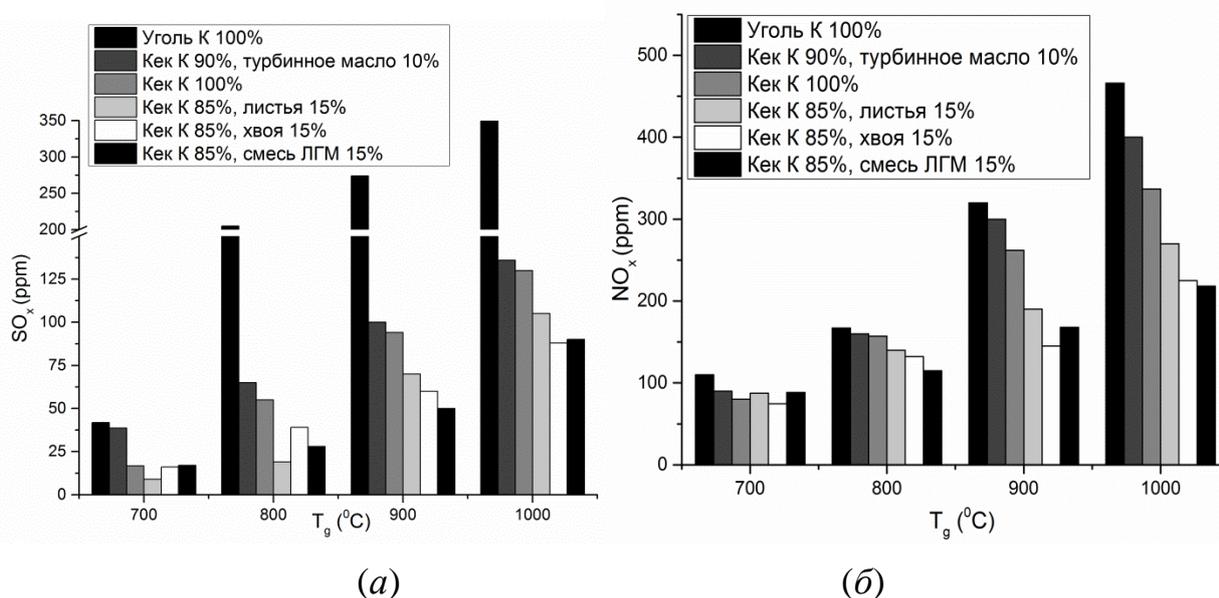


Рисунок 1. Экспериментальные зависимости концентраций  $SO_x$  (а) и  $NO_x$  (б) от температуры в муфельной печи при варьировании концентраций и типов ЛГМ в суспензиях ОВУТ

За счет включения ЛГМ в состав суспензий ОВУТ существенно снижаются концентрации газообразных выбросов окислов серы (рисунок 1, а). Диапазоны выбросов  $SO_x$  для таких суспензий (на основе фильтр-кека К) состав-

ляет 9–105 ppm, когда как для угля этой же марки они равны 42–368 ppm в зависимости от температуры в камере сгорания (рис. 1а). Подобное снижение концентраций оксидов серы объясняется тем, что в процессе термохимической конверсии (сжигания) высвобождаются соединения щелочных и щелочноземельных металлов, присутствующих в большом количестве в лесных отходах (табл. 2). Данные соединения вступают в реакции с окислами серы (например,  $2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{CaSO}_4$ ) и образуются вещества, которые остаются в угольной золе и вносят вклад в реакции удержания серы за счет абсорбции серного газа. Конечными продуктами таких реакций являются KCl и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , NaCl и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , незначительное количество Ca и Mg-сульфатов, которые составляют основу отложений на теплонагруженных энергетических поверхностях в котельных агрегатах [12]. Наиболее заметное влияние на процессы образования выбросов оксидов серы оказала добавка в виде 15% смеси ЛГМ. Для рассматриваемого диапазона температур концентрации  $\text{SO}_x$  составили 17–90 ppm. С другой стороны, из-за высокого содержания щелочных металлов температуры размягчения и плавления золы относительно низкие. В реакциях, приводящих к образованию золы в камере сгорания, участвуют K, Na, S, Ca, Mg, Fe, Si. Отложения золы уменьшают теплопередачу и могут также приводить к сильной коррозии при высоких температурах.

По результатам проведенных экспериментов установлено, что использование добавок ЛГМ с водоугольными суспензиями также позволяет добиться снижения выбросов  $\text{NO}_x$  на 50–60% в сравнении с ОВУТ на основе отработанного турбинного масла. Во-первых, из-за быстрого выделения летучих частиц ЛГМ и последующего их горения количество кислорода  $\text{O}_2$  в камере сгорания снижается. Следовательно, в ходе реакций, в которых участвуют топливный азот и кислород, образуется меньшее количество NO и  $\text{N}_2\text{O}$ . Во-вторых, образование  $\text{NO}_x$  из топливного азота включает в себя как процессы сгорания соединений азота в виде летучих веществ, так и его окисление. В процессе удаления летучих компонентов ЛГМ, выделяемые газы и радикалы, такие как  $\text{CH}_i$ , HCN и  $\text{NH}_3$  уменьшают количество образующегося NO из топливного азота [13]. Невысокое содержания азота в растительных примесях также оказало влияние на меньшие объемы выбросов  $\text{NO}_x$ . Согласно данным, представленным на рис. 1б, наименьшие концентрации оксидов и азота соответствуют фильтр-кеку К с добавкой 15% смеси ЛГМ (80–218 ppm).

#### *Заключение*

По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод о том, что все исследованные добавки способны повысить экологические индикаторы сжигания органоводоугольных суспензий за счет специфических особенностей их химического состава и интенсифицирующих реакций, протекающих в ходе горения топлива. Масштабы образования лесных отходов в мире находятся на высоком уровне. В этих условиях применение данных компонентов в качестве примесей для композиционного угольного топлива становится перспективным.

## Библиографический список

1. Liu F., Lyu T., Pan L., Wang F. Influencing factors of public support for modern coal-fired power plant projects: An empirical study from China // *Energy Policy*. 2017. V. 105. P. 398–406.
2. Li H., Yang S., Zhang J., Qian Y. Coal-based synthetic natural gas (SNG) for municipal heating in China: analysis of haze pollutants and greenhouse gases (GHGs) emissions // *J. Cleaner Prod.* 2016. V. 112. P. 1350-1359.
3. Su F., Itakura K., Deguchi G., Ohga K., Monitoring of coal fracturing in underground coal gasification by acoustic emission techniques // *Appl. Energy*. 2017. V. 189. P. 142–156.
4. Pearse R. The coal question that emissions trading has not answered // *Energy Policy*. 2016. V. 99. P. 319–328.
5. Guttikunda S.K., Jawahar P. Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India // *Atmos. Environ.* 2014. V. 92. P. 449–460.
6. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Chernetskii M.Yu. Organic Coal-Water Fuel: Problems and Advances (Review) // *Thermal Engineering*. 2016. V. 63. I. 10. P. 707–717.
7. Strizhak P.A., Vershinina K.Yu.. Maximum combustion temperature for coal-water slurry containing petrochemicals // *Energy*. 2017. V. 120. P. 34–46.
8. Bhuiyana A.A., Blicblau A.S., SadrulIslam A.K.M., Naser J. A review on thermo-chemical characteristics of coal/biomass co-firing in industrial furnace // *J. Energy Inst.* 2018. V. 91. I. 1. P. 1–18.
9. Gil M.V., Pevida C., Pis J.J., Rubiera F. Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion // *Bioresource Technol.* 2010. V. 101. I. 14. P. 5601–5608.
10. Pnakovic L., Dzurenda L. Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks // *BioResources*. 2015. V. 10(3). P. 5563–5572.
11. Dmitrienko M.A., Nyashina G.S., Strizhak P.A. Environmental indicators of the combustion of prospective coal water slurry containing petrochemicals // *J. Hazard. Mater.* 2017. V. 338. P. 148–159.
12. Hansen L.A., Nielsen H.P., Frandsen F.J., Hørlyck S., Karlsson A. Influence of deposit formation on corrosion at a straw-fired boiler // *Fuel Process Technol.* 2000. V. 64. P. 189–209.
13. Xie J.-J., Yang X.-M., Zhang L., Ding T.-L., Song W.-L., Lin W.-G. Emissions of SO<sub>2</sub>, NO and N<sub>2</sub>O in a circulating fluidized bed combustor during co-firing coal and biomass // *J. Environ. Sci.* 2007. V. 19. P. 109–116.

## **ФОРМИРОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОГО ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ**

**Пермикина Е.Е., Пименов Н.О., Овсенёв А.Е.**

**Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Неизвестных А.С.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: eek11@tpu.ru*

Каждый ядерный объект (ЯО) имеет свои особенности, поэтому необходим индивидуальный подход к разработке системы физической защиты (СФЗ ЯО) и системы учета и контроля ядерных материалов (СУиК ЯМ), в зависимости от принципов функционирования, технологических операций и характеристик ЯМ, находящихся на объекте.

Постоянно увеличивающееся количество отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) требует применения технологических процессов по его переработке с целью вторичного использования, поэтому обеспечение безопасности на заводе по регенерации ядерного топлива является актуальной задачей.

Ключевые слова: физическая защита, учет и контроль, ядерный материал, ядерный объект.

В данной работе были сформулированы требования к обеспечению безопасности при обращении ЯМ на заводе по регенерации топлива.

Рассматриваемый ЯО занимается переработкой ОЯТ с применением водно-экстракционной технологии – PUREX-процесс переработки отработавшего уранового топлива. На заводе в хранилище ОЯТ находится 5000 т топлива, ежегодно перерабатывается 80 т ОЯТ. При этом одновременно в производственном процессе находится 10 т ОЯТ [1].

Движение ядерного материала по объекту представлено на рисунке 1.

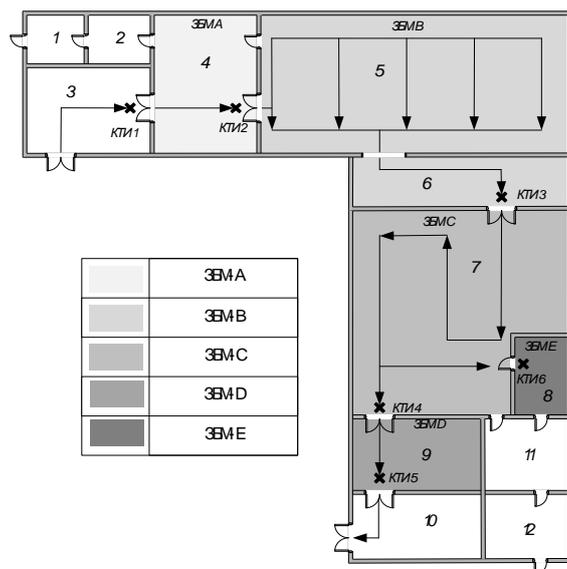
На выходе из технологического процесса получают следующие виды ЯМ:

- Порошок  $\text{PuO}_2$  с содержанием Pu-239 65-70 %: 82 кг;
- плав  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  с содержанием U-235 2,5 %: 5120 кг;
- порошок  $\text{U}_3\text{O}_8$  с содержанием U-235 2 %: 3200 кг;
- порошок  $\text{NpO}_2$ : 2 кг [2].

Так же были выделены границы охраняемых зон в соответствии с требованиями по размещению предмета физической защиты (ПФЗ) на ЯО (рисунки 2) [3].

ПФЗ в данном случае является 82 кг  $\text{PuO}_2$ , который находится в пункте хранения ЯМ.

Исходя из требований было проведено категорирование ПФЗ, результаты представлены в таблице 1.



1 – ЛКПП ВЗ; 2 – санитарный шлюз; 3 – транспортный шлюз; 4 – помещение подготовки ОТВС к размещению в бассейне; 5 – бассейн долговременного хранения; 6 – транспортно-ропочный шлюз; 7 – участок технологических операций; 8 – аналитическая лаборатория, помещение автоматизированной системы управления; 9 – ПХ ЯМ; 10 – транспортный шлюз; 11 – санитарный шлюз; 12 – ЛКПП ВЗ

Рисунок 1 – Ключевые точки измерений и движение ЯМ в зонах баланса материала-А, В, С, D, E:

Таблица 1 – Категорирование ПФЗ

Вид и количество ЯМ	Категория ЯМ	Категория последствий НСД	Степень секретности	Категория ПФЗ	Категория ЯО
PuO <sub>2</sub>	I	II	Особо важная	А	I
82 кг					



1 – помещение комплекса хранения отработавшего ядерного топлива;  
 2 – помещение технологического процесса по переработке;  
 3 – пункт хранения ядерных материалов; 4 – лаборатория

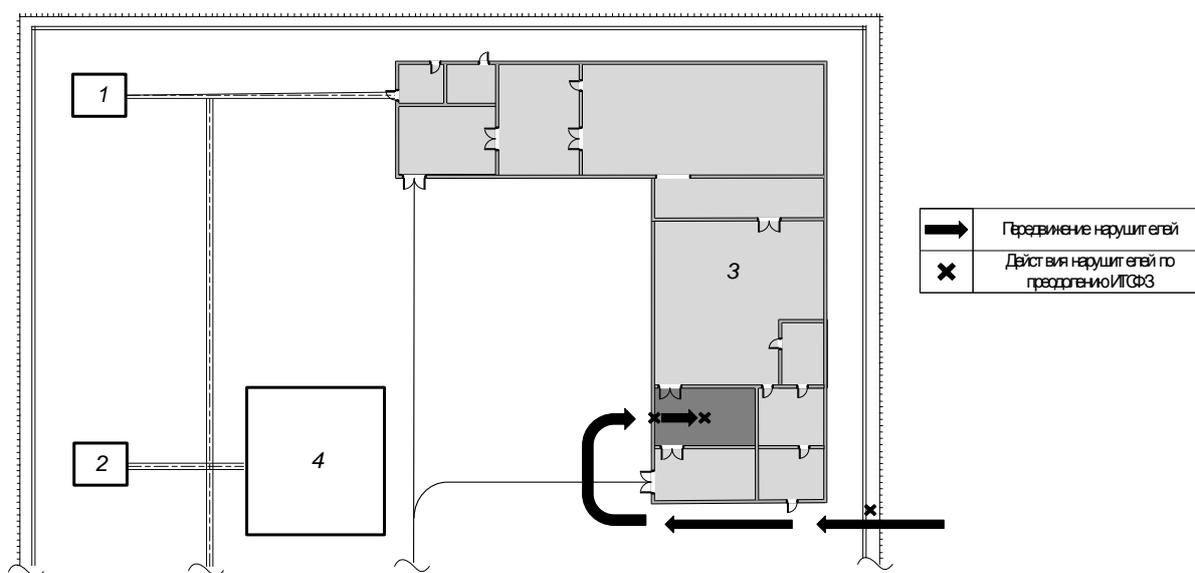
Рисунок 2 – Охраняемые зоны в здании производственного процесса

Угрозой по отношению к ПФЗ является диверсия. В качестве категории нарушителя рассматривается: внешний нарушитель – диверсионно-террористическая группа с насильственной тактикой действий и внутренний нарушитель – персонал, имеющий доступ к ПФЗ со скрытой тактикой действий. Характеристика нарушителя представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика нарушителей

Цель	Диверсия
Мотивы	Политические
Численность нарушителей	Внешний: 4 человека
	Внутренний: 1 человек
Техническое оснащение	Транспортное средство, взрывчатка, огнестрельное оружие
Уровень осведомленности о ЯО	Высокий
Уровень технической квалификации и подготовленности	Высокий

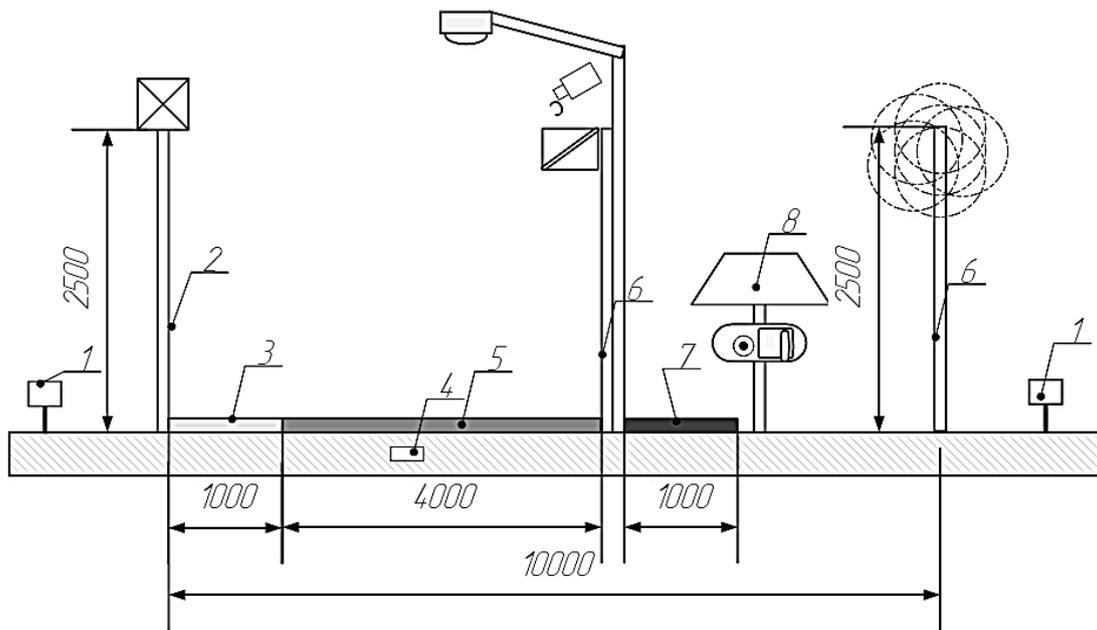
Сценарий действия нарушителей представлен на рисунке 3.



1 – АКПП; 2 – ЛКПП; 3 – помещение технологического процесса; 4 – АБК

Рисунок 3 – Передвижение нарушителей по ЯО:

Исходя из категорирования и рассматриваемой модели нарушителя, было проведено оснащение периметра защищенной зоны (рисунок 4).



1	Предупреждающий знак	8	Постовой грибок
2	Основное ограждение		Камера
3	Тропа специалиста		ТВС
4	Вибрационный СО		Телефон внутренней связи
5	Контрольно-следовая полоса		Емкостное СО
6	Инженерное ограждение		Пьезоэлектрическое СО
7	Тропа наряда		Армированная колючая лента

Рисунок 4 – Схема инженерных и технических средств, которыми оснащена запретная зона на периметре объекта

Таким образом, в работе изложены рекомендации к обеспечению безопасного обращения с ЯМ, которое включает в себя организацию систем учета и контроля ЯМ и физической защиты ЯО.

#### Библиографический список

1. Ядерный топливный цикл и режим нераспространения: учебное пособие / В.И. Бойко, Д.Г. Демянюк, Д.С. Исаченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 104 с.
2. Химия тория, урана, плутония: учебное пособие / И.И. Жерин, Г.Н. Амелина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 147 с.
3. Физическая защита ядерных объектов: Учебное пособие для вузов / П.В. Бондарев, А.В. Измайлов, А.И. Толстой. – М.: МИФИ, 2008. – 584 с.: ил.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ**

**Петрусёв А.С.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Лукутин Б.В.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: aspetrusev@gmail.com*

Рассмотрен и проведён анализ Кош-Агачской солнечной электростанции – её основных характеристик, графиков генерации, выявлении её сильных и слабых аспектов, её актуальности для Республики Алтай. Обосновано применение возобновляемых источников энергии в Республике, а также эффективность именно солнечной энергетики.

Ключевые слова: Солнечная электростанция, Республика Алтай, генерация, потребление.

Территория Республики Алтай входит в энергосистему Республики Алтай и Алтайского Края, которая, в свою очередь, является частью энергосистемы Сибири.

В настоящее время большая часть потребляемой электрической энергии республики приходится на сферы жилищно-коммунального хозяйства и на бытовые нужды в личных подворьях. В итоге республика характеризуется относительно невысоким потреблением электрической энергии на человека, что характерно для горных местностей, при большой протяжённости линий. Кроме этого до недавнего времени республика была почти полностью дефицитной за исключением дизельных электростанций суммарной мощностью 1,3МВт, поэтому практически вся электроэнергия поступает в неё из Бийского энергорайона Алтайской энергосистемы. Всё это в совокупности с изношенностью (порядка 25-55 лет) линий электропередач приводит к недопустимо высокому уровню потерь в сетях (около 20 %). В итоге более 2/3 затрат на электроэнергию, формирующих конечные тарифы для потребителей, обосновываются передачей, распределением и сбытом в пределах республики [1, С.4].

В большинстве случаев на дизельных электростанциях, которые используются для труднодоступных районов, также используется сильно изношенное оборудование, что является причиной низких технико-экономических показателей. Удельные расходы топлива в среднем на уровне 457 г. условного топлива/кВт·ч, что примерно в 1,5 раза выше среднего нормативного расхода топлива [1, С.12-14].

Также дополнительным усугубляющим ситуацию фактором является то, что пропускная способность питающих линий между Бийской энергосистемой и энергосистемой Республикой Алтай исчерпана полностью (энергосистемы соединяются шестью воздушными линиями 110кВ). Это приводит к

ограничению новых подключений и сдерживанию роста экономики региона.

Всё вышесказанное обуславливает необходимость ввода на территории республики новых источников электроэнергии, в том числе на основе возобновляемой энергетики.

Солнечная энергетика по масштабам ресурсов и повсеместной распространённости является одним из наиболее перспективных направлений. Ежегодно установленные в мире мощности солнечных электростанций (СЭС) растут почти на 30 % и по суммарной установленной в 2016 году мощности обогнали ветровую энергетику [2]. Полное количество солнечной энергии, падающей на поверхность Земли за год, составляет величину около  $(7.5-10) \cdot 10^{17}$  кВт·ч, тогда как нынешнее потребление энергии всем человечеством всего около  $0,0015 \cdot 10^{17}$  кВт·ч в год [3, С.15].

Республика Алтай имеет очень большой потенциал внедрения СЭС. Продолжительность солнечного сияния там одна из наибольших в России. Согласно данным Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации на основе информации, снимаемой Кош-Агачской метеостанцией с индексом ВМО 36259, продолжительность солнечного сияния в 2015 году составила 2712 часов.

Кроме большой продолжительности солнечного сияния территория имеет также высокие показания суммарной солнечной радиации. По базе данных NASA получено, что в районе села Кош-Агач Республики Алтай среднегодовая дневная сумма солнечной радиации составляет 3,73 кВт·ч/м<sup>2</sup> [4].

Указанные факторы обуславливают актуальность размещения Кош-Агачской СЭС мощностью 10 МВт недалеко от села Кош-Агач. Тем не менее, рассматриваемая СЭС имеет ряд проблем, присущих данным типам электростанций. В первую очередь это неравномерность выработки электроэнергии в течение дня и её отсутствие ночью, что не совпадает с графиком нагрузок. Также данная станция характеризуется достаточно высокой стоимостью и разделением на очень крупные блоки, что может негативно сказываться на надёжности.

Электростанция площадью в 13 гектар раскинулась в Чуйской степи. За сбор солнечной энергии на объекте отвечают смонтированные в ряды 42 тысячи панелей-модулей (мощность каждой из которых около 250 ватт).

Ряды модулей солнечных батарей размещены на расстоянии десяти метров друг от друга и расположены так, чтобы батареи не затеняли друг друга. Солнечные батареи генерируют электроэнергию напряжением 400 В. Эта электроэнергия с помощью восьми инверторов компании «Schneider Electric» преобразуется в электроэнергию переменного тока и с помощью трансформаторов поднимается до напряжения в десять киловольт. Далее электроэнергия по шинам 10кВ попадает на силовую подстанцию «Кош-Агачская». На подстанции напряжение сети повышается до 110 киловольт.

Стоимость сооружения составляет около 1140 млн. рублей. По подсчётам инвестора проекта «Хевел», содержание одной солнечной электростан-

ции обходится примерно в 10 млн. рублей в год. В них входят затраты на обслуживание электростанции (оплата диспетчерского персонала, регламентные работы), инверторного оборудования (сервисный договор с производителем) и охрана.

Эффективность работы солнечных станций определяется, в первую очередь, энергетическими характеристиками солнечных панелей, которые состоят из фотоэлементов, а также собственными характеристиками фотоэлементов. Основными факторами, влияющими на энергетические характеристики, являются интенсивность солнечного освещения, величина нагрузки и рабочая температура. В свою очередь интенсивность солнечного освещения зависит от географического положения, времени года и времени суток, погодных условий и расположения панелей относительно линии падения лучей. К собственным характеристикам можно отнести КПД фотоэлементов и их тип. Учёт всех этих параметров позволяет максимально точно рассчитать мощность используемой СЭС и её выработку за определённый промежуток времени.

Рассчитаем ежемесячно генерацию электроэнергии Кош-Агачской СЭС. Для этого возьмём данные по средней дневной сумме солнечной радиации около села Кош-Агач для каждого месяца. Также учтём данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации по среднемесячной температуре села Кош-Агач [4].

Рассчитаем усреднённые значения температуры за последние 10 лет и возьмём данные о средней дневной сумме солнечной радиации.

Рассчитаем вырабатываемую за месяц электроэнергию по формуле:

$$W_M = \frac{k \cdot P_M \cdot N \cdot E_M}{1000}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий потери энергии из-за наклонного падения лучей на поверхность солнечных модулей в течение дня, может быть принят равным 0,7;

$P_M$  – мощность солнечного модуля с учётом температуры, Вт;

$N$  – количество солнечных модулей, шт. Для рассматриваемой СЭС  $N=42000$  шт.;

$E_M$  – средняя месячная сумма солнечной радиации, кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Для учёта температуры окружающей среды запишем зависимости тока и напряжения модуля от температуры:

$$I_T = I_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 25)), \quad (2)$$

$$U_T = U_0 \cdot (1 - \beta \cdot (T - 25)), \quad (3)$$

где  $I_T$ ,  $U_T$  – Ток КЗ и напряжение ХХ при температуре модуля  $T$ ;

$I_0$ ,  $U_0$  – Ток КЗ и напряжение ХХ при температуре модуля в 25 °С;

$\alpha$ ,  $\beta$  – температурные коэффициента тока и напряжения,

$\alpha = 0,07$  %/град,  $\beta = 0,4$  %/град;

T – температура солнечного модуля, °C.

С учётом формул (2) и (3) запишем выражение для P<sub>м</sub>:

$$P_m = P_n \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 25)) \cdot (1 - \beta \cdot (T - 25)), \quad (4)$$

где P<sub>н</sub> – номинальная мощность солнечного модуля, Вт.

На Кош-Агачской СЭС мощность модулей 250 Вт, поэтому примем P<sub>н</sub>=250 Вт. Температуру модуля можно приближённо принимать равной на 10 градусов выше температуры окружающего воздуха.

Произведём расчёт вырабатываемой СЭС электроэнергии по месяцам.

Сведём данные за все месяцы в таблицу 1.

Таблица 1 – Выработанная СЭС электроэнергия по месяцам

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Выработка, млн. кВт·ч	0,38	0,56	0,93	1,11	1,36	1,34	1,32	1,21	0,9	0,64	0,39	0,29

Итого суммарная генерация в год составила 10,43 млн. кВт·ч, что составляет примерно 2 % от всего годового потребления Республики Алтай [1]. В дневное время мощности СЭС хватает, чтобы полностью перекрыть потребность Кош-Агачского района и частично соседних, что значительно уменьшает перетоки мощности с Бийского энергорайона.

Построим по данным таблицы 3 график годовой генерации Кош-Агачской СЭС (рисунок 1).

Также возьмём данные Системного оператора по среднемесячным нагрузкам ОЭС Сибири [5] и построим график, изображённый на рисунке 2. Энергосистема Республика Алтай является частью ОЭС Сибири, поэтому тенденция изменения потребления электроэнергии по месяцам у неё схожа с представленным ниже графиком.

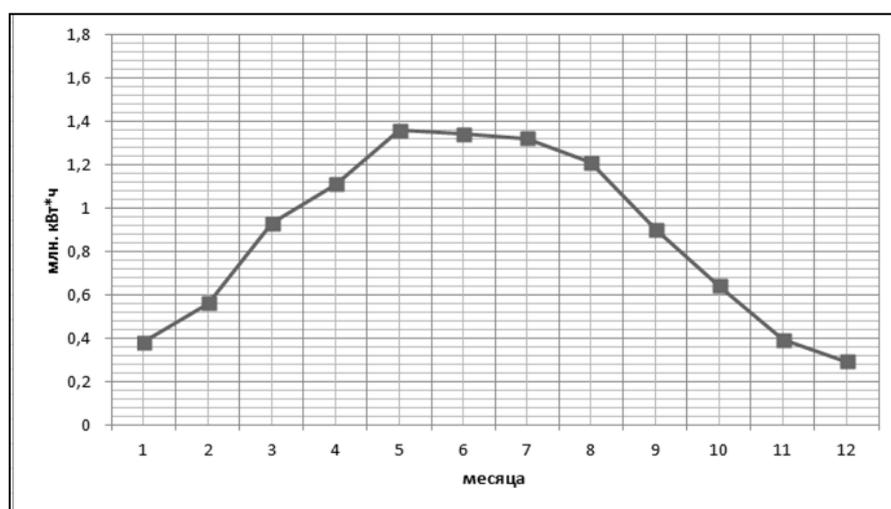


Рисунок 1 – График генерации Кош-Агачской СЭС по месяцам

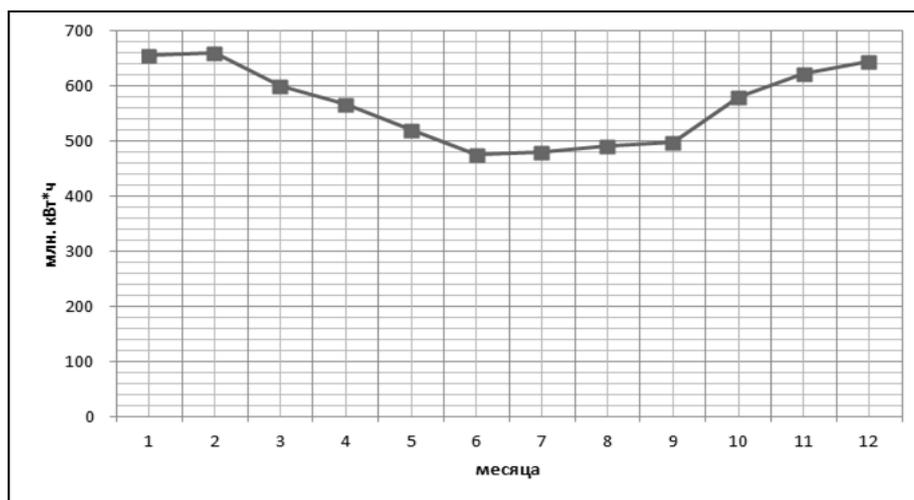


Рисунок 2 – График потребления ОЭС Сибири по месяцам

Как можно видеть, годовые графики генерации СЭС и потребления Республики Алтай не совпадают. Генерация СЭС значительно преобладает в летнее время, тогда как пик потребления наоборот приходится на зимние месяцы, что накладывает ограничения на использование данного источника энергии, не позволяя ему занимать существенную часть в энергобалансе республики. Тем не менее, в летнее время СЭС способна обеспечить значительную часть энергопотребления ближайшим потребителям, что снижает огромные потери в протяжённых сетях республики, повышая эффективность использования станций всей ОЭС Сибири.

#### Библиографический список

1. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Алтай на 2017-2021 годы. Указ Главы Республики Алтай, Председателя Правительства Республики Алтай от 23 июня 2016 года №178-у
2. Новости и аналитика: солнечная генерация обгоняет ветер [Электронный ресурс] // Ассоциация солнечной энергетики России. URL: <http://pvruussia.ru/news/138/> (дата обращения: 04.03.2018)
3. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - с. 317.
4. NASA Surface meteorology and Solar Energy – Location [Электронный ресурс] // Atmospheric Science Data Center. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (дата обращения 05.11. 2017).
5. Генерация и потребление в ОЭС Сибири [Электронный ресурс] // Системный оператор Единой энергетической системы. URL: <http://so-sps.ru/index.php?id=1178> (дата обращения 05.11.2017)

## **ВЛИЯНИЕ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

**Петрусёв А.С.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Лукутин Б.В.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: aspetrusev@gmail.com*

Рассмотрена возможность внедрения высокой доли электротранспорта в городскую среду. Проблема рассмотрена со сторон экономической, технической и экологической выгоды. Проанализирована эффективность внедрения в разное время года. Обоснована параллельная интеграция возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: Электротранспорт, солнечные установки, экология, выбросы, эффективность

Проблему выбросов транспортного сектора обсуждается уже долго время. Он ответственен за более чем 22 % мировых выбросов CO<sub>2</sub> и более 50 % мирового потребления нефти, поэтому основной тенденцией к уменьшению этих воздействий, с одной стороны, является снижение количества двигателей внутреннего сгорания, заменяя их на электрические транспортные средства, а с другой стороны увеличение доли возобновляемых источников энергии в глобальном энергетическом балансе. При этом замена только транспортных средств не приведет к сколько-нибудь значительному снижению парниковых газов, так как в данном случае электроэнергия для подзарядки аккумулирующих устройств электрокара будет вырабатываться на классических тепловых станциях. В связи с этим, для достижения необходимого эффекта необходимо решать проблему в комплексе с вводом мощностей на основе возобновляемых источников энергии. При этом наиболее рационально рассматривать интеграцию сразу с точек зрения технических, экологических и экономических последствий [1, 2].

В связи с вышесказанным целью настоящей работы является оценка технических, экологических и экономических последствий интеграции электрокаров в распределительной сети, параллельно с увеличением доли возобновляемой энергии в местном производстве, а также поиск оптимального компромисса между этими тремя противоречивые параметрами путем проведения многоцелевой оптимизации.

Алгоритм, который используется в данной работе, состроит из трех функциональных блоков, оценивающих технические, экологические и экономические последствия, которые представляются как функции от двух переменных: доли электротранспорта в общем объеме транспортных средств, а также доли возобновляемых источников энергии. В данной работе в качестве

возобновляемого источника энергии рассматривается конкретно солнечная энергетика. Основываясь на вычислениях этих трех блоков, выполняется многоцелевая оптимизация для уменьшения вышеуказанных последствий. Алгоритм, используемый для оптимизации, является популярным алгоритмом NSGA-II [3]. Обзор данного алгоритма представлен на рисунке 1.

Технический блок включает три основные функции, которые вычисляют потребление электротранспортных средств, генерацию от солнечных электростанций, а также потоки нагрузки, используя метод Ньютона-Рафсона, для всей электросети. Зная распределение домов в каждом узле сети, и таким образом количество электрокаров в каждом узле, первая функция имитирует их зарядку для различных сценариев тарифов, имея в качестве входных данных характеристики электрокаров, а также их часы убытия и прибытия. Предполагается также, что дома используют однофазную розетку с напряжением 220В и током зарядки 10А. Выходными данными рассматриваемой функции является объем электроэнергии, поглощаемой электрокарами в течение дня, с точностью в 10 минут.

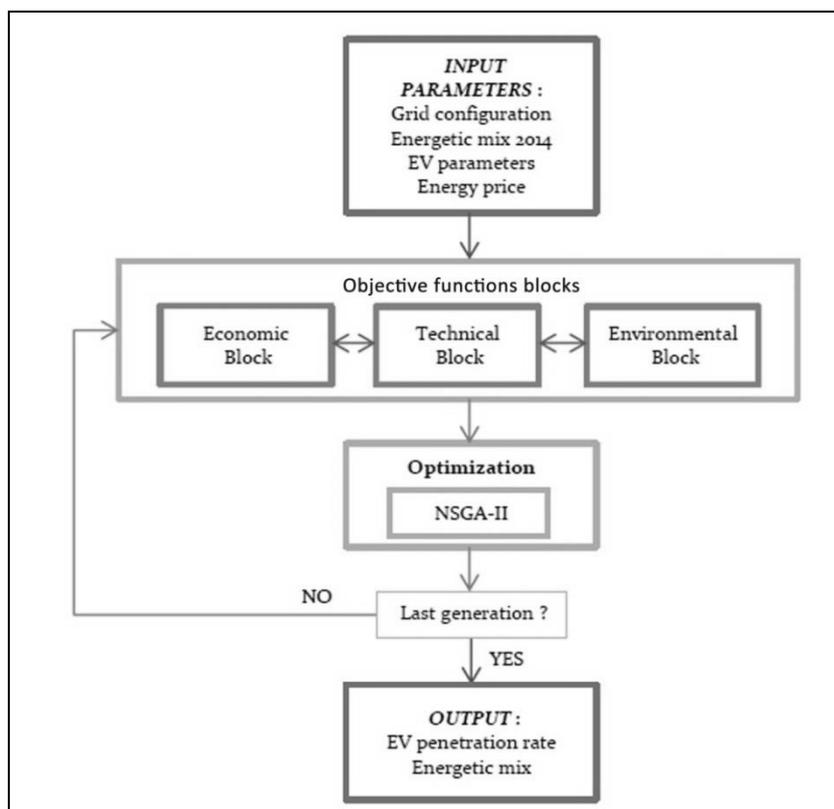


Рисунок 1 – Обзор алгоритма NSGA-II

Вторая функция показывает генерацию солнечных электростанций в каждой точке присоединения с интервалом в 10 минут. Затем, зная характеристики потребления и генерации в сети для каждой её точки, третья и последняя функция выводит потоки мощности во всей сети 145 раз в сутки, в соответствии с временным шагом, благодаря чему можно также рассчитать

потери в сети. Затем рассчитываются дневные и годовые потоки энергии по тому же алгоритму.

На рисунке 2 приведен результат генерации электроэнергии солнечной электростанцией (светлый цвет) и потребления электроэнергии (темный цвет) для июля и декабря в течение суток. На рисунке 3 изображены потери мощности в сети для июля и декабря в течение суток. Расчет сделан при доле установленной солнечной мощности в 50 %.

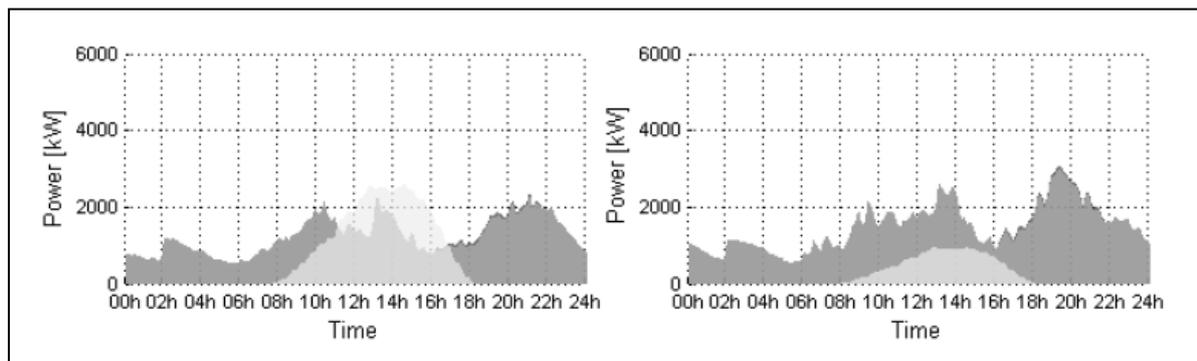


Рисунок 2 – Генерация и потребление в июле и декабре

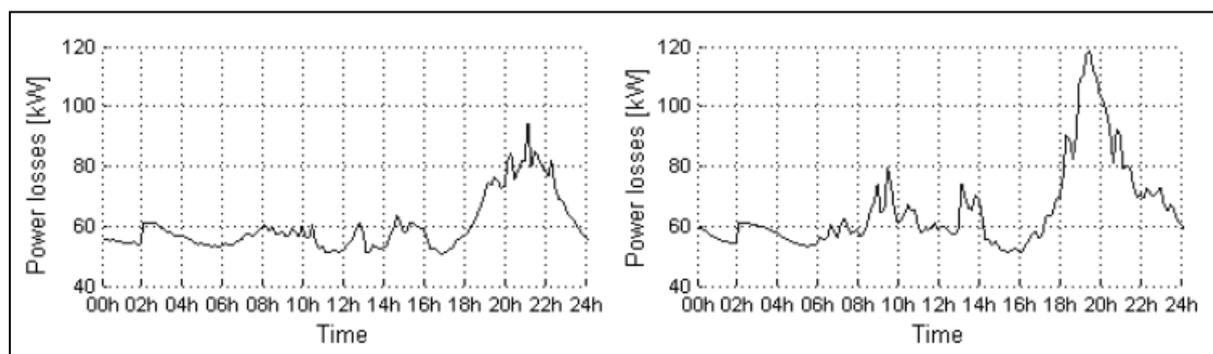


Рисунок 3 – Потери мощности в июле и декабре

Из графиков мы можем заключить, что размещенные в непосредственной близости с потребителями солнечные электростанции уменьшают потери мощности в сети.

Экономический блок показывает на выходе общую сумму, уплачиваемую потребителями за электроэнергию, потребляемую из сети, включая электроэнергию, которую владелец собственных солнечных панелей может продавать в сеть.

Экологический блок использует как входной параметр результаты оценки жизненного цикла для электрокаров, а также результаты технического блока и данные о доле солнечной энергетики в генерации. Он рассчитывает эквивалентные выбросы  $\text{CO}_2$ , а также выделение парниковых газов и потребление первичных ресурсов электрокарами и автомобилями с двигателями внутреннего сгорания.

Результатом полной замены автомобилей с двигателями внутреннего сгорания электрокарами может быть снижение выделения парниковых газов

до 70 %. Но при этом стоит учитывать, что электрокары требуют большего потребления энергии (если переводить в первичные энергоресурсы). Поэтому такой шаг ведет к увеличению потребления энергии во всей сети. В связи с этим нужно учитывать ограничения самой сети, а также стремиться увеличивать долю возобновляемых источников энергии в генерации, иначе выбросы вредных веществ просто переместятся с непосредственно транспортных средств на электрогенерацию (без ввода генерации на возобновляемых источниках энергии замена транспортных средств на электрокары снизит парниковые выбросы менее чем на 9 %).

Экономическая эффективность внедрения достигается, в первую очередь, применением двойных тарифов на электроэнергию, различных для разного времени суток.

#### Библиографический список

1. S. Bacha, D. Picault, B. Burger, I. Etxeberria-Otadui, J. Martins, "Photovoltaics in Microgrids – An overview of grid integration and energy management aspects", IEEE Industrial electronics magazine, March 2015, p. 33-46.
2. Y. Kudoh, R. Motose, K. Tahara and Y. Genchi, "A potential CO2 reduction of vehicle to home system from life cycle perspective", International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium (EVS27), Barcelona, Spain, Nov. 17-20, 2013, p. 1-10
3. Aravind Seshadri, "A fast elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II", p. 1-4.

УДК 621.181.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫБРОСОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**Полковников А.В., Кравченко С.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: ziz9415@mail.ru*

В данной статье рассмотрено негативное влияние на окружающую среду в процессе производства тепловой энергии, рассматриваются основные условия производства энергии с точки зрения их влияния на человека и природу.

Ключевые слова: теплоэнергетика, выбросы вредных веществ, техногенные пустыни, парниковый эффект, зольные отходы, смог, кислотные дожди.

Загрязнение атмосферы неизбежно отражается на других средах: гидросфере, литосфере, биосфере. Выбросы вредных веществ в атмосферу постоянно растут с ростом урбанизации, строительством новых заводов и фабрик.

Одним из основных и самых крупномасштабных источников загрязнения атмосферы являются энергопроизводящие предприятия, например, тепловые электрические станции (ТЭС). Основные компоненты, выбрасываемые в атмосферу при сжигании различных видов топлива - нетоксичные углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Кроме этого, в воздушную среду выбрасываются такие вредные вещества, как оксиды серы, азота, углерода, в частности, угарный газ ( $\text{CO}$ ), соединения тяжёлых металлов, таких, как свинец ( $\text{Pb}$ ), сажа, углеводороды, несгоревшие частицы твёрдого топлива, канцерогенный бензопирен ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ) [1,2].

При сжигании твёрдого топлива в котлоагрегатах ТЭС образуется большое количество золы, диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ), оксидов азота.

Перевод установок на жидкое топливо уменьшает золообразование, но практически не влияет на выбросы  $\text{SO}_2$ , так как в мазуте содержится около 2 % серы.

Современные ТЭС мощностью 2400 МВт расходуют до 20 тысяч тонн угля в сутки и выбрасывают в атмосферу 680 тонн сернистых соединений  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , 200 тонн оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), 120-240 тонн золы, пыли, сажи. Следует отметить, что данные числовые значения приведены для процентного содержания серы в исходном топливе 1,7 % и при эффективности системы пылеулавливания 94-98 %.

При сжигании каменного угля остаётся очень большое количество зольных отходов, которые вывозятся за город на золоотвалы. Золоотвалы, в большинстве своём, очень плохо оборудованы, и зола разносится на значительные расстояния. Кроме того, что зола загрязняет атмосферу, оседая на землю, она скапливается, покрывая поверхность почвы плотным слоем. Это способствует образованию техногенных пустынь.

Особенно опасны сернистый ангидрид, диоксид серы и оксиды азота, выделяемые в атмосферу ТЭС, поскольку они переносятся на большие расстояния и осаждаются, в частности, с осадками на поверхность земли, загрязняя гидросферу и литосферу. Одним из особенно ярких проявлений этой картины являются кислотные дожди. Эти дожди образуются вследствие поступлений от сгорающего топлива и уходящих в атмосферу на большую высоту дымовых газов, в основном, двуокиси серы и окислов азота. Получающиеся при этом в атмосфере слабые растворы серной и азотной кислоты могут выпадать в виде осадков иногда через несколько дней в сотнях километров от источника выделения.

Кроме того, загрязнение атмосферы ТЭС привело, как полагают учёные, к новому явлению - поражению некоторых видов мягких пород деревьев, а также к быстрому и одновременному падению скорости роста, по меньшей мере, шести видов хвойных деревьев.

ТЭС являются причиной возникающего в крупных промышленных городах смога: недопустимого загрязнения воздушной среды в местах жизнедеятельности человека вследствие выделения в неё указанными источниками

вредных веществ при неблагоприятных погодных условиях.

Главная опасность теплоэнергетики для атмосферы заключается в том, что сжигание углеродсодержащих топлив приводит к появлению двуокиси углерода  $\text{CO}_2$ , которая выбрасывается в атмосферу и способствует созданию парникового эффекта.

Наличие в сжигаемом угле добавок серы приводит к появлению окислов серы, они поступают в атмосферу и после реакции с парами воды в облаках создают серную кислоту, которая с осадками падает на землю. Так возникают кислотные осадки с серной кислотой.

Другим источником кислотных осадков являются окислы азота, которые возникают в топках ТЭС при высоких температурах (при обычных температурах азот не взаимодействует с кислородом атмосферы). Далее эти окислы поступают в атмосферу, вступают в реакцию с парами воды в облаках и создают азотную кислоту, которая вместе с осадками попадает на землю. Так возникают кислотные осадки с азотной кислотой.

ТЭС на угле, вырабатывающая электроэнергию мощностью  $1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$ , ежегодно потребляет 3 млн. угля, выбрасывая в окружающую среду 7 млн. т  $\text{CO}_2$ , 120 тыс. т двуокиси серы, 20 тыс. т оксидов азота  $\text{NO}_2$ , и 750 тыс. т золы.

В каменном угле и летучей золе содержатся значительные количества радиоактивных примесей. Годовой выброс в атмосферу в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт приводит к накоплению на почве радиоактивности, в 10-20 раз превышающей радиоактивность годовых выбросов АЭС такой же мощности [3, 4].

Таким образом, защита атмосферы от выбросов, связанных с работой теплоэнергетического оборудования, должна быть направлена на снижение объёмов газовых выбросов и их очистку и включать следующие мероприятия:

- контроль за состоянием окружающей среды;
- применение методов, способов и средств, ограничивающих объёмы выбросов газа и подачи его в промышленную газосборочную сеть;
- использование в аварийных случаях факельных устройств, обеспечивающих полное сгорание сбрасываемого газа;
- обеспечение соблюдения экологических нормативов проектируемыми объектами и сооружениями;
- применение системы автоматических блокировок технологических потоков в нефтепереработке, позволяющей герметизировать опасные участки в аварийных ситуациях и осуществить разрядку этого звена в факельную систему;
- максимально возможное изменение топливных режимов тепловых энергетических установок в пользу экологически чистых видов топлива и режимов его снижения.

#### Библиографический список

1. Маврищев В.В. Основы экологии: Учебник / В.В. Маврищев. – Минск: Выш. шк., 2003. – 416 с.

2. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: Учеб. пособие для вузов, средних школ и колледжей. – 3-е изд., испр. и доп. / Ю.В. Новиков. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 736 с.

3. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. – 2-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.

4. Экология: Учебное пособие / Под ред. проф. В.В. Денисова. – 2-е изд., исправленное и дополненное. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов-на-Дону, 2004. – 672 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И КАЧЕСТВА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г.ОСИННИКИ**

**Росс Д.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: dayanaross1011@mail.ru*

Проведено исследование работы и качества очистных сооружений г.Осинники.

Ключевые слова: сточные воды, очистные сооружения, механическая очистка, биологическая очистка, ингредиенты.

В любом населенном пункте одной из важнейших систем, обеспечивающих нормальное жизнеобеспечение, является система отведения и очистки сточных вод [1].

Канализационные очистные сооружения г. Осинники введены в эксплуатацию в 1965 году. Проектная производительность 24,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут., фактическая 18,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Бытовые сточные воды содержат минеральные и органические загрязнения в нерастворенном, коллоидном и растворенном состоянии.

Сооружения для очистки сточных вод состоят из [2]:

- сооружения механической очистки, где происходит выделение наиболее крупных примесей;

- биологической очистки, где удаляются тонкие суспензии, коллоидные и растворенные загрязнения;

- сооружения по обеззараживанию сточных вод;

- сооружения для обработки осадка.

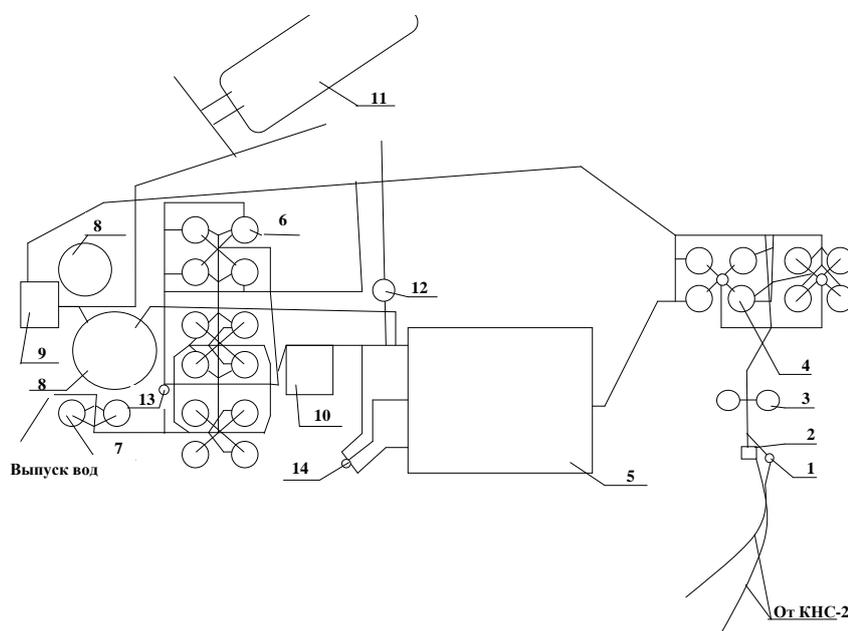
Сточная вода с города самотеком поступает на канализационную насосную станцию - 3, затем насосами перекачивается на канализационную насосную станцию - 2, далее сточная вода отводится на очистные сооружения в приемную камеру, откуда подается на песколовки, где происходит оседание тяжелых минеральных загрязнений, главным образом песка. Затем

в первичные отстойники, которые служат для выделения осажденных взвешенных веществ и частично органического осадка, для временного хранения и его уплотнения. Далее сточная вода попадает в аэротенки для биологической очистки. После аэротенков вода поступает во вторичные отстойники для разделения биомассы (воды и ила). Заканчивается очистка обеззараживанием сточных вод жидким хлором. Взаимодействие с хлором происходит в контактных отстойниках, после чего очищенная вода сбрасывается в природный водоем.

В процессе очистки образуется большое количество осадков, которые направляются для обработки и минерализации в аэробный стабилизатор.

Минерализованный осадок обезвоживается на иловых картах.

На рисунке 1 показана технологическая схема очистных сооружений г.Осинники [3].



- 1-приемная камера; 2-приемная камера; 3-вертикальные песколовки;4-первичные отстойники; 5-аэротенк; 6-вторичные отстойники; 7-контактные отстойники; 8-аэробный стабилизатор; 9-насосная станция при аэробном стабилизаторе; 10-хлораторная; 11-иловые площадки; 12-насосная станция дренажных вод; 13-лоток Поршала; 14-распределительная камера циркулирующего возвратного ила.

Рисунок 1 – Технологическая схема очистных сооружений г. Осинники

Контроль качества сточной воды осуществляется на основании рабочей программы производственного контроля, согласованного с территориальным отделом территориального управления ФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Кемеровской области г. Осинники.

В таблице 1 представлено среднее количество ингредиентов, находящихся в сточной воде, при поступлении на очистные сооружения и при сбросе после очистки г. Осинники в 2017 году [4,5]:

Таблица 1 – Состав сточных вод до и после очистки г. Осинники в 2017 году

Наименование ингредиента	Поступающая сточная вода, мг/дм <sup>3</sup>	Очищенная сточная вода, мг/дм <sup>3</sup>	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4
Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> )	20,482	0,413	1,29
Нитрат ион (NO <sub>3</sub> )	2,558	14,725	4,43
Нитрит ион (NO <sub>2</sub> )	0,215	0,028	3,28
Алюминий (Al)	0,039	0,016	0,5
Биологическое потребление кислорода (БПК) полное	62,980	3,040	1,67
Взвешенные вещества	109,833	9,733	15,0
Железо (Fe)	0,952	0,263	0,3
Нефтепродукты	0,699	0,000	0,3
Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ)	0,404	0,064	0,5
Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	39,839	38,978	100,0
Фенолы	0,004	0,001	0,001
Фосфаты	1,644	0,846	13
Хлориды (по Cl)	35,639	49,961	300,0

На рисунке 2 представлена иллюстрация динамики изменения концентраций ингредиентов в сточных водах до и после очистки в сравнении с предельно допустимыми концентрациями.

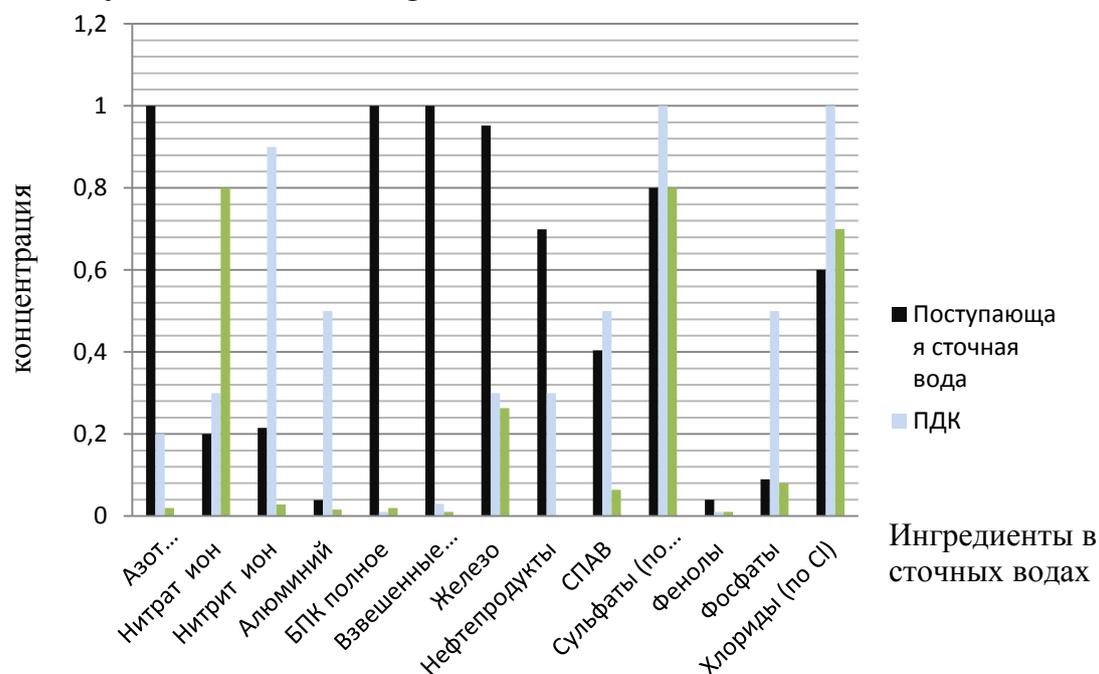


Рисунок 2 – Содержание ингредиентов сточных вод до и после очистки г. Осинники в 2017 году

Анализ представленных данных показал, что превышение предельно допустимых концентраций наблюдается по ингредиентам в сточных водах: нитрат ион, БПК полное.

Вывод: Технология очистки сточных вод на очистных сооружениях г. Осинники работает не в полном объеме, в связи с чем есть превышения предельно-допустимых концентраций таких ингредиентов (после прохождения очистки), как нитрат ион, БПК полное.

#### Библиографический список

1. Д.Н.Смирнов, В.Е.Генкин, “Очистка сточных вод в процессах обработки металлов”, М:Металлургия, 1989.
2. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсей Й. и др. “Очистка сточных вод: Биологические и химические процессы”. Пер. с англ. Учебное пособие.-МИР 2004.
3. Технологический регламент очистных Сооружений г. Осинники.
4. Протокол испытаний № 53.
5. Журнал учета качества сбрасываемых сточных вод за 2017 год.

УДК 621.577

## **ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА**

**Ульянина В.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: vika060796vvv@gmail.com*

В данной статье рассмотрены перспективы и возможности переработки, утилизации автомобильных шин и их захоронения.

Ключевые слова: утилизация отходов, автомобильные шины, переработка покрышек, захоронение отходов, экологическая безопасность.

В Кузбассе большое количество промышленных предприятий, которые заняты в сфере добычи и переработки природных ресурсов, а также во многих других смежных отраслях, используют автомобильную технику. Для примера: одних БЕЛАЗов в Кемеровской области более 2000 единиц, грузового автотранспорта в сотни раз больше. Если говорить о легковом автотранспорте в Кузбассе, где по статистике у каждого четвертого жителя имеется легковой автомобиль, становится очевидным, что проблема изношенных шин в области весьма актуальна: ежегодно в области образуется от 60 до 80 тыс. тонн и более [1].

Одним из приоритетных направлений в области экологии является очистка юга Кузбасса от данного вида отходов, поскольку именно здесь

наличие и образование изношенных шин, а также других резиносодержащих элементов значительно. Автомобильные покрышки относятся к 4 классу опасности. Хранение и складирование данного вида отходов запрещено законодательно, а их переработка разрешена только тем компаниям, которые имеют соответствующую лицензию.

Складирование, утилизация и захоронение отходов экономически неэффективно и экологически небезопасно, так как при длительном хранении они могут выделять в окружающую среду вещества, способные привести к нарушению экологического равновесия.

В Кемеровской области одно из самых больших образований изношенной резины в России. По оценкам экспертов, изношенные шины, образующиеся от промышленных предприятий и автомобилей жителей Кузбасса, составляют более 100 тыс. тонн ежегодно. Это большая проблема, которой необходимо заниматься [2].

Отходы резины имеют в своем составе очень много вредных для экологии компонентов. Переработка резины является наиболее правильным решением. Складирование и утилизация резины нежелательны с экологической точки зрения. К сожалению, в нашей стране нет грамотного сбора данного вторсырья. Законодателями сегодня не проработан четкий механизм последующих действий с ценным вторсырьем, также не определен порядок финансирования этих действий [3].

Основную часть отходов из резины составляют автомобильные шины. Подсчитано, что количество изношенных шин в мировом масштабе равно около 25 миллионов тонн или около миллиарда штук, и эта цифра постоянно растет. Только 23 % из этого количества используются для каких-либо целей, например, есть возможность утилизации с целью получения энергии благодаря пиролизу, использовать в составе дорожного покрытия и др. Остальная часть – складировается, а чаще всего просто выбрасывается вместе с бытовыми отходами [4].

Автомобильная шина не подвержена биологическому разложению, является огнеопасной. Важным нюансом является то, что больше 80% всех шин в мире изготовлены из синтетического каучука. Его, в свою очередь, изготавливают из нефти, а нефть, как известно - невозобновляемый ресурс.

Места скопления изношенных шин представляют собой экологически неблагоприятные зоны. Здесь присутствует высокий риск возникновения пожаров, возникает благоприятная среда для обитания грызунов, насекомых, различных вирусов. Такие зоны неблагоприятны для флоры. В результате взаимодействия резины с водой получают различные токсичные соединения [5].

Переработка резиновых покрышек является актуальной проблемой во многих странах мира. Везде эта проблема решается по-разному, но самое верное и оптимальное решение - это пиролиз. Во Франции, например, почти половина использованных автомобильных покрышек восстанавливается или используется вторично. Остальные же используются в качестве дорожного

покрытия, сжигаются для получения энергии или применяются в портах. В Японии переработка осуществляется так: большая часть сжигается при помощи пиролиза с целью получения энергии, а меньшая - используется как вторсырье. В Англии же сжигается при помощи пиролиза только треть изношенных шин, а остальные - восстанавливаются.

Количество не переработанных изношенных покрышек составляет: в США - 2,8 млн. тонн, в Европе - 2,5 млн. тонн, в России - 1 млн. тонн.

В 1999 году Европейский Совет утвердил Директиву, согласно которой с 2003 года запрещено сжигание использованных покрышек. В Великобритании и США строятся электростанции, на которых изношенные автомобильные покрышки используются в качестве топлива [6].

В развитых странах переработка является важным сектором экономики. Согласно немецким законам, вывоз изношенных шин на свалку является крайне нежелательным. В США также нельзя просто выбросить старую шину - это преследуется законом.

Итак, как было сказано выше, целесообразным является не сжигание, а вторичное использование отходов. Вторичная переработка позволяет использовать отходы в качестве сырья для производства продукции. К примеру, из резиновой крошки изготавливают покрытия для детских площадок, беговых дорожек и стадионов. В настоящее время применяются следующие способы переработки резиновых покрышек: сжигание, пиролиз и измельчение в крошку. Сжигание шин является неэффективным способом утилизации резиновых отходов. Переработка в крошку проста по технологии. А наиболее эффективным способом переработки отходов резины является пиролиз - термическое разложение.

Во время переработки резины необходимо избегать ее термической обработки, так как при сжигании или пиролизе разрушается полимерная основа. Поэтому использование подержанной резины является эффективным в том случае, когда происходит ее измельчение. Эти методы бывают физическими и химическими. Измельчение резиновых отходов происходит при положительных и при низких температурах. Физический способ осуществляет измельчитель резины. Первый метод измельчения является более эффективным, так как хладагенты, применяемые при криогенной обработке, имеют высокую цену.

Переработка покрышек включает в себя такие способы: с помощью ударов, с помощью трения, сжатие, резание, сжатие со сдвигом.

В настоящее время очень эффективным способом переработки является озонная переработка шин. Этот метод впервые был применен в России: автомобильные шины «продуваются» озоном, при этом происходит полное их рассыпание и превращение в крошку. В США крошка из резины используется как топливо на цементных заводах и целлюлозно - бумажных комбинатах. Помимо утилизации и переработки старых автомобильных покрышек в практике применяется их восстановление [7].

Переработка резиновых изделий необходима по следующим причинам:

1. Резина практически не подвержена разложению в природной среде.
2. Рост производства и потребления таких изделий увеличивает территории, занятые свалками.
3. Для изготовления резины используют синтетический каучук, который производят из нефти.
4. Нефть - невозполнимый природный ресурс. Практика по переработке экономит и другие ресурсы для производства.
5. Переработка экономит энергетические ресурсы и заставляет изобретать новые, более дешевые.

Изношенные автомобильные шины, число которых в мире постоянно растет, утилизируют сегодня самыми разнообразными способами, но большая часть способов связана с механическим измельчением резины.

У нас в стране ее чаще всего перерабатывают только механически, разрезая на ленты, а затем последовательно перетирая сначала на одном, потом на другом измельчителе - от крупных кусков до резиновой крошки. Процесс этот энергоемок, а, следовательно, весьма недешев.

Другой, тоже широко применяемый способ утилизации, включает в себя стадию криогенного охлаждения шин, после которой резина становится хрупкой и измельчается с меньшими энергозатратами. Но, во-первых, до охлаждения ее все-таки приходится измельчать, а, во-вторых, при производстве необходимого для криогенных процессов жидкого азота тоже расходуется энергия, потому суммарные энергозатраты оказываются ненамного меньшими.

Новый способ измельчения шин - взрывной - предложен специалистами Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Реализуется этот способ в герметичной взрывной камере, разработанной в МГТУ и способной заменить три серийных механических измельчителя. Камера оснащена загрузочным и разгрузочным оборудованием, исключая выбросы токсичных продуктов в атмосферу. А для обеспечения безопасности работ корпус этой камеры выполнен двойным, с зазором между наружной и внутренней поверхностями. Кроме того, для организации взрыва используются минимальные массы взрывчатых веществ, близкие к критическим.

Новый способ измельчения шин, как показали проведенные в МГТУ испытания, на треть менее энергоемкий, да и сама используемая при этом химическая энергия значительно дешевле электрической [8].

#### Библиографический список

1. Басе Ю.П., Зарецкий М.Р., Захаров С.П. Стабильность качества шин - необходимое условие в конкурентной борьбе // Сб. докладов 9 Симпозиума «Проблемы шин и резинорезиновых композитов». – М.: НИИШП, 1998. -Т.1. - 310с.
2. Волынкина Е.П., Кудашкина С.А., Незамаев А.В. Использование отработанных автомобильных покрышек // Экология и промышленность России. - 2001. - №1.- С.40.
3. Волынкина Е.П., Кудашкина С.А., Охотников В.Ф., Нряничников

Е.В. Утилизация отработанных автомобильных покрышек. Экология и промышленность России. -1999. - № 5. - С.16-19.

4. Воробьева В.В. Технологии утилизации автотракторных шин //Автомобильная промышленность. - 2002. - №3. – С.26.

5. Горовец В.Г. Утилизация шин. Проблема и ее аспекты // Автотранспортное предприятие. - 2005. -№4. – С.40.

6. Леонов Д.И. Взрывные камеры измельчения шин взрывом // Технология машиностроения. - 2000. - № 11. – С.9.

7. Максимов А.М. Создание системы сбора, переработки и утилизации изношенных шин и других резинотехнических изделий в Российской Федерации // Автотранспортное предприятие. - 2003. - № 12. - С39.

8. Некрасов В.Г. Изношенные автомобильные шины как вторичный энергоресурс // Промышленная энергетика. - 1992. - №7. – С.42.

УДК 550.835.232

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ  
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО  
HrGe И СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО NaI ДЕТЕКТОРОВ,  
ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ CANBERRA**

**Шмакова Н.И.**

**Научный руководитель: Чурсин С.С.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, e-mail: nschmackova97@gmail.com*

В данной работе представлено экспериментальное сравнение эффективности регистрации гамма-квантов двух детекторов фирмы CANBERRA сцинтилляционного NaI и полупроводникового коаксиального детектора из особо чистого германия с использованием образцовых спектрометрических гамма-излучателей. А также графическое сравнение регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий от 59 кэВ до 1332кэВ.

Ключевые слова: гамма-спектрометрия, радиоактивные вещества, эффективность регистрации, сцинтилляционный детектор, полупроводниковый детектор.

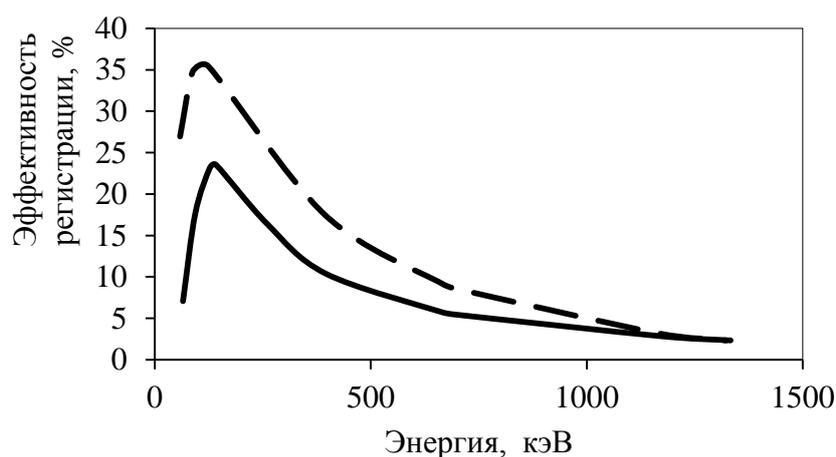
На сегодняшний день активно развиваются ядерные технологии, для которых очень важно измерять и определять параметры радиоактивных веществ и ядерных материалов. В неразрушающем гамма-спектрометрическом анализе ядерных материалов и радиоактивных веществ для регистрации гамма-квантов и их энергий используются различные типы детекторов.

В данной работе рассмотрены две спектрометрические системы на базе сцинтилляционного NaI детектора, размером 51x51 мм и полупроводниково-

го коаксиального детектора из особо чистого германия, размером 59,5x31,5 мм. Детекторы, используемые в работе, изготовлены фирмой Canberra. Одной из важнейших характеристик детектора является эффективность регистрации гамма-квантов, испускаемых ядерным материалом или радиоактивным веществом, так как не все гамма-кванты попадают в детектор, и даже попав в него, гамма-квант может быть не зарегистрирован. Эффективность регистрации показывает отношение количества зарегистрированных частиц к числу испущенных.

Для каждого детектора проводилась калибровка по эффективности в диапазоне энергий от 59 кэВ до 1332 кэВ с использованием образцовых спектрометрических гамма-излучателей.

На рисунке 1 приведены результаты полученных экспериментальных данных. Наблюдается высокая эффективность регистрации гамма-квантов в области малых энергий у обоих детекторов. Однако применение сцинтилляционного детектора позволяет получить большую эффективность регистрации. Далее наблюдается снижение эффективности и впоследствии совпадения ее значений в области высоких энергий гамма-квантов.



— — на базе полупроводникового детектора;  
 - - - на базе сцинтилляционного детектора

Рисунок 1 – Калибровки по эффективности спектрометрических систем

По проделанной работе можно сделать вывод о том, что максимальная эффективность регистрации гамма-квантов у сцинтилляционного детектора выше, чем у полупроводникового в 1,6 раза в области малых энергий. В области больших энергий эффективности регистрации в данных спектрометрических системах совпадают.

#### Библиографический список

1. Райлли Д., Эннслин Н., Смит Х., Крайнер С. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2000.

## V. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 697.34

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**Байдалин А.Д.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Зоря И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,*

*г. Новокузнецк, e-mail: zorya.i@mail.ru*

В статье произведен сравнительный анализ регулирования теплопроизводительности системы отопления, подключенной по зависимой схеме. Показано, что в современных системах отопления, автоматическое регулирование наиболее эффективно при насосном смещении на абонентском вводе.

Ключевые слова: регулирование, система отопления, гидроэлеваторы, насосное смещение, регулятор температуры.

Задачей автоматизации систем отопления является изменение их теплопроизводительности в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

Способы регулирования систем отопления подразделяются на три группы:

- центральное регулирование на тепловом вводе;
- регулирование по отдельным зонам – зонное регулирование;
- индивидуальное регулирование каждого нагревательного прибора.

Рассмотрим более подробно центральное регулирование на тепловом вводе.

Центральное регулирование систем отопления зависит от схемы присоединения абонента к тепловой сети.

подавляющее большинство зданий присоединены по зависимой схеме со смещением теплоносителя, с целью понижения температуры теплоносителя поступающего из тепловой сети до температуры разрешенной нормативной литературой. Встает вопрос – а почему нельзя сразу направить в дома воду с требуемыми параметрами? Ответ лежит в плоскости экономической целесообразности, подача перегретого теплоносителя позволяет передать с одним и тем же объемом воды гораздо большее количество тепла. Если температуру снизить, то придется увеличить расход теплоносителя, а следом существенно вырастут диаметры трубопроводов тепловых сетей.

Ранее для смещения воды устанавливали водоструйные насосы (гидроэлеваторы) нерегулируемые (рисунок 1, а) и регулируемые (рисунок 1, б). Существенным недостатком работы нерегулируемого гидроэлеватора является невозможность регулирования температуры смеси на выходе. Ведь что для этого нужно? Изменять при необходимости количество перегретого теплоносителя из сети и подсасываемой воды из обратки. Например, чтобы

температуру снизить, надо уменьшить расход на подаче и увеличить поступление теплоносителя через перемычку. Этого можно добиться только уменьшением диаметра сопла, что невозможно.

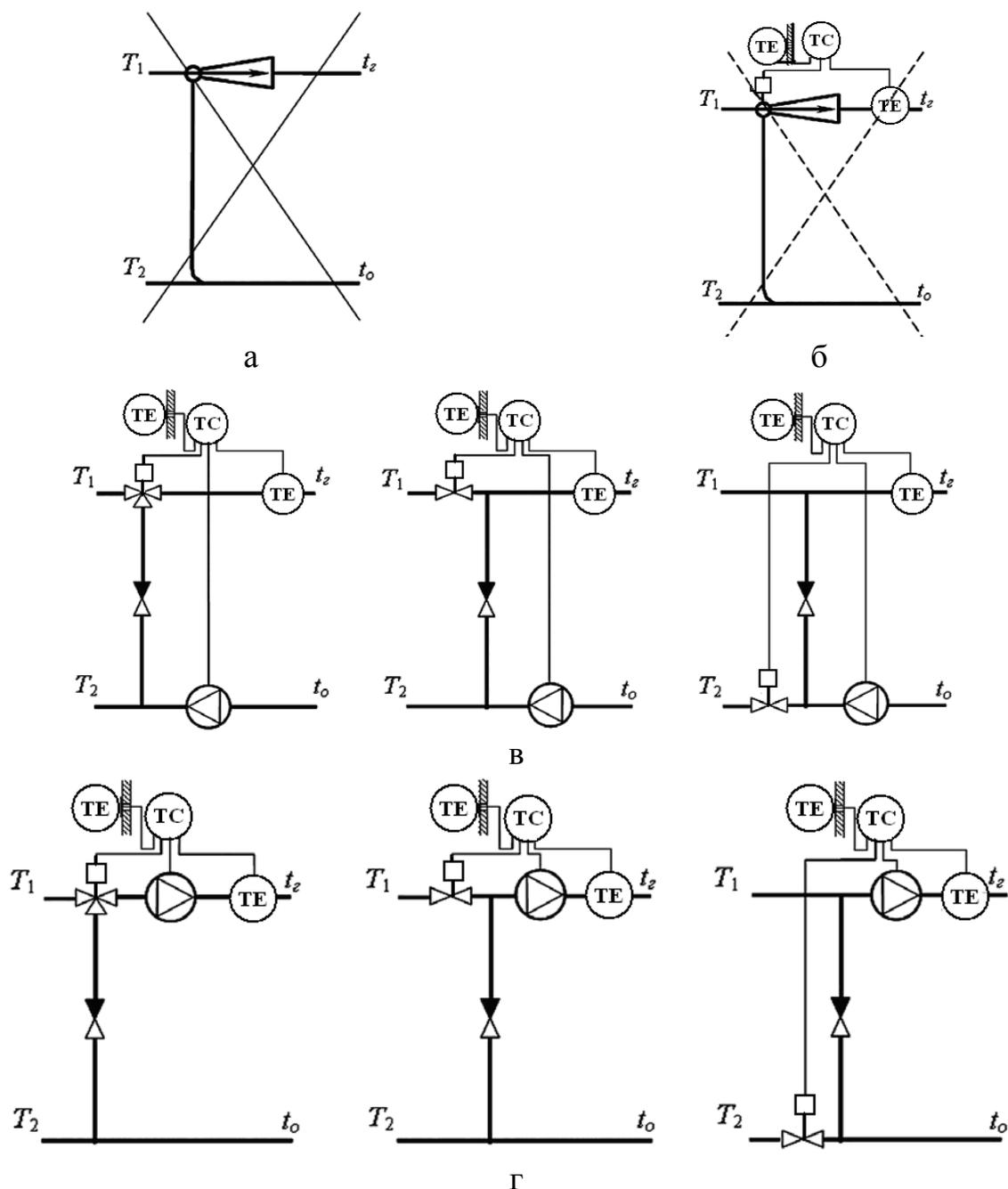


Рисунок 1 – Смешение теплоносителя в тепловом пункте при зависимом присоединении абонента: а – нерегулируемым гидроэлеватором; б – регулируемым гидроэлеватором; в – насосом на обратной магистрали и регулятором теплового потока с трехходовым либо двухходовым клапаном; г – насосом на подающей магистрали и регулятором теплового потока с трехходовым либо двухходовым клапаном

Проблему качественного регулирования помогают решить регулируе-

мые гидроэлеваторы с электроприводом. В них посредством механического привода, вращаемого электродвигателем, увеличивается или уменьшается диаметр сопла. Это реализовано за счет дроссельной иглы конусной формы, входящей в сопло изнутри на определенное расстояние. В данных системах регулирование возможно, но неэффективно.

Исходя из всего вышеизложенного, очевидно, что вследствие неработоспособности (перечеркнуто сплошными линиями) нерегулируемых и неэффективности (перечеркнуто пунктирными линиями) регулируемых гидроэлеваторов, в системах отопления с терморегуляторами в последнее время широкое распространение получили схемы с насосным смешением воды (рисунок 1, в, г).

Регулирование теплопроизводительности системы отопления при насосном смешении, является наиболее эффективным решением. В зависимости от показаний датчиков температуры ТЕ, установленных на подающей магистрали и на наружном воздухе, регулятор температуры ТС дает команду на электропривод двух- или трех-ходового клапана, изменяя расход сетевой воды и тем самым, изменяя температуру теплоносителя в системе отопления.

Изменяя теплопроизводительность системы отопления в зависимости от температуры наружного воздуха, решается важнейшая задача связанная с энергосбережением в данных системах без ухудшения качества внутренних параметров микроклимата.

#### Библиографический список:

1. Хорошев А.Н. Диспетчеризация индивидуальных тепловых пунктов / А.Н. Хорошев / Автоматизация и производство №2'12 – с. 16-18.
2. Терентьев С.В., Овсищев И.П. Построение систем диспетчеризации распределенных ИТП/ С.В. Терентьев С.В., И.П. Овсищев/ Журнал Стройпрофиль 6-07 – 2007.
3. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование/ В.В. Пырков / К.: И ДП «Такі справи», 2007. – 252 с.: ил.

УДК 721.011.8

## **ЦВЕТ В ИНТЕРЬЕРЕ**

**Дедюхина М.Н.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Осипов Ю.К.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Показана роль цвета в организации пространства жилых и подсобных помещений жилого дома. Цветовые сочетания оказывают на человека значительное воздействие, влияют на настроение, самочувствие, работоспособ-

ность. Умело используя свойства цвета, можно преобразить свой дом.

Ключевые слова: интерьер, цветовая гамма, цвет, пространство, дизайн, концепция.

Цветовое решение интерьера. Продуманная цветовая концепция – хорошая база для удачного оформления квартиры. Краски могут сделать помещение уютно-теплым, а могут придать ему холодновато-деловой вид, они могут стимулировать или успокаивать. Любому цвету ассоциируется в представлении человека с приятным и неприятным. Весной, летом, осенью и зимой – в каждое из времен года – природа является нам в других красках. Они складываются в сочетания, создавая определенное цветовое настроение, типичное для всего сезона. Таким образом, природное созвучие красок вполне уместно для оформления жилых помещений.

Все цвета так же, как и материалы, делятся на «теплые» (красный, оранжевый, желтый) и «холодный» (голубой, синий, фиолетовый). Теплые цвета действуют на человека стимулирующе, холодные – успокаивающе. При выборе цвета краски для стен помещений, обоев и отделочных материалов следует учитывать ориентацию помещений по сторонам света.

Цвет помещений, выходящих на юг и запад, должен быть холодным, так как сочетание теплого солнечного света с холодным цветом стен дает спокойный тон.

Комнаты, обращенные на север, освещаются более холодным, чем солнечный, рассеянным светом неба. В этих комнатах стены рекомендуется решать в теплых тонах. По восприятию цвета делят также на «тяжелые» (темные и теплые) и «легкие» (светлые и холодные). Наряду с эстетическим воздействием можно использовать и влияние красок на психику, что особенно актуально при обустройстве в собственных стенах. Психологическое воздействие на человека оказывает свойство цвета вносить иллюзорность в восприятие пространства, объемов и форм. Так, холодные цвета (голубые и синие) создают ощущение увеличения пространства, а теплые и темные (особенно коричневые) придают предметам материальность, прочность и зрительно уменьшают пространство.

На ощущение пространства большое влияние оказывают цветовые контрасты. Это контрасты различных цветов, различных яркостей (контрасты светлых и темных участков, например, в крайнем случае – черно-белый контраст). Контрасты могут быть раздражающими, например, цвета на полу и на стене, находящейся в поле зрения, так они могут вызывать мигание глаз и ощущение неуверенности. Контрасты в цвете (различные насыщенности) очень важны, так как они позволяют расставлять акценты и выделять центры внимания в помещении. При обустройстве интерьера важно соблюдать цветовые пропорции, т.е. какие площади занимает цвет в помещении. Цветовая гармония может быть достигнута, если соблюдать следующие правила:

-выбор доминирующего цвета можно сделать в соответствии с предполагаемым воздействием пространства;

- цвет стен в первую очередь определяет, какой будет казаться комната: теплой или холодной, возбуждающей или успокаивающей, стены теплых, глубоких цветов кажутся приближенными, а холодных светлых — зрительно удаленными;

- цветовую гамму пола следует подбирать в соответствии с размером комнаты и окружающих цветовых решений пространства, поскольку слишком светлые полы создают ощущение неуверенности, они вполне подходят для санитарного узла, а очень темные полы в больших помещениях могут повлиять на освещенность, в больших помещениях при отсутствии ярко выраженных акцентов для зрительного уменьшения поверхности можно использовать окантовку другого цвета;

- цветовое решение потолка зависит от высоты помещения и цветовых элементов в нем: светлые потолки зрительно увеличивают высоту помещения, если цвет стен более темный и теплый, для высоких потолков можно использовать более интенсивные цвета;

- каждый цвет должен встречаться в помещении несколько раз: цветовая гармония достигается, если в помещении использовать не более трех цветов;

- снижение насыщенности цвета должно соответствовать природному восприятию, которое улучшает не только видимость, но и ощущение окружающего пространства.

Психологи, дизайнеры, архитекторы подразделяют цвета в зависимости от их эмоционального воздействия на человека на хроматические (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый, пурпурный, коричневый) и ахроматические (черный, серый, белый).

Каждый цвет способен оказывать особое психологическое воздействие, например, красный и оранжевый цвета возбуждают, повышают работоспособность человека. Желтый цвет ассоциируется с солнечным светом и способствует хорошему настроению, бодрости. Зеленый цвет успокаивает, не утомляет и способствует увеличению работоспособности. Голубой и синий цвета снижают активность жизненных процессов и работоспособность. Коричневый цвет успокаивающий, он создает ощущение тепла, прочности материала, но при избытке действует угнетающе. Черный цвет - мрачный, тяжелый, ухудшает настроение. Серый цвет вызывает скуку и апатию, белый - пустоту, сдержанность, скромность, благородство.

С помощью цвета можно создать в интерьере различные эмоциональные настроения, но это в том случае, если в основе обустройства жилья лежит определенная цветовая концепция, которая в свою очередь базируется на теории времен года с точки зрения цветовой гаммы. С её помощью можно детально спланировать цветную организацию или переорганизацию квартиры. Отпуская подробности цветовой теории (она подробно изложена в специальной литературе) приведем цветовые рекомендации для некоторых помещений.

Прихожая и лестница – эта часть жилища должна составлять хороший переход снаружи внутрь дома, не утрачивая при этом атмосферы всей квар-

тиры. Идеально такое цветовое решение, которое было бы приветливым и приглашающим. Однако не располагало бы к долгому пребыванию здесь. Надо предусмотреть также, чтобы гость не споткнулся о порог или лестницу. Для этого все уступы, пороги, ступени должны быть выделены каким-то заметным цветом. Лучше всего для этого подходят желтый или красный. Т.е. для прихожей или лестницы оптимальные времена года с точки зрения цвета - осень и весна. Красный и желтый здесь основные цвета. Они при применении сильных тонов воздействуют бодряще.

Гостиная (общая комната) — цветовое решение гостиной должно в одних случаях способствовать созданию ежедневной спокойной комфортной обстановки, в других - явно праздничной, поэтому нельзя дать каких-то общих рекомендации с точки зрения цветовой теории года - уж очень велик разброс требований к предназначению гостиной.

Спальня — для этого помещения предпочтительнее всего цвет, который действовал бы успокаивающе и возбуждающе. Тихому требованию отвечает голубой цвет в сочетании с красным. Голубой, как правило, действует на тело и психику. Для оживления и создания уютной атмосферы — в зависимости от интенсивности — может служить дополнительный красный, в интенсивных нюансах он действует возбуждающе, поэтому лучше всего применять его в смягченных вариантах — например в виде абрикосового или красно-коричневого. Зеленый понижает чувствительность к шуму, поэтому его лучше всего применять для спальни в шумных районах города.

Оптимальное время года для спален - осень или весна. Общее воздействие землистых цветов лучше всего располагает к расслаблению. Абрикосовый, красно-коричневый или ржавые тона создают в помещении уютное настроение. Они хорошо комбинируются с осенним или весенним голубым, при этом общее настроение не становится холодным.

Кухня, ванная - выбор цвета зависит от того, являются ли эти помещения чисто функциональными, в которых только готовят пищу или моются, или это должны быть уютные помещения, где вы охотно проводите время. Оптимальное время года - зима и лето. Их свежие прохладные цвета с голубоватой основой придадут кухне аппетитный вид, располагающий к приготовлению и хранению пищи. Ванная комната в летних красках выглядит очень «косметично», а зимняя ванная — скорее мужского назначения и подчеркнута гигиенично.

Столовая — оптимально для нее веселые оживленные тона, прежде всего желтый. Этот цвет стимулирует работу желудка, настраивает на общительный лад, оптимальное время года по цвету, весна, и также лето, осень. Во всех этих временах года желтый цвет вполне может играть ведущую роль. Комбинируя летний желтый цвет с каким-либо другим подходящим оттенком, можно добиться в оформлении столовой весьма благоприятного звучания. Не так благоприятно для столовой зимнее настроение.

Детская комната — осознанный подход к выбору цвета особенно важен

для детской комнаты. Этот выбор должен отвечать нескольким требованиям:

- соответствовать душевным запросам детей;
- снижать потолок раздражителей;
- стимулировать развитие способностей и творчества детей.

В зависимости от возраста дети проявляют ярко выраженные склонности, которые должны быть учтены при оформлении комнаты. Примерно до девяти лет самый предпочтительный цвет — красный, от девяти до одиннадцати предпочтительными становятся оранжевый, желтый и, наконец, зеленый. Зеленый можно получить, смешав желтый с синим. Ребенок все больше учится применять собственный рассудок и разум, и это развитие в сторону абстрактного мышления соответствует синему цвету. Этот цвет становится предпочтительным лет с двенадцати. Оптимального решения, с точки зрения цветовой теории времен года, здесь нет. Но ясно одно: в детской комнате должно царить ясное и однозначно приветливое цветовое настроение, чтобы ребенка не перевозбудить и не отвлекать, рекомендуется такие обширные поверхности, как стены и пол, оформлять в светлых сдержанных тонах, меньшие площади, такие как гардины, подушки или покрывала, напротив, в сильных тонах. Мебель, столы для игр и для работы должны быть по возможности нейтральными, лучше из натурального дерева. Дело в том, что игрушки или школьные принадлежности, как правило, очень яркие. И они легко могут на ярком столе создать дисгармонию, которая будет нервировать ребенка. Цветовые пристрастия ребенка надо уважать, он выражает ими свои эмоциональные потребности. При помощи умелого выбора цвета можно положительно повлиять на развитие определенных черт характера.

#### Библиографический список

1. Осипов Ю.К., Микрюков В.Р. Проектирование малоэтажного жилища: Учеб. пособие / СибГИУ – Новокузнецк, 2006- 356с.
2. Г. Ватерман. Дизайн вашей квартиры. – М. : АОЗТ «Кристина и К», 1994.

УДК 728.2.011.27

## **ЖИЛОЙ КОМПЛЕКС С БЛОКОМ ПОВСЕДНЕВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В НОВОКУЗНЕЦКЕ**

**Курачева М.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Осипов Ю.К.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Многофункциональный жилой комплекс — это ансамбль зданий, в котором кроме обычных жилых квартир имеются в наличии площади, предназначенные для осуществления коммерческой деятельности, то есть нежилые

помещения. В нашей стране пока только единичные жилые комплексы могут носить название действительно многофункциональных, предлагающих своим обитателям не только жилые квартиры, но и развитую инфраструктуру.

Ключевые слова: многофункциональный, комплекс, жилье, инфраструктура.

По методу застройки многофункциональные жилые комплексы можно разделить на два основных вида: - Возводимые в центре города, так называемые вертикальные многофункциональные жилые комплексы;

Многофункциональные комплексы, возводимые в центральных районах мегаполиса, где земельные участки необычайно дороги, стремятся разместиться на достаточно небольшой территории максимум полезной площади, то есть максимально увеличивают высотность. - Расположенные за пределами городской черты, горизонтальные комплексы.

Горизонтальные многофункциональные комплексы располагаются в основном на периферии, на окраинах мегаполисов, обладают достаточно большой территорией, благодаря чему у застройщика нет необходимости увеличивать этажность зданий.

При разработке проекта высотных зданий необходимо учитывать вопросы комплексной безопасности, управления и мониторинга, противопожарные, санитарно-гигиенические требования.

Актуальность проблемы в городе Новокузнецк усиливает суровый климат, где зимой температура наиболее холодной пятидневки - 39 °С.

В рамках курсового проектирования на кафедре архитектуры СибГИУ была проведена опытно-конструкторская работа по созданию жилого комплекса в Новокузнецке. Перед автором стояла задача спроектировать жилой комплекс с максимально комфортным для жизни жильем и блоком повседневного обслуживания. Комплекс состоит из двух симметричных 16-этажных домов, четырнадцать из которых – жилые. Первые два этажа занимают офисные и торговые помещения.

Между жилыми корпусами размещается 2-х этажный блок торгового обслуживания (рисунок 1).



Рисунок 1 – Жилой комплекс

Жилой комплекс оборудован детскими игровыми площадками, как для детей в возрасте от 1 до 3 лет, так и для детей постарше в возрасте от 3 до 7 лет. Также есть парковая территория для прогулок родителей с маленькими детьми в возрасте до 1 года (рисунок 2).



Рисунок 2 – Вид со двора

Функциональное наполнение комплекса предусматривает две функции: Жилая и общественная. В состав жилой входит: 28 однокомнатных квартир, 28 двухкомнатных и 28 трехкомнатных (рисунок 3).

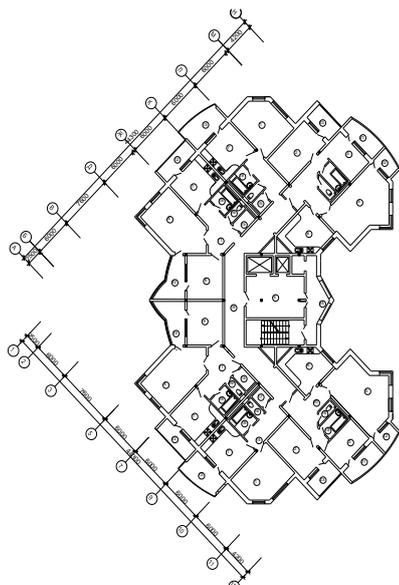


Рисунок 3 – План типового жилого этажа в осях

Главное достоинство жилого комплекса заключается в близком расположении блока обслуживания (в пределах 100 м). С точки зрения архитектурного решения здание комплекса является завершающей доминантой в окружающей застройке.

#### Библиографический список

1. Архитектурное проектирование жилых зданий. Учебное пособие / Под ред. М.В. Лисициана и Е.С. Пронина. – М.: Архитектура – С, 2006.

Шродер У. Вариантная планировка домов и квартир. – М.: Стройиздат, 1984.

2. СП 54.13330.2011. Свод правил. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 Минрегион России. – М., 2011.

3. СП 31-107-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий. Госстрой России. – М., 2004.

УДК 644.1

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ**

**Ковальчук В.С., Баклушина И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baclushina.iv@gmail.com*

Рассмотрены мероприятия по энергосбережению в системах отопления жилых домов,

Ключевые слова: энергосбережение, экономия, отопление, солнечная энергия, энергетические ресурсы.

Энергосбережение или экономия энергии, представляет собой реализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на рациональное использование энергетических ресурсов. В настоящее время наиболее насущным является бытовое энергосбережение, а также энергосбережение в сфере ЖКХ. Жилищно-коммунальный сектор является одним из основных потребителей теплоэнергетических ресурсов страны. Накопленные проблемы в трубопроводных системах жилых домов могут значительно снижать их энергоэффективность [1,2,3]. В большинстве регионов приняты программы энергосбережения, в той или иной степени направленные на экономию тепловой энергии в жилищно-коммунальный сектор. К настоящему времени имеются достаточные методические наработки по проведению оценки и реализации потенциала энергосбережения в системах жилищно-коммунального хозяйства, что позволит ввести в строй миллионы квадратных метров новостроек без дополнительных источников тепла. Действующие в настоящее время строительные нормы требуют установки у нагревательных приборов систем отопления термостатических клапанов, которые автоматически поддерживают в помещении постоянную, заданную потребителем, температуру. Это экономит до 20 % тепла за счет использования теплоступлений от солнечной радиации, бытовых и производственных тепловыделений. Современными системами можно условно назвать системы, оснащенные термостатами [4].

Чтобы достичь эффекта энергосбережения при строительстве жилья, есть особые мероприятия, которые помогут снизить энергопотребление:

1. Уменьшение потерь тепла, через ограждающие конструкции здания с помощью архитектурных решений, утепления наружных стен, перекрытий чердаков и подвалов; использования стеклопакетов;

2. Уменьшение потерь тепла через вентиляционные каналы, открытые окна, если перейти к системам управляемой приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и утилизацией тепла вентиляционных выбросов;

3. Использование прочих методов, которые могут экономить электрическую энергию (датчики движения, энергосберегающие светодиодные лампы и прочее);

4. Обязательный учет всех видов энергии, которая поступает в многоквартирный жилой дом;

5. Использовать энергию, накопленную в окружающей среде (грунт, водоем или воздух), на нужды нагрева (отопление, горячее водоснабжение) путем установки теплового насоса;

6. Производить тепловой энергии солнца, установка солнечного коллектора; установки солнечных батарей;

В течении эксплуатации энергоэффективных многоквартирных жилых зданий, видно, что в домах, реализуются мероприятия по сбережению энергии, проживающие там жители экономят на оплате тепла, горячей воды и электроэнергии в сравнении с обычными жилыми домами. И поэтому, более высокие затраты на создание и проведение энергосберегающих мероприятий, окупаются в течении 5-8 лет, с условиями, что создаются другие дополнительные комфортные условия проживания для граждан. Успешный опыт строительства, капитального ремонта и эксплуатации подобных домов послужил подтверждением правильности акцента на применение самых современных технологий строительства и энергосбережения [5].

Также следует отметить современные тенденции развития отопительных систем в первую очередь – это энергосбережение и индивидуальный учет расходования тепловой энергии. Первое направление связано с индивидуальным регулированием теплоотдачи нагревательных приборов и, таким образом, температуры воздуха в помещениях. Достигается такое регулирование установкой термостатов, конструктивное исполнение которых может быть различным, но всегда дающим возможность поддержания различного значения температуры воздуха в помещениях (ночной, дневной, дежурной). Сюда же следует отнести и рекуперацию теплоты удаляемого воздуха. Для этих целей могут служить воздух-воздушные теплообменники, в которых наружный воздух подогревается уходящим. Такие рекуператоры могут быть центральными или индивидуальными. При этом принятая канальная, естественная, вытяжка должна быть заменена на принудительную приточно-вытяжную вентиляцию [6]. Можно сделать вывод: что с учетом методов энер-

госбережения при возведении, реконструкции жилых домов, является выгодным для как экономической стороны, так и для экологической. Благодаря большому выбору современных приборов энергосбережения, можно выбрать соответствующий по индивидуальным характеристикам.

#### Библиографический список

1. Баклушина, И.В. Проблемы энергосбережения в системах теплоснабжения / Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах IX Международная научно-практическая конференция: сборник трудов. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Северо-Западный филиал "Веза-Санкт-Петербург", Общество "Знание" России, Приволжский дом знаний; под ред. А. И. Еремкина, Т. И. Королевой. – Пенза, 2008. – С. 57-59.

2. Баклушина И.В. Обследование системы отопления многоквартирного жилого дома / Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т. : под общей редакцией И.В. Зоря, А.Ю. Столбоушкина, А.А. Оленникова . – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – С. 215-217.

3. Баклушина И.В. Проблемы внутридомовых систем водоснабжения на примере многоквартирного жилого дома / Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т. : под общей редакцией И.В. Зоря, А.Ю. Столбоушкина, А.А. Оленникова . – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – С. 217-220.

4. Наумов Л.А. Оценка расхода теплоты на отопление и вентиляцию в жилых зданиях. Журнал «АВОК» –№8–2007–Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3813](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3813), свободный. – Загл. с экрана.

5. Савранский А. А. Достижение эффекта энергосбережения при возведении жилых домов. Журнал «Энергосбережение» –№4–2015– Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6151](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6151), свободный. – Загл. С экрана.

6. Коркин В.Д. Система отопления и их возможности. Журнал «АВОК» –№6–1998– Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=89](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=89), свободный. – Загл. с экрана.

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, КОМПОЗИЦИЯ И СТИЛЬ ГОРОДСКИХ НАБЕРЕЖНЫХ**

**Бгавина А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ершова Д.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: krissleto2194@gmail.com*

В городах Сибири основная часть городской застройки находится в непрерывном развитии, в то время как берега рек зачастую остаются нетронутыми. Рассмотрены и проанализированы особенности функциональной и композиционной организации набережных крупных городов. Выявлены основные этапы алгоритма проектирования. Предложены рекомендации к проектированию набережной реки Томь в г.Новокузнецк

Ключевые слова: набережная, композиция набережной, функциональная организация набережной.

На всём протяжении истории градостроительства известно, что большинство прибрежных городов имели характерный облик береговой линии [2]. Большую роль в этом играли застройка и ландшафтная организация прибрежной полосы, в связи с этим каждая береговая территория получила свой характер: оборонительный, деловой, транспортный, ландшафтный и т.д.

Примером прибрежной территории оборонительного назначения, существовавшей ещё в античные века, можно назвать столицу Ассирии – Ниневию расположившейся на реке Тигр. Береговая территория представляла собой узкую полосу земли у стен, выстроенных с максимальным приближением к воде, обеспечивая тем самым оборону города.

Примером ландшафтной набережной служит прибрежная территория Тибра в Риме. В древнем Риме все сооружения были теснейшим образом связаны с природной средой. она представляла собой подпорные стенки образующие одноярусные набережные с пышной растительностью.

Берега Лондона вправе считать прибрежной территорией с ярко выраженным деловым характером. Вдоль берега строились промышленные предприятия и тепловые электростанции.

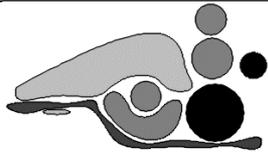
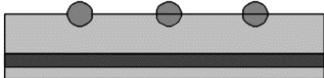
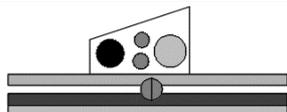
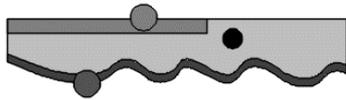
На Руси гидротехнические сооружения известны с конца X века [1]. Так к XVI веку в Москве появляется первая набережная с подпорной стенкой из известнякового камня расположенная в районе современного Зарядья.

В середине XVIII века при строительстве Петербурга появляются знаменитые набережные Невы. Их подпорные стенки были облицованы гранитным камнем. Причалы представляли собой сооружения, объёмно-планировочные решения, которых теснейшим образом были связаны с окружающей застройкой.

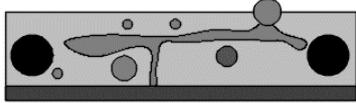
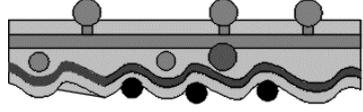
Таким образом, анализ исторического развития прибрежных территорий, показывает, что во все времена прибрежные территории насыщались теми функциями и сооружениями, которые играли наиболее важную роль в жизни города на тот момент.

Современный опыт проектирования набережных прибрежных городов богат и разнообразен на интересные идеи, которые можно свести в таблицу 1.

Таблица 1 - Анализ функционального зонирования, методов и приёмов проектирования набережных

№	Расположение объекта	Изображение	Функциональная схема
1	Торонто, Канада		
	Стилистика и особенность	Плавные, криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	2ух уровневое решение: 1ый - активный отдых, 2ой – пассивный отдых. Много зелени.	
	Функции	Паром, дип, скалодром, велодорожки, плавучий остров, променад.	
2	Тель-Авива, Израиль		
	Стилистика и особенность	Преобладают плавные, криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	Открытое минималистическое пространство, очень мало растительности.	
	Функции	Променад, велодорожки, пляж.	
3	Рига, Латвия		
	Стилистика и особенность	Преобладают прямые линии.	
	Решение ландшафта	Открытое пространство, один уровень.	
	Функции	Променад, велодорожка, пляж, кафе.	
4	Жанжинганг, Китай		
	Стилистика и особенность	Преобладают плавные, криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	Решено в несколько уровней, имеется транзитная зона в виде мостов.	
	Функции	Променад, открытая концертная площадка.	

Продолжение таблицы 1

№	Расположение объекта	Изображение	Функциональная схема
5	Москва, Россия		
	Стилистика и особенность	Преобладают плавные, криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	Одноуровневое, присутствуют пандусы, горки для велосипедов, много зелени.	
	Функции	Променад, открытая концертная площадка, велодорожки, фонтаны.	
6	Стокгольм, Швеция		
	Стилистика и особенность	Преобладают плавные, криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	Поверхность площади приподнята для обеспечения доступа к строениям, расположенным на разных уровнях.	
	Функции	Променад, открытая концертная площадка, велодорожки, дип, зона спорта, пляж.	
7	Бенидорм, Испания		
	Стилистика и особенность	Плавные криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	Многоярусная набережная, решена разнообразием красок.	
	Функции	Променад, ботанический сад, пляж.	
8	Квебек, Канада		
	Стилистика и особенность	Преобладают плавные, криволинейные формы.	
	Решение ландшафта	Многоярусная набережная. Показывает, как можно избежать однообразия ландшафта.	
	Функции	Извилистый променад, культурный, спортивный, гостиничный центр, смотровая вышка, пляж.	

Таким образом, проанализировав схемы функционального зонирования набережных в таблице 1 можно сделать следующие выводы.

Для большинства набережных характерна: линейная композиция с 1-ой или 2-мя доминантами, чаще они располагаются в концах набережной,

создавая акценты, придающие ее ансамблю законченность и архитектурную выразительность.

В качестве доминант могут выступать: торговые, развлекательные и культурные центры, паромы и площади общественных мероприятий. Обязательно присутствуют такие функциональные зоны как: променад и зона пассивного отдыха. В некоторых случаях появляются: зона для проведения общественных мероприятий, пляж и зона активного отдыха.

Проанализировав подходы к организации пространств набережных, приведенных в таблице 1 можно сделать следующие выводы:

- на формирование архитектурной среды набережных оказывают влияние: климатические, экологические, а также культурные факторы;

- функция набережной может быть различной, но основной является рекреационная функция;

- ландшафт набережной решается преимущественно в несколько уровней с максимальным озеленением, но может быть так же решен с помощью открытых минималистичных пространств, в полной мере выполняющих рекреационную функцию;

- в большинстве случаев в геометрию архитектурного облика набережных формируют плавные криволинейные формы, очень редко прямолинейные;

Для повышения комфортности и удобства пользования рекреационными зонами набережных необходимо:

- создавать навесы для укрытия от солнца и непогоды;

- создавать искусственные поверхности, смотровые площадки над водным пространством для доступа к воде.

По результатам исследования разработан обобщенный алгоритм для проектирования набережной. Приведенный на рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм проектирования набережной

С помощью предложенного алгоритма, при учете климатических факторов и особенностей ландшафта, выполнен анализ и разработаны основные рекомендации к проектированию набережной реки Томь в городе Новокузнецк, которые включают в себя следующее:

- схему функционального зонирования набережной в г. Новокузнецке рекомендуется принимать линейной с двумя доминантами, завершающими набережную;

- для привлечения горожан следует создать культурно-развлекательный комплекс, что поможет разнообразить их отдых, поднять культурный и творческий потенциал населения;

- архитектурный образ культурно развлекательного комплекса должен

быть оригинальным, и иметь развитый функционал;

- необходимо организовать беспрепятственные подходы к набережной, со стороны городской застройки, от зон, связанных с жилой застройкой и ее дорожно-тропиночной сетью;

- в связи с тем, что зона набережной в г. Новокузнецке имеет большую продолжительность и ширину, необходимо расчленить ее пространство при помощи нескольких ландшафтных уровней, с различной функцией;

- при благоустройстве набережной в г. Новокузнецке следует предусмотреть различные варианты контакта посетителей с водой, например, организация ступеней к воде (обустройства мест отдыха, формирование из них амфитеатра), размещение на водной поверхности плавучих платформ, приподнятых смотровых площадок;

- для стимулирования различных социальных, массовых, спонтанных и запланированных мероприятий на открытом воздухе, необходимо организовать разнообразные места для сидения, общения, работы и отдыха, адаптируемые под различные ситуации;

- сформировать богатую эстетически среду и микроклиматических комфорт, пребывания в рекреационных пространствах набережной с помощью элементов озеленения и малых архитектурных форм;

- в отделке зон и архитектурных форм набережной следует отдавать предпочтение высококачественным и долговечным материалам, пригодным для влажной прибрежной среды, требующих минимального обслуживания, способных выдерживать условия перепадов температур и многократную заморозку в суровых условиях континентального климата г. Новокузнецка;

Набережные в городах — достаточно знаковые места. Учитывая результаты исследования посещаемости рекреационных зон городских территорий, можно прийти к заключению, что городские набережные — это одни из самых посещаемых мест, с которыми могут сравниться только центральные парки. Поэтому реконструкция набережной в г. Новокузнецке может стать для города действительно заметным событием, знаком кардинальных перемен и улучшений. Начинать менять городскую среду именно с набережных — во всех отношениях правильный ход.

#### Библиографический список

1. Денисов, М.Ф. Набережные. – М.: СтройИздат, 1982.
2. Градозэкологические принципы развития прибрежных зон : на примере крупных городов Поволжья : автореферат дис. ... кандидата архитектуры : 18.00.04 / Литвинов Денис Владимирович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2009. - 20 с

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЧИЛЛЕРОВ И ФАНКОЙЛОВ В СИСТЕМАХ СОЗДАНИЯ МИКРОКЛИМАТА**

**Белоусов И.А**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Зоря И.В**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, zorya.i@mail.ru*

В статье проанализированы разные методы в оптимизации работы и различные типы чиллеров и фанкойлов, из которых выбраны самые подходящие для Сибирского региона. Цель работы: расширить знания в работе системы, выявить насколько оптимально, энергоэффективно будет внедрение дополнительных улучшений в систему.

Ключевые слова: Чиллер, фанкойл, оптимизация, аккумулятор, грунтовые воды.

Система чиллер-фанкойл занимает особое место среди большого разнообразия оборудования для кондиционирования помещений. Главное предназначение системы заключается в формировании оптимального микроклимата внутри помещений и круглогодичном, бесперебойном поддержании заданных температурных показателей. Совместная работа чиллера-фанкойла зарекомендовала себя с отличной стороны и становится одним из самых востребованных решений при организации эффективной вентиляции и кондиционирования зданий и помещений. Система чиллер-фанкойл - централизованная, многозональная система кондиционирования воздуха, в которой теплоносителем между центральной охлаждающей машиной (чиллером) и локальными теплообменниками (узлами охлаждения воздуха, фанкойлами) служит охлажденная жидкость, циркулирующая под относительно низким давлением - обыкновенная вода [1].

Если рассматривать фанкойлы, то они подразделяются на 1) Кассетные однопоточные; 2) Кассетные четырехпоточные; 3) Потолочные; 4) Настенные; 5) Напольные; 6) Канальные низконапорные; 7) Канальные средненапорные; 8) Канальные высоконапорные [2]. Исходя из климатических условий Сибири, где температура может опускаться до  $-50^{\circ}\text{C}$ , самым разумным вариантом будет использовать фанкойлы напольного типа, устанавливаемого под окном, либо встраиваемый в перфорированный пол.

Чиллеры различных типов с дополнительными установками представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики холодильных станций различных типов

Вариант ХС	Тип холодильной станции	Относит. стоимость*, %	СОР** холодильной станции	Мин.уровень звукового давления снаружи, дБА	Мин. наружная температура, °С	Возможность встраивания системы free-cooling	Рекомендации по применению, примечания
1	Чиллер с воздушным охлаждением конденсатора	100	2,8	62	+5	Нет	ограниченный бюджет - охлаждение требуется только в летний период
2	Чиллер с воздушным охлаждением конденсатора +теплообменникгликоль/вода	130	2,3	62	-20	Да	охлаждение требуется только в летний и переходные периоды - возможность встроить систему свободного охлаждения
3	Чиллер со встроенной системой свободного охлаждения и теплообменником гликоль/вода	140	2,3	68	-40	Встроена	требуется круглогодичное охлаждение (технология, серверные и др.), при отрицательных наружных температурах воздуха работает как градирня (потребление энергии в 10 раз меньше)
4	Чиллер с выносным конденсатором	140	2,7	40	-20	Нет	охлаждение требуется только в летний и переходные периоды
5	Чиллер с водяным охлаждением конденсатора + закрытая градирня	160	3,0	40	-40	Да	круглогодичное охлаждение - возможность встроить систему свободного охлаждения
6	Центробежный чиллер + испарительная градирня	90	4,8	55	-30	Нет	большие ХС (> 2 мВт) - экономия электроэнергии - низкие капитальные затраты

Из данного списка для климатических условий Сибири самым предпочтительным выступает чиллер с водяным охлаждением конденсатора. В его пользу можно также привести следующие достоинства:

- высокая энергетическая эффективность;
- нет угрозы размораживания;
- круглогодичный режим работы (до  $-45^{\circ}\text{C}$ ),
- низкий уровень шума снаружи (определяется подбором градирни)
- уменьшение нагрузки на кровлю;
- защищенность чиллера;
- режим свободного охлаждения встраивается с минимальными затратами добавляется только теплообменник гликоль/вода),
- нет ограничений по расстоянию между чиллером и градирней;
- нет необходимости в сложном сезонном техническом обслуживании.

К минусам можно отнести только удорожание системы по сравнению с первым вариантом примерно на 60 % [3].

В дальнейшей научной работе его и будем использовать для расчета.

Теплоноситель поступает в чиллер, где охлаждается/нагревается до определенной температуры. Далее, насосами по трубопроводам гидравлической системы он поступает в фанкойлы, и, проходя через их теплообменники, охлаждает воздух, при этом температура самого теплоносителя повышается. Пройдя все фанкойлы, холодоноситель возвращается в чиллер, где вновь охлаждается. Такая система потребляет много электроэнергии, а также чиллер может выйти из строя и система перестанет функционировать. Проявляется вопрос: как можно сэкономить на электроэнергии, стоимости оборудования и в случае остановки чиллера – поддерживался оптимальный микроклимат в помещении?

Рассмотрим работу действующей системы в Англии как наиболее прогрессивную. За рубежом используется довольно эффективный способ – использование холода грунтовых вод. В качестве яркого примера использования такой системы – здание администрации Большого Лондона. Однако там используется только грунтовая вода, насосы, холодные балки. Чиллеры не используются вовсе, ледяная вода напрямую подается к холодным балкам. Такая система обеспечивает экстремальную экономию электроэнергии и обеспечивает предельно высокий комфорт, однако для такого способа объем земляных работ довольно велик. Потому в России интерес к такой системе довольно мал [4]. Однако идея состоит в том, чтобы совместить одновременно и использование грунтовых вод, а также систему чиллер-фанкойл. На случай выхода из строя чиллера или отключения электроэнергии грунтовая вода уже имеет низкую температуру, а потому можно использовать её без дополнительного охлаждения для поддержания микроклимата. Также это может помочь с уменьшением мощности оборудования, скажем вместо чиллера мощностью 1000 кВт можно использовать мощностью 700 кВт. После прохождения чиллера холодоноситель может снова смешиваться с грунтовой водой в малых количествах и поступать на фанкойлы. В этом случае глубина скважины необязательно долж-

на быть большая и мощность насоса невелика. Ибо подключать и использовать грунтовую воду постоянно необязательно. В случае, если чиллер начинает не справляться с поддержанием микроклимата из-за высокой температуры окружающей среды, можно использовать больше грунтовой воды. Однако могут возникнуть трудности с согласованием использования грунтовых вод, а также предстоит большой объем земляных работ. Потому такой способ нужно готовить заранее, еще на стадии проектирования.

Конечно, тогда появляется лишняя вода, которую можно начать накапливать в бак-аккумулятор.

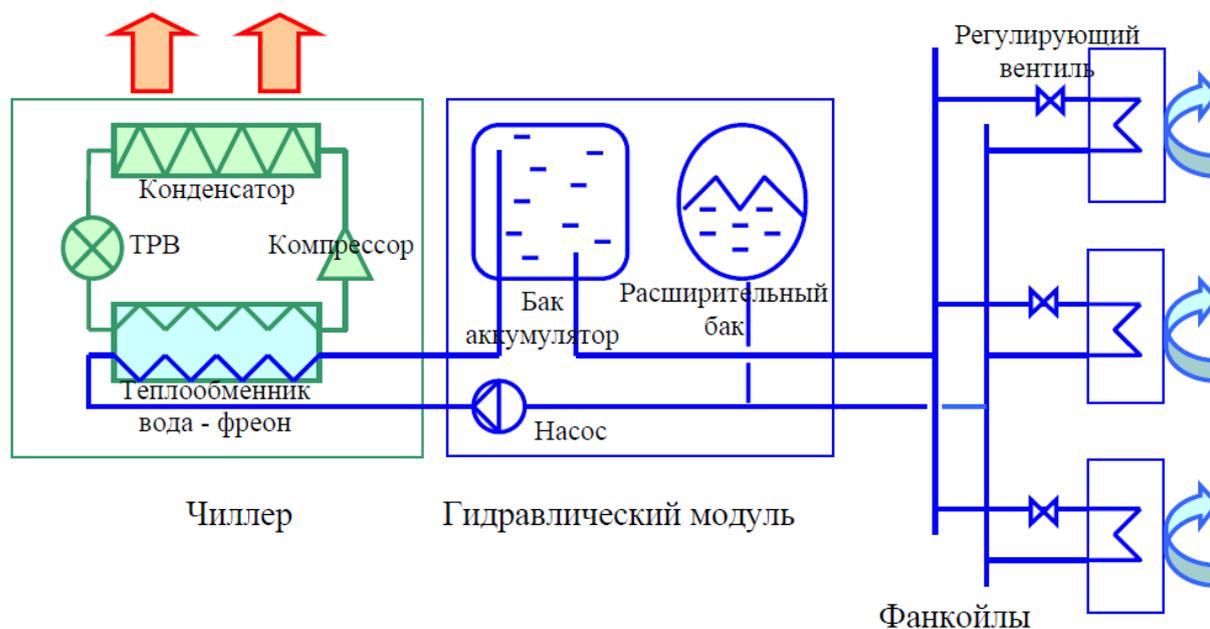


Рисунок 1 - Схема системы чиллер-фанкойл с возможностью установки бака-аккумулятора

Такой бак-аккумулятор устанавливается в техническом помещении, где накапливает холод (особенно ночью), а утром может постепенно отдать его в систему в дополнении к чиллеру. Получается, что бак-аккумулятор будет помогать чиллеру утром, а грунтовая вода днем-вечером, а также в случае поломки охлаждающей машины. В таком случае, прошедшая и нагретая через фанкойлы вода уходит в бак-аккумулятор. Также использование бака-аккумулятора позволит уменьшить подводимое электричество, но потребуются значительная площадь технического помещения[5]. Однако система чиллер-фанкойл может работать не только на кондиционирование помещения летом, но и на обогрев в зимнее и переходное время года. Следовательно, в этот же бак-аккумулятор нужно встроить нагреватель, который будет хранить тепло ночью, а утром отдавать тепло в помощь чиллеру (рисунок 1).

Исходя из всего вышесказанного, в выпускной магистерской работе будет просчитана энергоэффективность работы бака-аккумулятора для условий Сибирского региона, а также энергоэффективность использования грунтовых вод и этого же бака для кондиционирования в теплое время года Си-

бири при использовании фанкойлов напольного типа, встраиваемого в перфорированный пол и чиллера с водяным охлаждением.

#### Библиографический список

1. Система чиллер-фанкойл. Электронный ресурс. – режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/система\\_чиллер-фанкойл](https://ru.wikipedia.org/wiki/система_чиллер-фанкойл)
2. Система чиллер-фанкойл. Электронный ресурс. – режим доступа: [https://dantex.ru/articles/sistema\\_chillerfankojl/](https://dantex.ru/articles/sistema_chillerfankojl/)
3. Современные системы кондиционирования воздуха. Электронный ресурс. – режим доступа: <http://www.atek.ru/publication/sovremennyye-sistemyi.html>
4. Рейтинг «зеленых» технологий в России. Электронный ресурс. – режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/8255>
5. Как работает система чиллер-фанкойл. Электронный ресурс. – режим доступа: <http://venteler.ru/kondicionirovanie/sistema-chiller-fankojl.html>

УДК 621.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕКОЙ РАБОТЫ КОТЛОВ, ОБОРУДОВАННЫХ РЕТОРТНЫМИ ГОРЕЛКАМИ

**Борисова Ю.С.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Башкова М.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: mn419@mail.ru*

В работе проанализирована применимость ретортных горелок для использования каменных углей.

Ключевые слова: ретортные горелки, пеллетные котлы

В котельных агрегатах малой производительности для систем отопления и горячего водоснабжения применяются горелки различных типов, в том числе и пеллетные, где в качестве топлива используются пеллеты (топливные гранулы).

Существуют следующие разновидности пеллетных горелок: ретортные пеллетные горелки (они же горелки объемного горения), факельная горелка и горелка «каминного типа». Все горелки имеют общий принцип работы. Главным отличием между ними является направленность подачи топливных гранул и забора воздуха для горения [1].

Следует сказать то, что горелки «каминного» типа практически не используется в промышленных целях из-за своих размеров и необходимости очень точной настройки горелки [2].

Основным преимуществом факельных горелок является их компактный размер, позволяющий использовать устройства данного типа со многи-

ми моделями твердотопливных котлов. В этом случае переход с дровяного отопления на пеллетное осуществляется без замены котла. Преимущества данных горелок: простота конструкции, надежность, компактный размер, простота обслуживания и низкие требования к качеству пеллет. Недостатками по сравнению с горелками объемного горения являются: меньшая мощность и эффективность, а так же более быстрый износ стенок топочной камеры котла за счёт неравномерного нагрева [3].

Пеллетные горелки объемного горения являются наиболее мощными и эффективными устройствами данного типа. КПД котла с такой горелкой может достигать 95 %, поэтому специальные котлы для сжигания пеллет обычно оборудованы встроенной горелкой объемного горения. Преимущества таких горелок это мощность и эффективность, а недостатки: большой размер, сложная конструкция, высокие требования к качеству топлива [3].

Промышленные котлы на пеллетах условно можно разделить на 2 вида котельного оборудования: 1) сами пеллетные котлы; 2) комбинированные пеллетно-угольные котлы.

Пеллетные котлы способны сжигать в автоматическом режиме только пеллеты и никакое другое топливо. Камера сгорания пеллетных котлов небольшая, теплосъем происходит в многоходовой конвективной части котла (70%). В такой конструкции котла температура уходящих газов всего 100 – 200 °С, т.е. чем меньше температура уходящих газов, тем больше КПД агрегата и тем больше тепловая экономичность котла. Повышение КПД пеллетного котла добиваются установкой горелки объемного типа. В результате КПД пеллетного котла больше, чем других твердотопливных котлов, она сравнима по эффективности с котлами на природном газе [4].

Таким образом, можно выделить следующие достоинства пеллетных котлов [5]:

- Горелки объемного типа обеспечивают высокий КПД котла, в результате чего, его можно сопоставить по эффективности с газовым котлом;
- Автоматически поддерживается подача пеллет в горелку и температура теплоносителя, в отличие от других котлов на твердом топливе;
- Хранение топлива в гранулах и его доставка значительно проще и не требует дополнительной подготовки топлива к применению. Его сразу можно загружать в бункер;
- При сгорании пеллет зола остается в малых количествах, поэтому частая чистка котла не нужна;
- Возможность некоторых котлов работать как на пеллетах, так и на фракционном угле;
- Котельные установки на древесных гранулах гарантируют полную взрыво- и пожаробезопасность за счет применения электронных систем контроля состояния горелки и интегрированных систем водяного пожаротушения.

К недостаткам можно отнести:

- Существенная стоимость;

- Загрузка пеллет в бункер производится вручную;
- Европейские котлы работают только на унифицированных пеллетах;
- Хранить пеллеты требуется в сухом помещении, так как под воздействием влажности они начинают разбухать и разваливаться из-за чего шнеки забиваются;

- Расход гранул в месяц может составлять порядка нескольких тонн. Зная цену пеллет в регионе, не трудно подсчитать, во что обойдутся расходы на топливо.

Что касается комбинированных котлов, то к ним относятся котлы, способные в автоматическом режиме сжигать как пеллеты, так и фракционный уголь (5..40 мм). Теоретически, учитывая схожесть размеров кусочков пеллет и фракционного угля, технические возможности комбинированных котлов позволяют одинаково эффективно сжигать как пеллеты, так и уголь. Стоит отметить, что у чисто пеллетных котлов авторозжиг является неотъемлемой составляющей стандартной комплектации большинства оборудования, большинство же комбинированных котлов функцией авторозжига не обладает.

Комбинированные агрегаты имеют несколько топок под разные виды топлива. Обычно в одну загружают уголь или дрова, другая предназначена для жидкого или газообразного топлива: газа или солярки. Несколько топок для разного топлива хороши тем, что к ним можно подключить несколько отдельных независимых контуров и температура в них может быть разная. Например, одна обслуживает батареи, вторая – теплый пол. Возможно разделение поэтажное или еще по какому-либо другому принципу [6].

Чтобы комбинированный котел перешел на другой вид топлива, нужно сменить горелку. Отопительные комбинированные котлы одинаково хорошо будут работать на газе, на дровах, на углях, на других энергоносителях. В котлах есть встроенный теплообменник второго контура, прибор может составить конкуренцию двухконтурным газовым или электродотопам [7].

Устройство котла простое, так как он напоминает обычные твердотопливный отопительный котел, только способный работать, как правило, на нескольких видах топлива: угле, дровах, пеллетах, торфяных брикетах или даже сухом бытовом мусоре. Внизу — зольник; над ним — топка, в верхней части которой размещен бак теплообменника. Механизм работы прост и понятен: топка разжигается; тепло сгорания топлива передается воде в теплообменнике; нагревшаяся вода расширяется и устремляется вверх, к патрубку подающего трубопровода контура отопления и далее в сам контур. Внутри бака ее замещает поступающая из обратного трубопровода более холодная и плотная вода. Начинается процесс естественной циркуляции.

Однако по мере того, как запас топлива сгорает, температура подачи падает, а скорость циркуляции замедляется. При достижении критического значения температуры в баке срабатывает автоматическое регулирование и включаются встроенные в теплообменник трубчатые электронагреватели. Система отопления продолжает работать, пусть и не в полную мощность [8].

Таким образом авторам не удалось найти данных об использовании ретортных горелок для сжигания каменных углей. Практика показала, что замена пеллет на уголь приводит к тому, что котел не выходит на заявленные технологические параметры и не обеспечивает заданную нагрузку [9]. Поэтому дальнейшим направлением работы видится проведение исследований на реально действующих котлах для выявления правомерности вышеуказанной замены.

#### Библиографический список

1. Пеллетные горелки. Электронный ресурс: [http:// avtonomnoeteplo.ru/otopit elnye\\_kotly/304-pelletnye-kotly-s-fakelnoy-gorelkoj.html](http://avtonomnoeteplo.ru/otopit_elnye_kotly/304-pelletnye-kotly-s-fakelnoy-gorelkoj.html). (дата обращения 01.04.2018).
2. Принцип работы пеллетной горелки. Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Пеллетная\\_горелка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пеллетная_горелка). (дата обращения 01.04.2018).
3. Виды пеллетных горелок. Электронный ресурс: <http://www.tsm-company.ru/stati/peletnye-gorelki.html>. (дата обращения 01.04.2018)
4. Пеллетный котел. Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Пеллетный\\_котёл](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пеллетный_котёл) (дата обращения 02.04.2018)
5. Достоинства и недостатки пеллетных котлов. Электронный ресурс: <http://kotel.guru/kotly/tverdoplivnye/otzyvy-vladelcev-dostoinstva-i-nedostatki-pelletnyh-kotlov.html>. (дата обращения 02.04.2018)
6. Комбинированные котлы для отопления: особенности, виды. Электронный ресурс: <http://teplowood.ru/kombinirovannye-kotly-dlya-otopleniya.html>. (дата обращения 01.04.2018)
7. Комбинированные котлы отопления. Электронный ресурс: <http://otoplenie-doma.org/kombinirovannye-kotly-otopleniya.html> (дата обращения 01.04.2018)
8. Отопительные котлы на твердом топливе и электричестве. Электронный ресурс: <https://otoplenie-gid.ru/kotli/tverdoplivnye/291-otopitelnye-kotly-na-tverdom-toplive-i-elektrichestve>. (дата обращения 02.04.2018)
9. Печенин С. И. Исследование работы угольных водогрейных котлов малой производительности / С. И. Печенин ; науч. рук. М. Н. Башкова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-18 мая 2017 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып. 21. – Ч. 5: Технические науки.– С. 130-131. – Библиогр.: с. 131 (5 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

## СРАВНЕНИЕ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ И МЕДНЫХ ТРУБ

Домникова Е.Р.

Научный руководитель: доцент Баклушина И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, baklushina.iv@gmail.com*

Рассмотрены плюсы и минусы металлопластиковых и медных труб. Выбор более выгодного варианта.

Ключевые слова: металлопластиковые трубы, медные трубы, соединение труб.

Выбор труб для водоснабжения в квартире является довольно сложной задачей, для решения которой необходимо иметь определенные знания. Сравнить плюсы и минусы тех или иных труб, и выбрать наиболее выгодный вариант. Трубы изготавливают из различных материалов, таких как: медь, сталь, пластик и т.д. Рассмотрим два вида труб: Медные и металлопластиковые.

Медные трубы - красивые, но дорогие. Медные трубопроводы – применяются в системах водоснабжения и отопления. Такие трубопроводы имеют высокие показатели надёжности и большой срок службы и, соответственно, стоят дорого [1].

Медные трубы обладают достаточной стойкостью к высоким и низким температурам, а поэтому весьма ценятся в сантехнических работах. Устойчивы они как против давления рабочей жидкости или газа, так и против воздействия извне при транспортировке и хранении. Обладают они и бактерицидными свойствами. Медные трубы и фитинги применяют для всех видов сантехнических коммуникаций: водо- и газоснабжения, систем отопления и кондиционирования, гидравлических и пневматических систем. Трубы легко отрезаются, гнутся, фитинги просты при монтаже, не требуют много места. Срок службы медного водопровода практически не ограничен. В то же время не рекомендуется применять медные трубы в системах с кислой водой, с большим количеством твердых примесей, с высокими скоростями потока воды [2].

Наиболее распространенным способом монтажа медных труб является капиллярная спайка. Этот способ основан на капиллярном эффекте, когда при определенном расстоянии между стенками двух поверхностей жидкость поднимается вверх по капилляру, преодолевая силу тяжести. Именно этот эффект позволяет припою равномерно распространяться по всей поверхности паевого конца независимо от положения трубы (можно, скажем, припой подавать снизу соединения). При установке медных труб необходимо по возможности применять однородные материалы (медь и ее сплавы), что значительно продлит эксплуатацию трубопровода.

Трубопроводы из металлопластика – используются в системах водоснабжения. Они достаточно просты в сборке, хорошо режутся и гнутся, но

неустойчивы к внешним повреждениям т[1].

Металлопластик или металлополимер относится к композитным (комбинированным) материалам. Иначе говоря, полимерная труба имеет слой алюминиевой фольги для придания трубе стабильности формы и снижения линейного расширения. Трубы из этих материалов могут быть как напорные – для водоснабжения (горячего и холодного) и отопления, так и безнапорные, используемые для канализации и дренажа. Металлопластиковые трубы в своей основе имеют три слоя: полипропилен-алюминий-полипропилен или полиэтилен-алюминий-полиэтилен. Все эти слои соединены между собой клеем. Таким образом, сохранение формы после сгибания и во время эксплуатации, низкий коэффициент линейного расширения приближают металлополимерные трубы к металлическим. А устойчивость к коррозии и минимальное образование отложений даже делают их лучше металлических. Другими преимуществами трубы является снижение шума и минимизация гидравлических ударов, а также химическая устойчивость к разным жидкостям [2].

Соединение металлопластиковых труб. Монтаж металлополимерных труб производится с помощью прессовых и резьбовых соединений без применения сварки, нарезания резьбы или пайки. Использование фитингов из специальной отожденной латуни, покрытой слоем никеля, делает систему из металлополимерных труб более дорогой по сравнению с полимерной. Однако выгода использования, к примеру, резьбового соединения заключается в возможности его разборки, а также в использовании при скрытой прокладке трубопроводов. Обжимные фитинги с обжимным кольцом обеспечивают надежное и быстрое присоединение труб к ранее установленным элементам системы с помощью обычного гаечного ключа. Объединение в одной детали собственно соединителей и уголка (тройника) позволяет значительно снизить стоимость готовой системы. Повторное использование этого вида фитингов требует минимальных затрат. Необходима лишь замена специальных резиновых колец и, возможно, разрезного латунного кольца [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что при выборе вида трубопровода нужно учитывать множество факторов: цена, надёжность, эксплуатационные качества и т.д. Если рассматривать только два выше описанных материала, то выгоднее всего будет выбрать металлопластиковые трубы.

#### Библиографический список

1. Савитский, С.П. Сантехника в квартире и доме. Установка, ремонт, эксплуатация / С. П. Савитский. – М.: Эксмо, 2011. – 17с.
2. Умельцев, Н.П. Ремонт сантехники и электрооборудования в вашем доме / Н.П. Умельцев. – Б.: Книжный клуб «Клуб семейного досуга», 2008. – С. 37 – 49

## **ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Иванова М.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ершова Д.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: masha2300@mail.ru, deyadeya@mail.ru*

Статья посвящена анализу объемно-планировочных решений многофункциональных жилых комплексов (МФЖК) отечественной, зарубежной практики проектирования и строительства. Выявлены основные достоинства и недостатки структур. Сформулированы наличие основных условий по выбору оптимальных архитектурных решений МФЖК с учетом климатических условий места строительства.

Ключевые слова: объемно-планировочная структура, многофункциональный жилой комплекс (МФЖК), планировочное решение, архитектура.

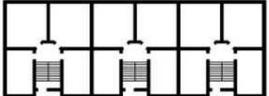
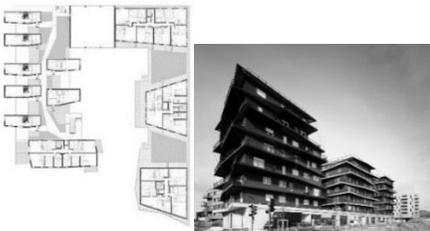
Многофункциональный жилой комплекс является современной формой организации жилой среды города, в которой наиболее полно реализуются потребности человека в жилье, работе, отдыхе и общении. [1] При проектировании необходимо выявить, какая структура наиболее оптимальна для данного места строительства МФЖК. Перед архитектурной практикой стоят задачи усовершенствования конструкций, технологий, планировочных решений, освоение и улучшение эргономики зданий, создание необходимого функционального наполнения и инфраструктуры необходимой современному человеку.

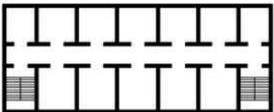
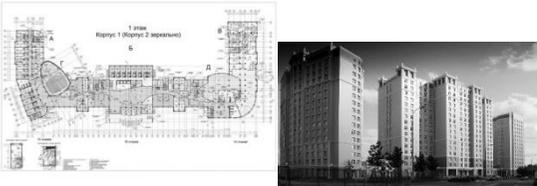
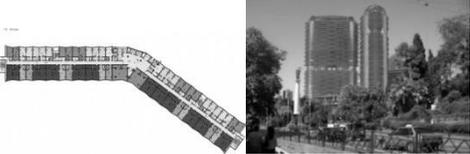
Историю формирования и развития многофункциональных жилых комплексов отечественной и зарубежной архитектуры можно рассмотреть при изучении аналогов данной деятельности у великих архитекторов, таких как Бьярке Ингельс, Френк Гери, Николас Гримшоу, Заха Хадид, Херцок и де Мерон, Сергей Скуратов, Рем Колкас и др.

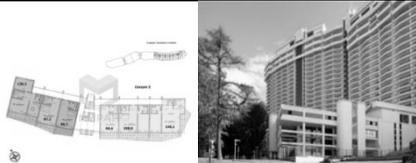
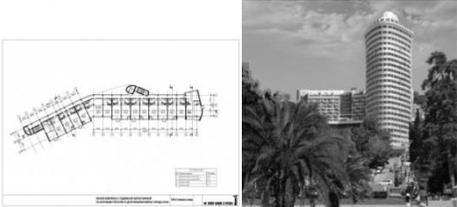
Объемно-планировочное решение – это система размещения помещений в здании. Пространственные ячейки называют объемно-планировочными элементами (комнаты, кухни, лестничные клетки и другие помещения).

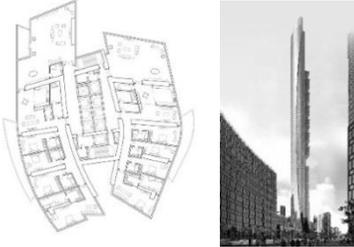
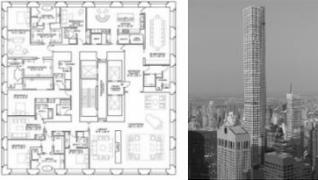
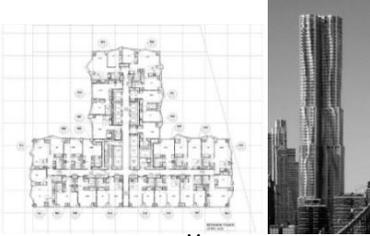
Для исследования структур МФЖК была составлена специальная оценочная таблица 1, с помощью которой выполнен анализ объемно-планировочных решений комплексов, как в России, так и за рубежом, учитывался регион строительства, его планировочная структура и расположение в городской застройке.

Таблица 1 - Оценочная таблица

Наименование объемно-планировочной структуры, схема	Достоинства	Недостатки	Примеры	Применение
<p>Секционная объемно-планировочная структура</p> 	<p>1. Применение в любом климатическом районе, как в городской, так и сельской местности;</p> <p>2. Наиболее экономична;</p> <p>3. Данный тип применяется при массовом строительстве;</p> <p>4. Позволяет создать многокомнатные квартиры</p> <p>5. Обладает хорошей инсоляцией помещений;</p> <p>6. Возможно применение простых конструктивных схем</p>	<p>1. В зданиях высотой менее трех этажей применение секционной схемы планировки – экономически нецелесообразно;</p> <p>2. Дома повышенной этажности обладают ограниченной ориентацией и отсутствием сквозного проветривания в большей части квартир.</p>	<p>1. ЖК «Парк Палас», 7 эт. австрийская компания SchlettererWellness&amp;Spa, 2011г. Москва</p>  <p>2. Жилой комплекс Ginko, 7 эт., архитекторы NicolasLaisne и ChristopheRousselle, 2012г., Франция</p>  <p>3. Жилой комплекс «TheInterlace», Сингапур</p> 	<p>Основное применение жилые дома в любом климатическом районе</p>

Наименование объемно-планировочной структуры, схема	Достоинства	Недостатки	Примеры	Применение
<p>Коридорная объемно-планировочная структура</p> 	<p>1. Сокращается расходы на дорогостоящие лифты и лестничные клетки; [2]                  2. Имеют неограниченную ориентацию, т.е. градостроительную маневренность;                  3. Могут размещаться небольшие квартиры, так и квартиры с большим числом комнат;                  4. Простота конструктивных схем из-за повторения элементов.</p>	<p>1. Недостаточную изоляцию квартир от коридора, который служит источником шума;                  2. Ограниченную ориентацию;                  3. Наличие лестниц для спусков и подъемов в квартиру; [2]                  4. Отсутствие сквозного проветривания в домах с поэтажными квартирами [2].</p>	<p>Примеры:</p>  <p>1. Общежитие МГУ им. Ломоносова. Москва;</p>  <p>2. Общежитие Тьетген в Копенгагене (Дания);</p>  <p>3. Многофункциональный комплекс Сочи-Плаза.</p>	<p>Чаще всего применяется для гостиничного и студенческого типа жилья</p>

Наименование объемно планировочной структуры, схема	Достоинства	Недостатки	Примеры	Применение
<p>Галерейная объемно планировочная структура</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Экономичность;</li> <li>2. Хорошие условия для инсоляции сквозного проветривания;</li> <li>3. Рациональная планировка квартир: подсобные помещения размещаются со стороны галерей, могут иметь естественное освещение, а жилые комнаты, находясь с противоположной стороны дома — оптимально ориентированы по сторонам света;</li> <li>4. Сами галереи, одновременно защищают квартиры от перегрева, что важно для южных стран;</li> <li>5. Простота конструктивных схем из-за повторения элементов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Галерейный тип дома предназначен для теплого климата;</li> <li>2. Сложность монтажа качественной теплоизоляции.</li> </ol>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">  </div> <p>1. Жилой комплекс «Идеал-Хаус», Сочи, ул. Бытха</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">  </div> <p>2. <a href="#">Жилой комплекс с подземной автостоянкой по Морскому переулку в Сочи / Алексей Бавыкин и партнёры</a></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">  </div> <p>3. Жилой комплекс №27 в поселке «Олимпийская деревня Новогорск»</p> </div>	<p>В основном применяется для жилых комплексов в жарких районах строительства</p>

Наименование объемно-планировочной структуры, схема	Достоинства	Недостатки	Примеры	Применение
<p><i>Точечная (центрическая) объемно-планировочная структура</i></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отличается компактностью;</li> <li>2. Используют на ложных грунтах и рельефах местности;</li> <li>3. Позволяет повысить плотность застройки;</li> <li>4. Улучшение гигиенических качеств квартир за счет периметра наружных стен на единицу площади по сравнению с многосекционными;</li> <li>5. Близость к центру города, удобные транспортные развязки;</li> <li>6. Разнообразие форм планов (трехлучевые, тавровые, крестовые, парноблочные и т. п.).</li> <li>7. Высокие показатели по энергоэффективности [3].</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Требуется более сложных конструкций и расчетов (сейсмоустойчивость и т.д.);</li> <li>2. Отсутствие придомовой территории;</li> <li>3. Высокая стоимость жилья.</li> </ol>	 <p>1. Пентоминиум «Роскошь на абсолютной высоте», архитектурное бюро «Aedas», 122 этажа + 6 подземных, Дубай 2014г.;</p>  <p>2. 432 Парк-авеню, уругвайский архитектор Рафаэль Виньоли, 85 этажей +3 подземных Нью-Йорк 2015г.,</p>  <p>3. ЖК Нью-Йорк-бай-Гери на Спрюс стрит, 76 эт., Архитектор Фрэнк Гери, 2011г., Нью-Йорк.</p>	<p>В основном применяется для жилых комплексов расположенных в центре города</p>

Проанализировав планировочные решения 70 проектов МФЖК, было выявлено, что из них наиболее оптимальные планировочные имеют следующие типы комплексов:

- секционный (30 проектов),
- коридорный (15 проектов),
- блокированный (8 проектов),
- галерейный тип (7 проектов);
- точечный тип (10 проектов).

В отечественной архитектуре наиболее распространенная секционная (14) и коридорная (7) объемно-планировочные структуры, а в зарубежной архитектуре преобладает секционная (16).

Рассмотрены объекты высотных жилых комплексов расположенных в Дубаях, Норвегии, Дании, Германии, США, Англии и России. Подобный вид жилья отличается высокой стоимостью, наличием развитой инфраструктуры, удобными планировочными решениями.

Таким образом, в соответствии полученными результатами исследования (таблица 1) для проектирования в центре города, на ограниченной территории подходит больше всего точечный (центрический) тип объемно-планировочной структуры МФЖК.

Для жарких регионов оптимальной объемно-планировочной структурой является галерейная - это было выявлено при рассмотрении городской застройки городов курортов, таких как Сочи, Дубай, Анапа и др. Галереи в этих комплексах защищают жилое здание от перегревания и обеспечивают необходимое проветривание. Такой тип планировочной структуры удачно можно использовать, как в центре города, так и на окраине.

Для проектирования гостиниц и общежитий наиболее подходящей является коридорная объемно планировочная структура. При рассмотрении планировки коридорного типа выявлено, что чаще всего здания с такой структурой располагаются в центре города. Простые конструктивные схемы, градостроительная маневренность позволяет проектировать жилье на разные стороны и создавать, как квартиры с небольшим количеством комнат, так и большим. Экономичность решений таких структур МФЖК дает возможность осуществлять строительство недорогого жилья для студентов, молодых семей.

Для суровых климатических условий строительства в Западной Сибири, в Новокузнецке, оптимальным вариантом является создание МФЖК секционных типов зданий [4].

Известны удачные решения комплексов секционного типа в центральных частях крупных городов, например, МФЖК «Парк Палас», 7 эт. австрийская компания «SchlettererWellness&Spa», жилой комплекс «Алые Паруса» расположенные в центре Москвы, и на окраине города МФЖК «Паркфиртель» в Мюнхене с богатым озеленением и прекрасной инфраструктурой.

Секционный тип отличается экономичностью, хорошей инсоляцией помещений, возможностью проектирования квартир различной планировки и

применяются в любых климатических условиях.

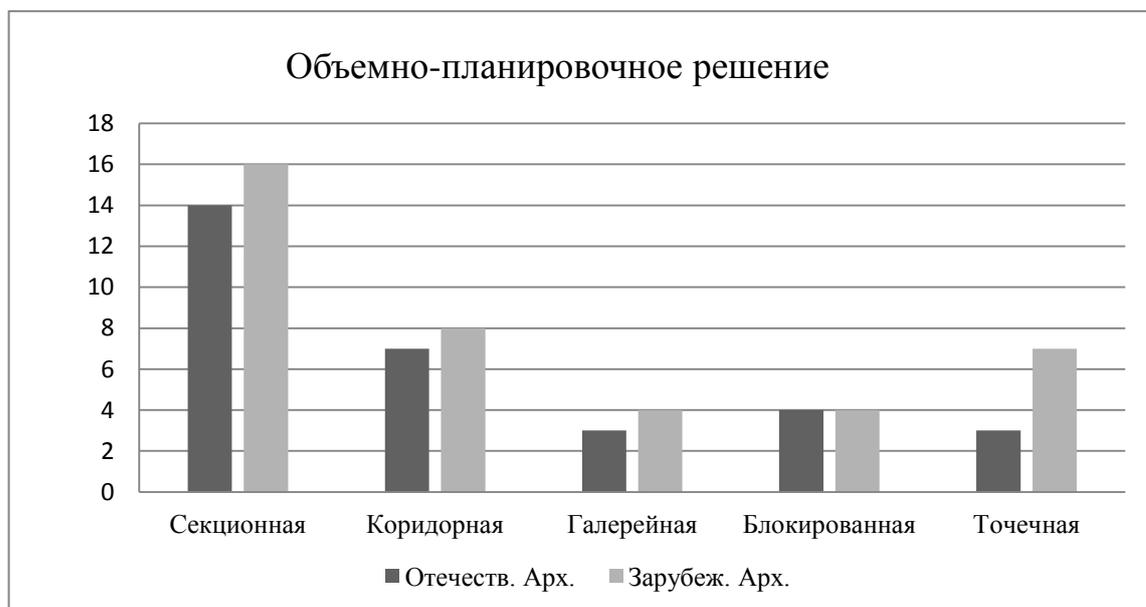


Рисунок 1 - Оценка 70 проектов МФЖК по объемно-планировочному решению

#### Библиографический список

1. Дектерев С.А. Многофункциональный жилой комплекс: пособие по проектированию/ Дектерев С.А., Винницкий М.В., Безирганов М.Г., Громада В.В.-Екатеринбург: УралГАХА,2012. – с 4.
2. Лисициан М.В. Архитектурное проектирование жилых зданий: учебное пособие для вузов / Лисициан М.В., Пронин Е.С. – М. : Архитектура –С., 2006. –с. 336-348.
3. Бушов А.В. Статья Объемно-планировочное решение и его влияние на энергоэффективность и микроклимат [Электронный ресурс] // <https://cyberleninka.ru/> 2010.- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obemno-planirovochnoe-reshenie-i-ego-vliyanie-na-energoeffektivnost-i-mikroklimat-pomescheniya>.
4. Иванова М.В. Статья Современные многофункциональные жилые комплексы и принципы их формирования применительно к условиям Новокузнецка/ Иванова М.В. – Екатеринбург: Уральский архитектурно-строительный университет , 2017. –с. 104-106.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Коновалов В.О., Куценко А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: aak\_mail@mail.ru*

Вопрос ресурсосбережения, использование вторичного сырья и снижение времени на возведение зданий в последнее время становится все актуальнее. Перспективной технологией, способной решить все эти вопросы является 3D печать зданий. В статье рассмотрены вопросы использования данной технологии, ее плюсы и минусы.

Ключевые слова: 3D печать зданий, ресурсосбережение, вторичное производство, аддитивные технологии

Возрастающие требования к времени постройки зданий, их дизайну и капитальным затратам способствуют развитию новых технологий в строительстве. Распространенные в настоящее время технологии строительства быстровозводимых зданий, например модульное каркасное строительство, позволяют возводить здания в короткий срок, но подавляющее большинство зданий являются типовыми и не всегда могут соответствовать требованиям конечного потребителя. Развитие аддитивных технологий в строительстве, таких как 3D печать зданий, позволяет увеличить скорость строительства, снизить капитальные затраты на строительство и удовлетворить любые дизайнерские и эксплуатационные требования заказчика. Кроме того, использование аддитивных технологий в строительстве позволяет снизить время монтажа инженерных систем здания, т.к. все необходимые ниши и отверстия в ограждающих конструкциях будут выполнены в процессе печати здания.

На данном этапе развития аддитивных технологий в строительстве при возведении зданий и сооружений наибольшее распространение получила технология печати методом послойного наплавления (англ. Fused deposition modeling (FDM)). Особенность данной технологии заключается в том, что строительная смесь наносится с помощью экструдера, установленного на подвижной порталной конструкции. В большинстве случаев в качестве экструдера выступает модифицированный под конкретный тип строительной смеси бетононасос.

Технологии FDM печати зданий позволяет использовать в качестве строительных материалов отходы строительного производства и вторичное сырье. Так шанхайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co, разработала 3D-принтер WinSun, способный из строительных отходов (стекло, сталь и цемент) за несколько часов напечатать здание высотой

до 6 метров. При этом стоимость строительства меньше на 50%, чем при использовании классических методов строительства, а экономия материала достигает 60 % [1].

Перспективой развития данной технологии является полная автоматизация процесса строительства, при которой установку арматуры и коммуникаций во время печати осуществляют роботы. Однако практических успехов в полной автоматизации процесса печати полноразмерных зданий пока добиться не удалось. С 2010 года наработками Contour Crafting (одни из основателей технологии FDM печати зданий) заинтересовалась NASA, нуждающаяся в подходящей методике строительства лунных и марсианских колоний.

Использование аддитивных технологий в строительстве, в частности 3D печать зданий, может кардинально изменить строительную отрасль. Данные технологии решают целый спектр вопросов, стоящих перед отраслью: снижение капитальных затрат и времени строительства, переработка промышленных отходов и использование вторичного сырья. Кроме того, здания возведённые с использованием 3D-принтера отличаются хорошими показателями сейсмоустойчивости, а так же могут быть использованы в условиях крайнего севера.

#### библиографический список

1. Бойко А. 3D-печать домов. Лучшие принтеры. – М.: Fast Salt Times, 2017. – 2 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://fastsalttimes.com/sections/obzor/1200.html> (дата обращения: 02.02.2018)

УДК 696.43

## ПОСЛЕДСТВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

**Кононенко А.Р., Баклушина И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baklushina.iv@gmail.com*

Рассмотрена методика проведения гидравлического испытания. Основные факторы причины последствия гидравлических испытаний

Ключевые слова: гидравлическое испытание, тепловые сети.

Сроки службы трубопроводов тепловых сетей различны и связаны с коррозионным износом материала труб [1,2,3]. Ежегодно в результате проведенных гидравлических испытаний и в процессе последующей эксплуатации трубопроводов тепловых сетей происходит большое количество порывов. Ликвидация порывов и их последствий требует значительных дополнительных трудовых и материальных затрат.

При традиционном взгляде на гидравлические испытания - это эффек-

тивное средство, позволяющее устранить опасные дефекты и оценить прочность трубопровода на определенный период времени.

Гидравлические испытания проводятся при приемке тепловых сетей в эксплуатацию, а также после ежегодных летних остановов и ремонтов. Необходимость в ежегодном проведении гидравлических испытаний связана с развитием коррозионных процессов в металле трубопроводов.

Устанавливаемая величина пробного давления при гидравлических испытаниях тепловых сетей регламентируется следующими требованиями нормативно-технической документации [4,5,6]:

- после завершения строительно-монтажных работ трубопроводы водяных тепловых сетей следует испытывать давлением равным 1,25 от рабочего, но не менее 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>) [4];

- тепловые сети с целью проверки на прочность и плотность трубопроводов, установленной запорной и регулирующей арматуры до начала отопительного сезона подлежат гидравлическому испытанию при минимальном значении пробного давления, составляющим 1,25 от рабочего [3];

- минимальная величина пробного давления при гидравлическом испытании трубопроводов, их блоков и отдельных элементов должна составить 1,25 от рабочего давления, но не менее 0,2 МПа (2 кгс/см<sup>2</sup>) [7];

Чтобы выявить, то есть разрушить все слабые места трубопроводов с толщиной стенки до 1 мм потребуется давление 2,5-3,0 МПа (25-30 кгс/см<sup>2</sup>), малые диаметры труб требуют значительно большего давления. Адекватная величина пробного давления, то есть максимальное давление рабочей среды при испытании трубопроводного участка на прочность, необходимое и достаточное для определения технического состояния участка к моменту испытания и для обеспечения его работоспособного состояния в течение прогнозируемого срока дальнейшей эксплуатации может быть найдена по [6]. Гидравлические испытания способны эффективно предотвращать аварии, если выявляются все трещины, длина и глубина которых достигает критических значений при условиях проведения гидравлических испытаний.

В каждом конкретном случае значение пробного давления устанавливается техническим руководителем организации, эксплуатирующей тепловой сети.

При назначении гидравлических испытаний нормативно-технические документации не проводят градацию трубопроводов по времени эксплуатации, имеет место единый подход к новым и старым трубопроводам. Трубы тепловых сетей могут иметь металлургические, сварочные и коррозионные дефекты металла со всеми возможными видами и степенями поражений.

Основные факторы, способствующие образованию порывов:

- брак строительно-монтажных работ;
- заводской брак;
- процессы коррозии;
- сезонный характер образования порывов;

– пуск системы горячего водоснабжения.

Пуск системы горячего водоснабжения после проведения гидравлического испытания и капитального ремонта и в течение всего отопительного периода включает в себя 3 этапа образования порывов [8].

*1 этап* - включение трубопроводов после капитального ремонта (ГВС). На 1-м этапе всплеск образования порывов обусловлен следующими факторами:

– на двухтрубной системе открытого водоразбора в процессе проведения гидравлического испытания могли возникнуть небольшие порывы, которые, из-за незначительного падения давления, не сразу выявляются эксплуатационным персоналом;

– после включения тепловой сети вообще не известна величина потребления горячей воды потребителями, и каким должно быть естественное снижение давления для этого часа, дня и месяца;

– как только происходит падение давления по манометру и установлен порыв, сразу отключается участок тепловой сети и прекращается проведение гидравлического испытания в этом направлении, что приводит к существованию на тепловых сетях «непродавленных» участков, расположенных дальше от места первых порывов.

*2 этап* - начало отопительного сезона. На 2-м этапе количество порывов на трубопроводах тепловой сети резко возрастает. Этот этап соответствует началу отопительного периода, когда резко увеличиваются объемы теплоносителя в тепловой сети, давление и температура и появляются связанные с этим гидравлические и термические удары. В этот период расширяются микротрещины и трещины в металле трубы, созданные в процессе гидравлического испытания. Как и на первом этапе, дополнительно выявляются незначительные порывы на трубопроводах тепловых сетей, не выявленные в начале пуска.

После начала отопительного периода маленькие свищи и микротрещины «подрастают» и дают полноценный порыв, уже хорошо фиксируемый по падению давления и увеличению расхода воды.

*3 этап* - резкое снижение температуры окружающего воздуха. На 3-м этапе рост числа порывов связан с резким понижением температуры окружающего воздуха, что приводит к увеличению теплового режима. Возросшие температурные расширения вызывают концентрацию напряжений в микротрещинах, возникших при проведении гидравлического испытания, в результате чего и появляются трещины и свищи в металле трубы.

Из выше сказанного можно сделать вывод: проведение гидравлических испытаний ни на стадии монтажа, ремонта, ни последующей эксплуатации не гарантируют последующей безопасной эксплуатации трубопроводов тепловых сетей. Все порывы после гидравлических испытаний - это следствие возникновения новых и подрастания мелких ранее неопасных трещин до раскрытия, то есть порывов. Однако, опрессовка остается основным мето-

дом, посредством которого планируется большая часть работ по поддержанию надежности тепловых сетей [9].

#### Библиографический список

1. Чапаев Д.Б., Оленников А.А., Баклушина И.В. К вопросу об оценке срока службы теплопроводов с учетом внутреннего коррозионного износа / Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк, 2016. – С. 186-190.

2. Чапаев, Д.Б., Кошкина, И.В. Изменение толщины стенки трубопровода теплосети при эксплуатации / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией С.М. Кулакова. – Новокузнецк, 2003. – С. 139-140.

3. Чапаев, Д.Б., Оленников, А.А., Баклушина, И.В. К вопросу о моделировании внутреннего коррозионного износа трубопроводов тепловых сетей / Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк, 2016. – С. 206-211.

4. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 – М: Министерство Регионального развития Российской Федерации, 2012.

5. РД 34.20.501-95 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации».

6. Муравин Е. Л. Оценка адекватной величины пробного давления при выполнении гидравлических испытаний трубопроводных участков городских тепловых сетей / Муравин Е. Л., Бородин Ю. П., Харебов В. Г. // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – №2(24) – 2011 – С. 39-45.

7. ПБ 10-573-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды».

8. В.И. Матвеев, С.Я. Алибеков. Последствия проведения гидравлических испытаний и альтернативные пути обеспечения надежной эксплуатации тепловых сетей [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения. N8(84) 2007г. Систем. Требования: Adobe acrobat reader. URL: [http:// www. rosteplo.ru/ Tech\\_ stat/ stat\\_ shablon. php? id= 2473](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2473) (дата обращения 25.03.2017).

9. Чичерин С. В. Величина пробного давления при проведении ежегодных гидравлических испытаний тепловых сетей / Чичерин С. В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика – Т17 – №1 – 2017 – С. 13-20.

## СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

Минин И.Ю.

Научный руководитель: Баклушина И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baklushina.iv@gmail.com*

Рассмотрены виды солнечных коллекторов, способы и возможности их использование, а также эффективность. Приведены примеры использования этих технологий в России и Европе.

Ключевые слова: теплоснабжение, солнечный коллектор, гелиоустановка, автономность, холодильный цикл.

Постоянные скачки цен на энергию связаны с изменением и увеличением стоимости нефти и газа на мировом рынке из-за нехватки их запасов. Однако существуют альтернативные возобновляемые источники энергии, не нуждающиеся в оплате и которые не губят природу и не истощаются – это ветер, солнце, тепло земли, тепло воздуха, морские волны и даже возможно энергетический потенциал нашей планеты. Из всего этого чаще всего используются солнечные батареи (коллекторы) и ветрогенераторы, менее – термальные источники и грунтовые теплообменники (тепловой насос).

Энергетика 21 века основана на использовании альтернативных возобновляемых источников. Одними из первых осуществили на практике эти идеи в США и СССР почти в одно и то же время, в виде солнечных коллекторов.

Солнечная радиация – самый крупный источник энергии для всех процессов на планете, биосфере, гидросфере, атмосфере. Он во много раз превышает первичное потребление энергии. Например, в статье А.Г. Альшарифа [1] говорится, что установка солнечных батарей для отопления дома поможет сократить на 70 % энергопотребление, а значит, и расходы из семейного бюджета.

Практическая задача, стоящая перед разработчиками и создателями различного вида солнечных установок, состоит в том, чтобы наиболее эффективно «собрать» этот поток энергии и преобразовать его в нужный вид энергии (теплоту, электроэнергию) при наименьших затратах на установку [1]. Жилые дома в настоящее время расходуют значительную часть потребляемой энергии. В связи с этим появление «солнечных» домов повлекло за собой изменение представления о жилом доме как о возможном автономном производителе и потребителе энергии, что является одной из отличительных черт «постиндустриального общества». В будущем в наших жилищах, по всей вероятности, солнечная энергия станет важнейшим фактором, приносящим всевозможные блага [2].

Гелиосистема предназначена для производства горячей воды применя-

емой в водоснабжающих и отопительных системах. Из двух видов гелиосистем (с плоским коллектором и с коллектором из вакуумных трубок) наиболее эффективна гелиосистема с трубками, так как находящийся внутри вакуумной стеклянной трубки поглотитель уменьшает потерю тепла, и становится возможным использование системы круглый год 24 часа в сутки; также для такой установки требуется меньше площади, однако они имеют завышенную стоимость [1].

Коллекторы из вакуумных труб делятся на два типа, отличающиеся по принципу действия: по типу стеклянной трубки и типу теплового канала. На мировом рынке большую часть занимают тепловой трубки типа «Heat pipe». Принцип его работы состоит в том, что в трубках из теплопроводящего металла находится жидкость которая легко испаряется. Жидкость, нагреваясь от солнечного излучения и испаряясь снизу трубки, тем самым поглощая теплоту, а конденсируясь в верхней части (тепло сборнике) отдает тепло, после стекает вниз. Таким образом и происходит перенос тепла.

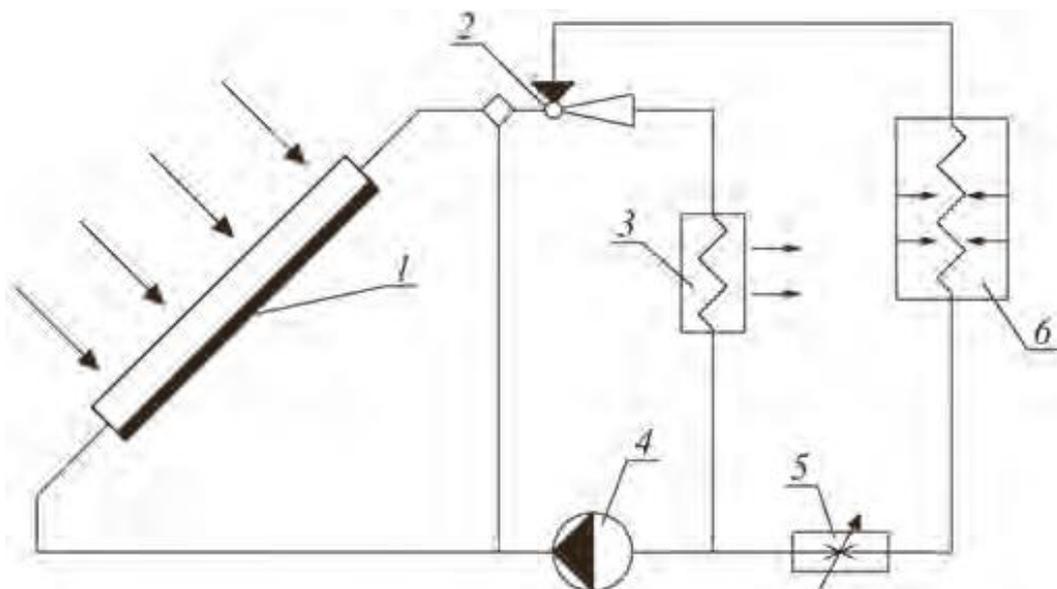
Её можно снабдить для усиления потока тепла концентратором солнечной энергии, посредством которого она будет преобразована в высокопотенциальную активную гелиосистему. Такие гелиосистемы можно использовать для приготовления пищи, плавления, сварки металлов, выпаривания хладагента в испарителях холодильника, преобразования солнечной энергии в электрическую и так далее. Так же исследования помогли выявить зависимость способа соединения солнечных коллекторов и типа абсорбера к выработки тепловой энергии. Упомянем и то, что производительность солнечного коллектора также зависит от скорости теплоносителя, в некоторых случаях значения могут отличаться в 3 - 4 раза [1].

Ш.З. Усмонов в своей статье [2] рассказывает про солнечное охлаждение – как еще один плюс в пользу гелиоустановки. Охлаждение осуществляется гелиосистемами для кондиционирования воздуха и гелиосистемами с холодильниками периодического и непрерывного действия. В процессе абсорбционного охлаждения используется испарение жидкого холодильного агента для отвода тепла из воздуха или воды, подлежащих охлаждению. В абсорбционном холодильном цикле применяют два рабочих вещества: хладагент и абсорбент, выполняющие одну и ту же задачу. Испарившийся хладагент поглощается с охлаждающих змеевиков абсорбентом. Полученный раствор подается насосом в регенератор, где под действием тепловой энергии хладагент дистиллируется из абсорбента [2]. Для индивидуального использования такие кондиционеры являются идеальным решением, позволяют плавно менять режимы комбинировать нагрев и охлаждение, с минимальными затратами на электроэнергию.

На рисунке 1 приведен тип парожекторной холодильной установки, рабочим телом которой является фреон-12.

По данным компании «Возобновляемая энергия», в 2013 г. было запущено производство литий-ионных систем автономного электроснабжения

премиум-класса UltraSolar PRO на базе силового оборудования Schneider Electric [4]. Долговечность бесшумность и малые габариты, продолжительность работы в автономном режиме в том числе из за дополнительных солнечных батарей – это его главные отличия от конкурентов.



1 - гелио приёмник; 2 - эжектор; 3 - конденсатор;  
4 – насос; 5 – дроссель; 6 - испаритель

Рисунок 1 – Схема пароэжекторной холодильной установки

Солнечные батареи, как правило, в России чаще всего устанавливаются на крышу дома, увеличивая её защитную функцию и, тем самым придавая дому высокотехнологичный и современный вид. Их вносят в конструктив здания, как на стадии проекта, так и уже в эксплуатируемые дома. Но нужно учитывать стоимость солнечной батареи и вероятную выгоду от ее установки, а также обратить внимание на такие факторы как ежедневная нужда в потреблении горячей воды, площадь кровли, угол ее наклона [1]. Также следует учитывать температуру теплоносителя [5].

Исследования, проведенные лабораторией возобновляемых источников энергии Института высоких температур РАН, показали, что в России наиболее «солнечными» являются регионы Приморья и юга Сибири. В некоторых районах Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока годовая солнечная радиация составляет  $1300 \text{ кВ}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , превосходя такую южных регионов России [6].

Европе данная система приняла широкое распространение в частных домах, так как экономичны и экологичны. Опыт и умение стоит перенять и использовать по отношению к отечественным домам. В Германии устойчиво растет область применения солнечных коллекторов, так как затраты дотируются государством на их установку. Однако следует понимать, что теплопотребление на много превышает выработку энергии гелиосистемой, поэтому им выгодно использовать ее в качестве поддержки основной отопительной

системы и экономии ее энергоресурсов. Наиболее ярким примером является использование гелиосистем с суточной аккумуляцией тепловой энергии. Недостатком можно считать то, что в летнее время эти системы с суточной аккумуляцией теплоты не могут использовать излишки тепла. Но выход всегда есть и можно использовать сезонное аккумулятие. Однако это заняло бы огромную площадь, так как для этого понадобились бы большие емкости (объемом от 10 м) [1]. Предложения аккумуляции энергии в теплоемкости веществ имеют много недостатков, и этот вопрос считается до сегодняшнего дня нерешенным. Многими странами ведутся разработки по разделению воды на кислород и водород с помощью солнечной энергии. Водород в последующем можно использовать как топливо, он экологичен, так как при сгорании выбрасывается водяной пар. Это сложный технологический процесс, и перед учеными стоит нелегкая задача по созданию такой установки.

Таким образом, становится ясно, что использование энергии солнечным коллектором один из самых простых способов, менее капиталоемкий во вложении, не требующий большого знания в высоких технологиях. Конечно, эти технологии требуют совершенства, поэтому одно из ключевых направлений гелиоэнергетики является производство, эксплуатация и удешевление солнечных коллекторов.

#### Библиографический список

1. Аль-шариф А. Г. Перспективы использования солнечной энергии для отопления дома в России // Молодой ученый. – 2014. – №6. – С. 127–131.
2. Усмонов Ш.З. Применение солнечной энергии для отопления и охлаждения здания в условиях Центральной Азии // Вестник МГСУ. – 2014. – № 4. С. 142 – 149.
3. Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплоснабжением / пер. с яп. Е.Н. Успенской ; под ред. М.М. Колтуна, Г. А. Гухман. М. : Стройиздат. –1989. 185 с.
4. Энергия солнца // Компания Возобновляемая энергия. Режим доступа: <http://www.smarthome26.ru/sun-energy>. Дата обращения: 5.05.17.
5. Баклушина И.В. Солнечное теплоснабжение в условиях России // Новые строительные технологии 2100: сб. науч. тр. / СибГИУ. – Новокузнецк, 2010. – С.260–262.
6. Ивакина А.А., Айзенберг И.И. «Солнечная» Россия. // Вестник сибирского государственного индустриального университета. Новокузнецк. : издательство. – №1(11). – 2014. – С. 40–43.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СФЕРЕ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Мурзин Д.Е.

**Научный руководитель:** канд. техн. наук, доцент Зоря И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: zorya.i@mail.ru*

В работе проанализирована эффективность работы различных конструкций тепловых насосов в разных странах мира. Цель работы: расширить знания в области тепловых насосов, сбор и анализ характеристик тепловых насосов, выявить положительные и отрицательные факторы в применении тепловых насосов.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловые насосы, теплонаносная установка, принцип работы теплонаносной установки.

Тепловой насос — устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой [1].

Современные тепловые насосы можно классифицировать в зависимости от источника низкотемпературного тепла, которым может быть грунт, вода (в открытом или в подземном водоеме), а также наружный воздух [2].

Теплонаносная установка (ТНУ) состоит из собственно теплового насоса (ТН) и системы, обеспечивающей подвод и отвод из источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ), подачу нагретой в ТН среды потребителю и ее возврат к ТН. В ТНУ могут входить несколько ТН. В испарителе ТН низкокипящее рабочее вещество кипит при низком давлении, отнимая теплоту у ИНТ, затем при подводе энергии извне (механической или тепловой) давление рабочего вещества повышается до уровня, позволяющего отдать теплоту конденсации нагреваемой среде источника высокопотенциальной теплоты (ИВТ). Давление сконденсированного рабочего вещества снижается в дросселе до давления кипения. Таким образом, реализуется непрерывный круговой процесс переноса теплоты с более низкого температурного уровня на более высокий с подводом энергии извне, затрачиваемой на повышение давления парообразного рабочего вещества (обратный термодинамический цикл) (рисунок 1) [3].

В США, Японии и некоторых других странах получили наибольшее распространение воздушно-воздушные реверсивные ТНУ, предназначенные для отопления и летнего кондиционирования воздуха, в то время как в Европе получили большее распространение водоводяные и водовоздушные ТНУ.

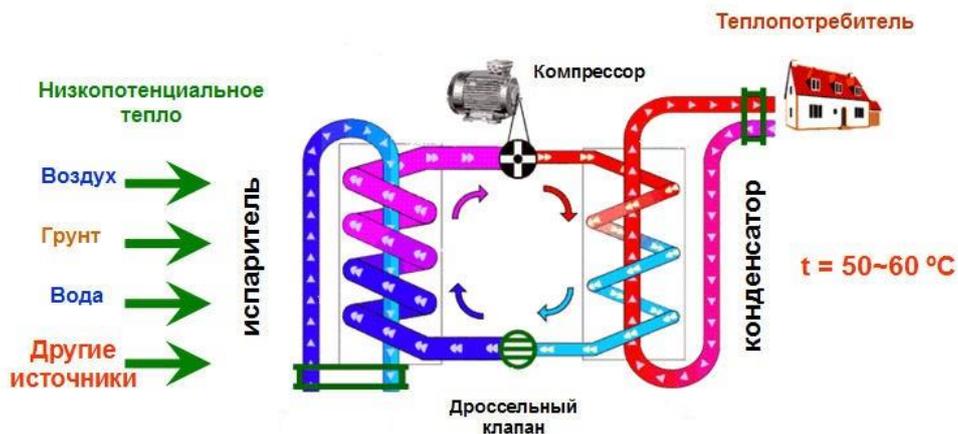


Рисунок 1 - Принципиальная схема работы теплового насоса

### *Госпрограмма в США*

В Соединенных Штатах правительство обязало строительные компании устанавливать тепловые насосы в каждой новостройке. Благодаря этому в стране выпускается более 1 млн. установок ежегодно.

На 2017 год более 10 % жилых зданий обеспечены тепловыми насосами. Для повышения их энергоэффективности, активно устанавливаются солнечные коллекторы, которые позволяют снизить потребление электроэнергии на 25 %.

### *Тепловые насосы в Норвегии*

В этой стране 98% энергопотребления обеспечивается возобновляемыми источниками энергии. Поэтому около 80% домов отапливаются электричеством.

Из всех продающихся в Норвегии отопительных приборов и установок, 90% - воздушные тепловые насосы. Их доля на энергетическом рынке постоянно растет.

Государство субсидирует покупателей воздушных тепловых насосов (за исключением типа воздух-воздух), что позволяет жителям страны сэкономить до 20 % стоимости.

### *Тепловые насосы в Германии*

Немцы традиционно отдают предпочтение индивидуальным источникам тепла, поэтому тепловые насосы здесь популярны. В разных регионах страны действуют программы по поддержанию альтернативной энергетики.

Популярностью среди владельцев жилых домов пользуются тепловые насосы с принципом работы воздух-вода, а владельцы многоквартирных, производственных зданий и коммерческой недвижимости пользуются геотермальными.

### *Тепловые насосы в Швеции*

Температура Балтийского моря на небольшой глубине не опускается ниже +2 градусов, поэтому в стране действуют несколько крупных тепловых

станций. Сама большая мощностью более 300 МВт тепловой энергии обеспечивает отоплением дома Стокгольма. В частных домах, удаленных от побережья, популярны воздушные тепловые насосы.

Количество тепла, вырабатываемого теплонаносными установками в Швеции, уже составляет около 50 % от потребного. Швейцария является одной из стран, в которых первые ТНУ были построены еще в 30-х годах.

В Швеции ранее действовала программа субсидий, позволившая снизить энергопотребление страны для отопления более чем наполовину. Сейчас она неактуальна, так как 95% жилых зданий отапливается тепловыми насосами.

#### *Тепловые насосы во Франции*

В стране существует налоговый кредит для таких типов тепловых насосов:

- Геотермальные – 40%
- Воздушные – 25%
- Низкой мощности для ГВС – 40%

Во Франции существуют отдельные программы от различных организаций, местные и региональные системы поощрения, субсидии и дотации.

#### *Тепловые насосы в Японии*

После катастрофы на АЭС Фукусима-1 правительство поддерживает развитие и использование альтернативных источников тепловой энергии. В стране действуют программы субсидирования и дотаций.

Самыми популярными являются тепловые насосы типа воздух-вода. Из-за того, что японцы традиционно нагревают воду ночью, когда тариф на электроэнергию ниже дневного, энергоэффективность установок повышается [4].

Мировой опыт показывает, что энергетические и экологические проблемы с неизбежностью приводят к необходимости широкого применения ТН. Россия существенно отстает в этой сфере даже от малых стран. Между тем, с учетом более жестких климатических условий и более продолжительного отопительного периода экономическая эффективность от применения ТН будет намного выше, чем в странах Европы, США и Канаде [5].

Широкому распространению ТНУ во многих странах способствуют рост цен на энергию, а также законодательство по энергоэффективности, экологическое законодательство, требования по снижению выбросов парниковых газов. Но главным является то, что рынки ТНУ за рубежом формируются, как правило, при поддержке государства. Компании, предлагающие экологически чистые установки, пользуются налоговыми льготами, а домовладельцы, приобретающие такое оборудование, получают дотации, субсидии, льготные кредиты [6].

В России тепловые насосы пока не получили широкого распространения. Прежде всего, это связано с тем, что стоимость тепла, выдаваемого теплонасосом, соизмерима со стоимостью тепла, вырабатываемого газовым котлом. А, как известно, газа в стране пока хватает, котлы стоят дешевле

теплонасосов, да и технология газового отопления изучена лучше [7].

Основными ограничениями внедрения тепловых насосов являются следующие:

1. Высокие удельные капитальные вложения. Кроме стоимости основного оборудования, его монтажа и наладки, для наиболее распространенных в области теплоснабжения грунтовых ТНУ требуются буровые работы на глубине 50-100 м, которые также являются дорогостоящими.

2. Ограничения по температуре на выходе из теплового насоса. Максимальная температура, которую может обеспечить греющий контур геотермальных тепловых насосов, как правило, составляет 55 °С, у отдельных моделей - 60-65 °С.

3. Неоднородность теплового потенциала грунта в региональном разрезе. Потенциал грунта как источника тепла для южных регионов существенно выше, чем для северных.

4. Учет фактора охлаждения грунта при эксплуатации ТНУ.

Исходя из всего вышесказанного в моей выпускной магистерской работе будет уточнена энергоэффективность тепловых насосов различных конструкций в сфере получения и использования тепла в разных регионах России.

#### Библиографический список

1. Тепловой насос // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд.- М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.

2. Принцип работы теплового насоса. Электронный ресурс. - режим доступа: <http://aquagroup.ru/articles/princip-raboty-teplovogo-nasosa.html>.

3. Физическая модель ТНУ. Прямой и обратный циклы Карно. Электронный ресурс. - режим доступа: [http://studbooks.net/2001688 /matematika\\_himiya\\_fizika/fizicheskaya\\_model](http://studbooks.net/2001688 /matematika_himiya_fizika/fizicheskaya_model).

4. Использование тепловых насосов в мире - статистика, тенденции, перспективы. Электронный ресурс. - режим доступа: <http://vteple.xyz/ispolzovanie-teplovyyih-nasosov-v-mire/>.

5. Гафуров А.М. Зарубежный опыт эксплуатации установок на низкокипящих рабочих телах. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2014. Т. 24. – №4 (24). – С. 26-31.

6. Перспективы использования тепловых насосов в России. Электронный ресурс. - режим доступа: <http://teplovoy-nasos.baltcomfort.ru/informatsiya/151-problemy-i-perspektivy-ispolzovaniya-teplovyykh-nasosov.html/>.

7. Тепловые насосы: достоинства, недостатки и перспективы применения в России. Электронный ресурс. - режим доступа: <http://blog.Flexyheat.ru/teplovyye-nasosy-dostoinstva-nedostatki-i-perspektivy-primeneniya-v-rossii/>.

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗДУШНО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

**Невская Ю.А., Баклушина И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baklushina.iv@gmail.com*

В данном докладе рассмотрены виды воздушно-отопительных агрегатов, где они применяются, а также их основные элементы и принцип работы.

Ключевые слова: воздушное отопление, воздушно-отопительные агрегаты, применение воздушно-отопительных агрегатов, принцип работы.

Водяные системы отопления, наиболее распространенные в жилищно-коммунальном секторе, имеют ряд особенностей, которые могут стать причиной уменьшения их энергоэффективности при длительной эксплуатации [1]. Воздушные системы, по сравнению с водяными, обладают рядом преимуществ: они малоинерционны, незамедлительно реагируют на внутренние тепловые возмущения, могут совмещать отопительные и вентиляционные функции, безопасны в работе, обладают высокими санитарно-гигиеническими свойствами, могут использовать как высоко-, так и низко-температурные теплоносители. Возможно применение центральных или местных систем. Первые, как правило, одновременно выполняют вентиляционные функции: в отопительный период, с целью экономии тепла, они работают с использованием рециркуляционного воздуха.

В зависимости от имеющихся источников тепла агрегаты воздушного отопления могут быть оборудованы водяными, паровыми, электрическими или огневоздушными калориферами [2].

Отличительной особенностью воздушного отопления является возможность обеспечения в рабочей зоне не только заданной температуры, но и подвижности воздуха, равномерности температуры в помещении, а также очистки и подачи наружного воздуха.

Воздушно-отопительные агрегаты Rosenberg предназначены для отопления нагретым воздухом (в том числе дежурного отопления) помещений общественных, административно бытовых и производственных зданий. Предусмотрена защита против коррозии, поэтому агрегаты могут применяться во влажных производственных помещениях. Конструктивно модель состоит из осевого вентилятора с электродвигателем, воздухонагревателя и многостворчатого клапана, размещенных в едином корпусе [3].

С помощью воздушно-отопительных агрегатов АНН-Р можно осуществлять нагрев рециркуляционного, внешнего или смешанного воздуха с использованием теплоносителя в виде горячей воды для поддержания температурных параметров в помещении в отопительный период. Возможно

применение воздушно-отопительных агрегатов для охлаждения помещений при подаче в теплообменник хладоносителя - холодной воды.

Воздушно-отопительные агрегаты АНН-Р предназначены для работы в выставочных центрах, аэропортах, оптовых магазинах и супермаркетах, производственных цехах, складских комплексах, теплицах, птицефермах и животноводческих комплексах, мастерских, автосервисах, на спортивных объектах и в других помещениях, где допустима рециркуляция воздуха. Рабочее положение его может быть как горизонтальным, так и вертикальным. Управление воздушно-отопительным агрегатом АНН-Р может осуществляться при помощи проводного термостата, регулятора скорости вентилятора или с помощью системы диспетчеризации при использовании протокола MODBUS [4].

Агрегат VOLCANO является интегральной частью современной системы отопления объектов среднего и большого объема. С помощью VOLCANO можно исключить недогрев отдельных частей помещения, установить равномерную температуру и исключить негативное влияние внешних атмосферных факторов. Применяются на промышленных предприятиях, в супермаркетах, спорткомплексах, складах, сельскохозяйственных помещениях, автосалонах и рынках [5].

Отопительные устройства SAVANA предназначены для отопления теплым воздухом и пригодны главным образом, для установки в промышленных цехах, складах, спортивных залах и других подобных помещениях. Отопительное устройство предназначено для эксплуатации в помещениях с сухой средой при температуре окружающего воздуха в пределах от +5 до +35 °С и при относительной влажности до 80 % и служит для подачи воздуха без грубой пыли, жиров, химических испарений и других загрязнений. Отопительное устройство имеет степень электрической защиты IP 54 [6].

Каждый воздушно-отопительный агрегат оснащен осевым вентилятором, воздухонагревателем, воздухораспределителем и несущим корпусом. Рециркуляционный воздух с помощью осевого вентилятора направляется через теплообменник и воздухораспределительную решетку в требуемую зону помещения. При этом теплообменнике происходит нагрев воздуха за счет охлаждения теплоносителя [7]. Рециркуляция позволяет значительно сократить расходы энергии на нагрев и, тем самым, повысить энергоэффективность здания в целом [8].

В целом, воздушно-отопительные агрегаты, обеспечивая одновременно отопление и вентиляцию обслуживаемых зданий, являются альтернативой традиционным водяным системам отопления, и могут применяться для общественных зданий как по отдельности, так и в комбинации с уже имеющейся системой отопления, повышая тем самым комфортность и энергоэффективность здания.

#### Библиографический список

1. Баклушина И.В. Обследование системы отопления многоквартирного жилого дома / Актуальные вопросы современного строительства про-

мышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т. : под общей редакцией И.В. Зоря, А.Ю. Столбоушкина, А.А. Оленникова . – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – С. 215-217.

2. Кронфельд, Я. Г. Принципы устройства систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, тепло- и холодоснабжения в зданиях культовой архитектуры [Электронный ресурс] / Я. Г. Кронфельд // АВОК. – №1. – 2000. – Режим доступа : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=43](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=43), свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 27.04.17).

3. Каталог продукции Rosenberg. Воздушно-отопительные агрегаты [Электронный ресурс] // Сантехника, отопление, кондиционирование. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/rosenberg/11671/31226.pdf> , свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 27.04.17).

4. Каталог оборудования Aerotek 2013. Тепловая линия [Электронный ресурс] // Сантехника, отопление, кондиционирование. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/aerotek/20122/67159.pdf> , свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 27.04.17).

5. Инструкция на Воздушно-отопительные агрегаты Volcano VR1, VR2, mini. Каталог 2014 [Электронный ресурс] // Сантехника, отопление, кондиционирование. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/volcano-vr/teplovye-zavesy-i-pushki/15885/57328.pdf> , свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 27.04.17).

6. Воздушно-отопительные агрегаты. Каталог оборудования 2VV [Электронный ресурс] // Сантехника, отопление, кондиционирование. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/2vv/21812/73504.pdf> , свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 27.04.17).

7. Воздушно-отопительные агрегаты Aerotek АНН-Р12/1, АНН-Р16/1, АНН-Р25/1, АНН-Р33/1, АНН-Р39/1, АНН-Р51/1, АНН-Р67/1, АНН-Р79/1, АНН-Р91/1, АНН-Р130/1. Инструкция по монтажу и эксплуатации [Электронный ресурс] // Сантехника, отопление, кондиционирование. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/aerotek/teploobmenniki/7021/22805.pdf> , свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 27.04.17)

8. Мацук В.Ю., Баклушина И.В. О накопленном опыте в области энергосбережения бюджетных организаций / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. – Новокузнецк, 2015. – С. 296-299.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИНТУСНОГО ОТОПЛЕНИЯ В БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ЗДАНИЯХ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПОСТРОЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ**

**Пашко Е.А., Куценко А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: aak\_mail@mail.ru*

Постоянно возрастающая стоимость энергетических ресурсов и появление новых способов возведения зданий и сооружений, такие как 3D печать, способствуют появлению новых типов систем отопления. Одним из перспективных типов отопления в данном случае является плинтусное отопление. В статье рассмотрены перспективы его использования, плюсы и минусы.

Ключевые слова: отопление, 3D печать зданий, плинтусное отопление, энергосбережение.

Появление новых типов систем отопления вызвано возрастающими требованиями к дизайну и качеству работы систем отопления в общественных зданиях и частных домах, а также появлением новых технологий в строительстве этих зданий (например, строительство зданий с использованием Fused Deposition Modeling технологий, то есть технологии создания трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала).

Плинтусное отопление – это своего рода совмещённое радиаторное отопление и тёплый пол. За счет того, что отопительные приборы размещены внизу стен по всему периметру помещения, тепло распространяется равномерно по всему отапливаемому помещению вдоль пола и стен. Кроме того, использование такого типа отопления позволяет бороться с конденсацией влаги на стенах и потолке и снижает риск образования плесени.

Также, из-за расположения источников тепла по всему периметру помещения, его разогрев происходит быстрее, чем при использовании конвекторов или радиаторов. Благодаря этому можно снижать температуру в «не используемых» помещениях, и достаточно быстро поднимать ее до рабочей, что значительно снижает расходы на энергоносители, стоимость которых растет с каждым годом.

Восходящий тепловой поток согласно физическому закону Коанда прижимается к стене. Не смешиваясь с остальным воздухом в комнате, он нагревает вертикальную поверхность. На высоте до полутора метров температура стены на несколько градусов выше, чем в комнате, и это создаёт тепловой комфорт для находящихся в ней людей. Кроме того, ввиду слабого перемешивания нагретого воздуха с воздухом помещения и температуре приборов ниже температуры радиаторов и конвекторов не происходит возгонка пыли.

При монтаже используются специальные короба, которые могут быть стилизованы под любую дизайнерскую задумку. Использование данной системы значительно экономит пространство в помещении. Отопительные приборы могут прокладываться не только вдоль стен, но и по фасаду мебели и технологического оборудования в цехах. В отличие от теплого пола, при необходимости обслуживания системы плинтусного отопления нет необходимости разбирать напольное покрытие.

Принцип расчета данных систем отопления схож с расчетом теплых полов. Коллектор желательно располагать ближе к середине здания, а длина контуров не должна превышать 12,5 метров, так как в данном случае эффективность системы снижается. Как правило, отопительные приборы системы плинтусного отопления располагаются вдоль наружных стен, но при не достаточной тепловой мощности могут быть расположены и у внутренних перегородок, а при наличии в здании больших витражных окон применение плинтусного отопления является одной из приоритетных технологий.

Высокая эффективность плинтусного отопления, его экономичность и возможность вписать в любой дизайн помещения делает данный вид отопления наиболее перспективным для развития в современном строительстве. К тому же современные тенденции в строительстве направлены на снижение конечных затрат при возведении зданий и сооружений, времени на проведение строительно-монтажных работ и эксплуатационных затрат. Применение систем плинтусного отопления при строительстве быстровозводимых зданий, в том числе с использованием FDM технологий, не смотря на высокие капитальные затраты, позволяет снизить время на строительно-монтажные работы и затраты на эксплуатацию системы отопления.

УДК 711.455(23)

## **ГОРНОЛЫЖНЫЙ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ КУРОРТ В ГОРНОМ АЛТАЕ**

**Прошина Н.М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ершова Д.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: proshina142@gmail.com*

В данной статье рассматривается история формирования планировочного типа горнолыжных комплексов, типология и классификация горнолыжных комплексов при архитектурном конструировании современных построек. На основе обзорного анализа современных комплексов, выдвигается гипотеза дальнейшего развития планировочного типа курорта в Горном Алтае на основе новых технологий и потребностей человека.

Ключевые слова: горнолыжный туристско-рекреационный курорт,

Горный Алтай, туризм, активный отдых, рекреация, объемно-планировочные решения, функциональные зоны, архитектура.

Потребность человека в отдыхе всегда останется актуальной. Все больше и больше человек предпочитает активный отдых, нежели пассивный.

При проектировании курорта, для его успешной работы, необходимо учесть три составляющих: отдых, санаторно-курортное лечение и туризм. На Горном Алтае есть огромное количество мест для проведения кратковременного и длительного отдыха и лечения. Такие места подходят для целей как в экологическом, туристическом, так и в рекреационном отношении.

Для эффективного и качественного отдыха различных слоев населения нужно предусмотреть обширный спектр рекреационных услуг, выбор места и форм отдыха. Все это должен вмещать единый универсальный туристско-рекреационный комплекс, который бы функционировал круглогодично.

Горный Алтай обладает всеми необходимыми условиями для создания полноценного курорта в горах, а именно: высоким расположением над уровнем моря (500-900м), уникальным климатом, природным и растительным комплексом, живописным ландшафтом и рекреационными богатствами.

Горнолыжный туристско - рекреационный курорт (ГТРКу): вид ГТРК, занимающий горную территорию с горнолыжными трассами, прилегающими или расположенными на ней туристскими и альпинистскими маршрутами, спортивными и развлекательными площадками и объектами, бальнеологическими, горно-климатическими объектами и маршрутами, средствами размещения, и иной инфра-структурой, предназначенной для предоставления услуг [1].

Горнолыжный спорт в СССР начинает набирать популярность после проведения в 1934 году в Свердловске Чемпионата по лыжным гонкам, однако он начал активное развитие в 20-х годах XX века. В распоряжении спортсменов были прекрасные базы – на Кавказе и Украине, в горах Казахстана, Карпатах, в Сибири и на Камчатке. География отечественного горнолыжного спорта стремительно росла, как и его популярность.

Говоря об объемно-планировочном решении горнолыжных комплексов, можно разделить формирование на три типа:

- открытый горнолыжный комплекс (ОГК);
- полуоткрытый многофункциональный горнолыжный комплекс (ПМГК);
- закрытый многофункциональный горнолыжный комплекс (КМГК).

Открытый горнолыжный комплекс (ОГК) – это самый распространенный тип горнолыжного комплекса, где трассы и зона финиша с трибунами не имеют навесов. Подобный тип комплекса, свойственный большинству спортивных сооружений для горнолыжных видов спорта начала XX в., используется для соревнований и тренировок спортсменов различного уровня, а также для массового отдыха [9]. ОГК в поселке Шерегеш в Кемеровской области является примером такого типа.

Полуоткрытый многофункциональный горнолыжный комплекс (ПМГК) – это тип горнолыжного комплекса, где часть спортивной трассы размещается под открытым небом, а зона старта, финиша, трибуны, спортивные залы, помещения для зрителей и спортсменов, подсобные и другие сооружения имеют кровельные покрытия [9].

Например, Горнолыжный комплекс «АЗАУ», общей площадью 43050 м<sup>2</sup>. Располагается у подножия склона горы Эльбрус.

Крытый многофункциональный горнолыжный комплекс (КМГК) – это сравнительно новый тип горнолыжного комплекса, представляющий собой крытое спортивное сооружение, позволяющее круглогодично заниматься различными видами спорта, основным из которых является горнолыжный спорт, и которое может включать в себя и другие объекты различного функционального назначения [9].

На сегодняшний день единственный крытый многофункциональный горнолыжный комплекс построен в Подмосковье, г. Красногорске и имеет название «СНЕЖ.КОМ». Вместимость комплекса равна 2000 человек.

Проектируя современные МГК, следует проработать функциональную и идейную стороны проекта, что позволит создать современные художественные функционально-оправданные решения.

Изначально при формировании архитектуры многофункциональных горнолыжных комплексов, выразительная архитектура отсутствовала. Сооружения имели задачи утилитарные и функциональные. Например, организация соревнований и тренировочных процессов. Со временем, при появлении все больше новых видов спорта, потребовалось расширение функциональности спортивных сооружений. Совершенствование конструктивной и технической базы дали возможность появлению той архитектуре, которой не было ранее. Конфигурация пространств является важным аспектом при формировании композиционного решения всего комплекса. Будь это крытые горнолыжные комплексы – такие архитектурные сооружения становятся доминантами и задают композицию для формирования проектного решения комплекса.

Архитектурная практика предполагает два основных направления для формирования архитектуры горнолыжных комплексов. Это бионическое и функционалистическое решения.

Бионическое направление предполагает эксперименты с образом комплекса будущего, заимствуя природные формы и их не прямое копирование, при формировании архитектуры.

Возраст посещаемых такие комплексы, в среднем составляют молодые люди до 30-35 лет. Это та часть людей, которая приветствует нестандартные, новые решения.

Бионическая архитектура привлекает большинство любителей активного отдыха молодого возраста, чем комплексы функционалистического направления.

Примерами такого стиля в архитектуре являются «СНЕЖ.КОМ», «Ski

Dubai». Архитектурное решение «СНЕЖ.КОМ» представляет собой форму эллипса в поперечном сечении.

Что касается функционалистического направления в архитектуре, то здесь рациональное решение опережает концептуальное. То есть функция определяет форму. Архитектурно-художественная сторона таких проектов не так эффектна, но точки зрения планировочных решений логична. Примером такого горнолыжного комплекса является «The Snow Centre Hemel» в Великобритании - прямоугольный объем, нависающая плоская крыша, сплошное остекление, деревянные декоративные элементы.

Проработка идейной и функциональной стороны является необходимостью для формирования архитектуры современных многофункциональных горнолыжных комплексов. Итог – современные функциональные и оправданные высокохудожественные решения.

Приведя примеры различных горнолыжных комплексов, можно проследить трансформацию сооружений. Первые постройки открытых горнолыжных комплексов без архитектурной составляющей «переросли» в крытые многофункциональные сооружения со специфической архитектурой, выделив три этапа становления горнолыжной архитектуры:

1 – открытые (сезонного использования) горнолыжные комплексы начало двадцатого века

2 – полуоткрытые многофункциональные горнолыжные комплексы середина двадцатого века

3 – крытые многофункциональные горнолыжные комплексы конца двадцатого начал двадцать первого века

При этом каждый этап не был внезапно завершен, они плавно переходили из одного в другой, продолжая развиваться параллельно.

По отношению к архитектуре и конструктивному решению, современные горнолыжные комплексы – это крупные спортивные центры. Соотношения функциональных зон и общественных пространств следует оптимизировать при процессе проектирования для расширения функций горнолыжного комплекса.

Немало важно организовать летний отдых на тех же склонах, что и зимой. Это является важнейшей экономической задачей – обеспечить всесезонность функционирования ГТРКу. Обычно, горнолыжные комплексы, которые работают только зимой и собирают прибыль, несут убытки летом, не имея никакого обеспечения для летнего отдыха туристов. Организовав пеший и горный туризм, активный летний отдых, большое количество услуг Apres ski, курорт будет пользоваться спросом круглый год, а значит и приносить постоянный доход. Перспективный курорт должен иметь тренировочные базы по стандартам олимпийского комитета. Популярность курорта среди туристов зависит от того, насколько разноплановые услуги может предоставить горнолыжный курорт. Поэтому важно предложить не только для любителей, но и отдельное направление для удовлетворения потребностей профессиональных спортсменов. Перспективный курорт должен иметь тренировочные базы по

стандартам олимпийского комитета. Одна из главных задач проектирования заключается в том, чтобы правильно запланировать горнолыжные трассы, которые будут разными по сложности и в достаточном количестве. Организуя отдельную зону для начинающих лыжников и маленьких детей, оборудовав сектор различными лыжными аттракционами, где ребенок может проводить весь день под присмотром волонтеров и тренеров в то время, пока их родители могут кататься на основных трассах, - все это позволит решить две задачи: воспроизводство клиентуры и полноценный семейный отдых.

Горнолыжный туристско-рекреационный курорт в Горном Алтае за-проектирован таким образом и в таком географическом расположении, что позволит обеспечить все виды горнолыжных трасс и подъемников, все наименования летнего и зимнего вида спортивного отдыха, удовлетворить любую потребность, разместив на базе курорта обширную инфраструктуру, включая развитый комплекс медицины и спортивных школ всех уровней.

В проекте так же предусмотрены все виды проживания, начиная с индивидуального малого домика и заканчивая гостиничным размещением.

Предоставляя выбор для всех категорий людей, курорт будет иметь спрос и популярность, всесезонную наполняемость, повседневную актуальность на долгое перспективное будущее.

Архитектурный проект туристско-рекреационного горнолыжного курорта в Горном Алтае – проект, уникальный в своем роде, так как не имеет аналогов в настоящее время во всем мире, по наличию обширной инфраструктуры для обеспечения большинства потребностей и услуг для спортсменов, туристов и отдыхающих на курорте.

Вся площадь делится на такие зоны, как: жилая зона, зона для обслуживающего персонала, культурно-досуговая зона, центр обслуживания, общественно-деловая зона, спортивная зона (школа олимпийского резерва, спортивный лагерь), рекреационная зона (реабилитационный центр), бальнеологическая зона, горно-климатическая зона, зона игры для гольфа, зона пешего туризма (терренкур и экстремальный парк – летом, альпийский каток – зимой), зимняя и летняя спортивно-туристическая и горнолыжная зоны (зоны альпинизма, пешего и горного туризма, зимнего горнолыжного комплекса), зона этнического парка, зона ботанического сада.

В последнее время крупные передовые, инновационные и многофункциональные горнолыжные комплексы, характеризующиеся современными архитектурными чертами, выходят на новый уровень в понимании спортивных центров как таковых.

Очень важным для развития инфраструктуры Республики Горный Алтай была бы инициация строительства широкоформатного с точки зрения функциональности горнолыжного комплекса, который бы включал в себя множество спортивно-развлекательных объектов, в частности, помимо спусков и сноупарков, в них вошли бы всевозможные виды досуга, спорта и отдыха, доступные в наши времена в городских условиях. Чем больше есть возмож-

ность для предоставления обширных спектров услуг, тем больше привлекательность для времяпрепровождения любой категории населения людей.

При проведении различных соревнований по зимним видам спорта, расширение FUN-зон и проведения видеотрансляций соревнований позволит увеличить популярность и кассовые сборы с покупки билетов на данные мероприятия, а так же повысит налоги в бюджет Республики и привлечет дальнейшие инвестиции.

#### Библиографический список

1. ГОСТ Р 55881-2016. Туристские услуги. Общие требования к деятельности горнолыжных комплексов.

2. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

3. Поморов, С. Б. Отдых и туризм в горах и предгорьях Алтая. Архитектурно-градостроительная организация объектов рекреации : научная монография / С. Б. Поморов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2008.

4. Максимов, О. Г. Горно-рекреационные комплексы / О. Г. Максимов, Е. А. Ополовникова. – М. : Стройиздат, 1981. – 120 с.

5. Поморов, С. Б. Архитектурно-социологические предпосылки формирования рекреационных комплексов в горном и предгорном Алтае : научная монография / С. Б. Поморов, Н. В. Морозова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2009. – 107 с.

6. Поморов, С. Б. Градостроительная организация территорий рекреационно-туристического назначения / С. Б. Поморов // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2006. – № 1. – с. 29–32.

7. Крюченко, А. Развитие горнолыжной индустрии в Алтайском крае [Электронный ресурс]: / А. Насырова // Горнолыжная индустрия России: электронный журн. / ООО «СпортАкадемРеклама». – 2010. – Выпуск №5(17) - Режим доступа: <http://bmsi.ru/doc/4e4c1c0c-328e-4a9c-b6f1-0442712a4057>

УДК 644.11

## ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОАККУМУЛЯЦИОННОГО ОТОПЛЕНИЯ

**Пугина А.В.**

**Научный руководитель: Баклушина И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baklushina.iv@gmail.com*

Приведены преимущества и недостатки электроаккумуляционного отопления. Рассмотрены разновидности, принцип работы и конструкции теплоаккумулирующих печей.

Ключевые слова: электрическое отопление, теплоаккумулирующие печи, ключевое слово.

Электроаккумуляционное отопление – электрическое отопление с аккумуляцией теплоты. Основными способами аккумуляции тепла могут служить способ сохранения тепла в предварительно нагретом материале, использование скрытого тепла между двумя фазами материала и применение реакций обратного химического процесса [1].

Электротеплоаккумулирующие приборы потребляют электроэнергию только в периоды снижения других электрических нагрузок. Такие приборы, выравнивающие суточное потребление электроэнергии, повышают эффективность работы энергосистем.

Общий суточный цикл работы электротеплоаккумулирующего прибора включает в себя период "зарядки" (обычно ночной), в течение которого нагревательные элементы подключены к электрической сети, и период "разрядки", когда нагревательные элементы от сети отключены [2].

Чаще всего используют теплоаккумулирующие печи. Для аккумуляции теплоты в печах имеется сердечник из теплоемкого, теплопроводного, взрывобезопасного дешевого материала без запаха [2]. Эффективным материалом считается магнезит. Для понижения температуры поверхности печи сердечник покрывается тепловой изоляцией.

Существует три типа теплоаккумулирующих печей:

- Нерегулируемые - наиболее простые и дешевые. При их применении возникают наибольшие колебания температуры помещения. Теплоту они отдают за счет излучения и конвекции примерно в равных долях;

- Аккумулирующие конвекторы; внутренний конвективный канал и регулирующий клапан позволяют поддерживать более ровную температуру помещения в течение суток;

- Динамические теплоаккумуляторы - наиболее совершенные, со встроенным двухскоростным вентилятором и регулирующим клапаном. Основной способ теплоотдачи - вынужденная конвекция. Высокотемпературный воздух, прошедший через П-образный канал, смешивается с воздухом помещения, что обеспечивает допустимую (обычно от 40 до 50 °С) температуру на выходе из решетки. Сигнал на включение и выключение вентилятора поступает от датчика температуры, устанавливаемого в помещении [2].

Преимуществом использования электроаккумуляционного отопления является:

- Его можно легко установить самостоятельно;
- Легко настраиваются;
- Намного легче получить разрешение на установку таких устройств, чем на установку других видов отопления;
- Довольно быстрый обогрев;
- Просты в управлении;
- Не нужен постоянный контроль за подачей топлива. Необходимо только задать температурный режим;

– Комфортный температурный режим в помещении установится всего лишь после 10-15 минут после того как система начнет работать.

К недостаткам такого вида отопления можно отнести:

- Дорогостоящее оборудование;
- Высокие нагрузки на электрическую проводку и кабели напряжения;
- Сам обогрев помещения обходится довольно дорого.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что электроаккумуляционное отопление может быть довольно полезным при отсутствии других видов отопления.

#### Библиографический список

1. Дроздов В. Ф. Отопление и вентиляция. Отопление. Учебник для строит. Вузов. М., «Высшая школа», 1976. – 280с.

2. Сканави А. Н. Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство», специальности 290700 / Л. М. Махов. – М.: АСВ, 2002. – 576с

УДК 721.011:725.75

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА КУРОРТНОЙ ЗОНЫ ТЕРСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКОГО КУРОРТА**

**Чепурная И.Д.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ершова Д.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: chepurnaia\_21@mail.ru*

В статье приведен анализ ландшафтных и природно-климатических особенностей курортной зоны Терсинского месторождения минеральных вод, расположенного на расстоянии 75 км от города Новокузнецка Кемеровской области. В статье также предложен вариант градостроительной композиции и перспективный план развития бальнеологического курорта, основанный на изучении климатических и ландшафтных характеристик данной местности.

Ключевые слова: курорт, ландшафт, градостроительство, композиция генерального плана.

На территории Кемеровской области наблюдается нехватка рекреационных территорий, и как следствие низкий уровень здоровья населения промышленных городов, таких как Новокузнецк. Наличие месторождения уникальной минеральной воды, близкой по своему составу к углекислым водам курорта Грузии «Боржоми» дает возможность создать на базе этого место-

рождения курортно-оздоровительного комплекса с бальнеологической функцией. Однако первым этапом проектирования курорта является определение рекреационного потенциала выбранной местности, композиционных закономерностей ландшафта и другие природных факторов территории, которые впоследствии будут служить основой формирования градостроительной композиции курорта.

Месторождение минеральной воды – «Терсинка» находится на расстоянии 75 км от города Новокузнецка и в 4 км от села Макариха, центральная часть населённого пункта расположена на высоте 228 метров над уровнем моря.

Участок проектирования обладает следующими ресурсами (рисунок 1):



Рисунок 1 – Природные ресурсы участка проектирования

*Лечебные факторы:*

- Минеральная вода «Терсинка» — лечебно-столовая гидрокарбонатная кальциево-натриевая углекислая рекомендованная для употребления в целях профилактики и лечения многих заболеваний.

*Климатические и ландшафтные факторы:*

- Чистая горная река Верхняя Терсь, насыщенная перекатами и островами, которая течет из уникального заповедника Кузнецкий Алатау. Перепад реки от истока до устья составляет 1000 м;

- Высокогорные сосново-лиственные леса, среднегорная черневая тайга и высокогорная пихтово-кедровая тайга - источник свежего воздуха, что наиболее ценно для Кемеровского промышленного региона;

- Горы, создающие живописные пейзажи;

- Перспектива устройства горнолыжных трасс и канатной дороги;

- Возможность создания «маршрутов здоровья» (терренкуров) на территорию заповедника «Кузнецкий Алатау».

*Разнообразие флоры и фауны:*

- Уникальные виды лекарственных растений: гороцвет, маралий и золотой корень. А также много питательного сырья - грибов, ягод и кедрового ореха.

- Наличие в реке ценных промысловых рыб, занесённых в Красную книгу: таймень, ленок и хариус.

- Редкие виды животных и птиц: марал, северный олень, соболь, глухарь, белая куропатка и черный аист.

Таким образом, природа и ландшафтно-климатические особенности территории позволяют отнести ее к региону с высоким рекреационным потенциалом.

Река Верхняя Терсь – это стабильный природный каркас. Она может стать основной осью градостроительной композиции курорта. Горный хребет «Долгий камень» является второй природной продольной осью ландшафта. Эти две продольные оси диктуют тип протяженной застройки курорта (рисунок 2).

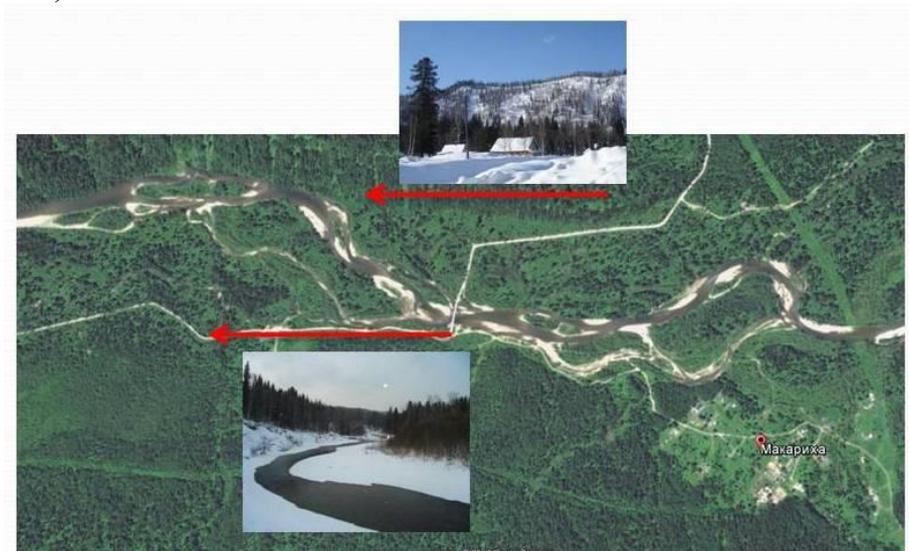


Рисунок 2 – Ландшафтные закономерности участка проектирования

Деревня Макариха и село Загадное располагаются на восточном берегу реки располагаются, между ними около 6 км. С противоположным берегом населенные пункты связывает мост. Этот участок является наиболее выгодным для организации курорта по следующим причинам:

- 1) расположение скважины минеральной воды;
- 2) равнинный ландшафт;
- 3) наличие инженерных коммуникаций между двумя населенными пунктами;
- 4) защита от ветра горами, которые окружают участок;
- 5) вдоль реки, вглубь гор, исходя из композиции ландшафта, возможно дальнейшее развитие градостроительной композиции;
- 6) наилучшие виды на фасад гор хребта «Долгий Камень» с одной стороны, на холмистый живописный ландшафт черновой тайги с другой.

На генеральном плане курорта можно выделить следующие функциональные зоны: селитебная территория, территория общественных центров, промышленная и коммунально-складская территория, ландшафтно-рекреационная зона и туристические территории, представленные бальнеологическим и горнолыжным комплексами (рисунок 3).

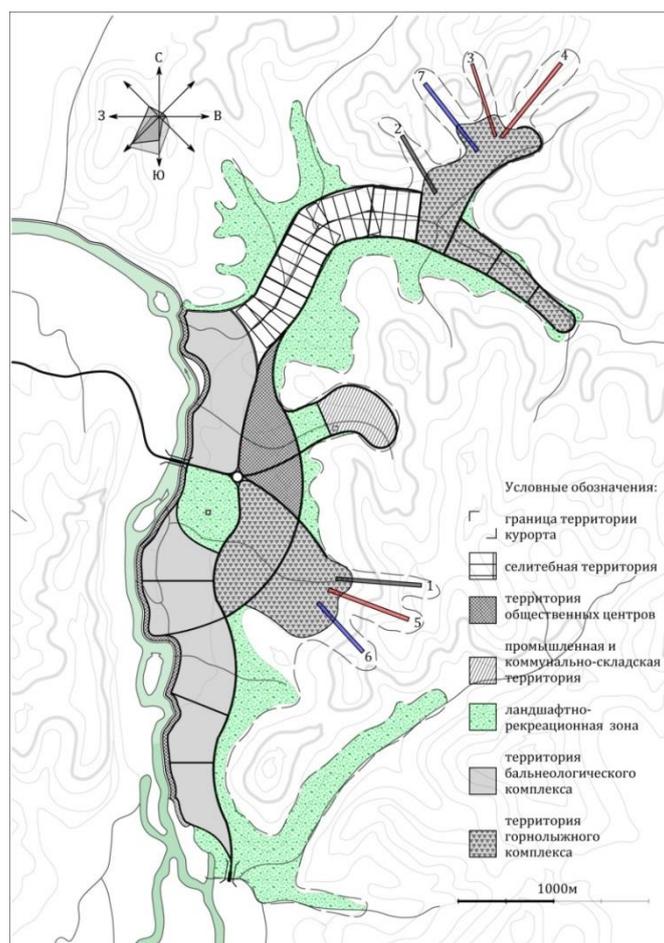


Рисунок 3 – Схема функционального зонирования курорта

Бальнеологический комплекс занимает большую часть курорта, так как характеризует его направленность. Он включает в себя санаторно-курортные, медицинские и спортивные учреждения, бюветы, а также большое количество отелей и индивидуальных коттеджей павильонного типа.

От весенних паводков бальнеологический комплекс защищает набережная, она же является местом притяжения жителей и отдыхающих. На территории набережной располагаются различные объекты культурно-развлекательного характера, смотровые площадки, торговые павильоны, кафе, рестораны. Протяженную линию набережной прерывает неотъемлемым элементом градостроительной композиции бальнеологического комплекса - песчаный пляж шириной более 200 м.

Промышленная зона, в которой находится фабрика по разливу минеральной воды и другие небольшие промышленные и коммунально-складские объекты располагается в укромном месте, за горой, которая закрывает её от глаз отдыхающих. Площадь фабрики составляет 0,25 Га, вокруг которой предусмотрена санитарно-защитная зона 300 м (III класс опасности).

Селитебная территория представляет собой кварталы малоэтажной застройки общей площадью 225 га на 1 тысячу человек. Жители могут быть обеспе-

чены рабочими местами на фабрике и на территории туристического комплекса.

Горнолыжный комплекс представлен двумя секторами. На каждом есть горнолыжные трассы различного уровня сложности. Один сектор располагается рядом с бальнеологическим комплексом в незначительном удалении от реки, второй в глубине гор.

Общекурортный центр является ядром градостроительной композиции и находится на равноудаленном расстоянии от жилых кварталов, бальнеологического и горнолыжного комплекса.

Ландшафтно-рекреационная зона занимает участки территории вокруг жилых и туристических зон. Часть этих территории является резервной для развития курортных территорий. Дальнейшее развитие градостроительной композиции возможно выше по течению реки.

По данным управления недропользования по Кемеровской области (Кузбасснедра) к Терсинскому месторождению проложена скоростная дорога и линия электропередачи. [1] Функциональные зоны разделены между собой магистралями общегородского значения, по которым организовано движение общественного транспорта. В центре курортного образования располагается автодорожная развязка, разделяющая магистрали, ведущие на промышленную территорию и на территории туристических и жилых зон. Внутри функциональных зон имеются магистрали районного значения, улицы и проезды.

#### Библиографический список

1. Терсинка [Электронный ресурс] терсинка.рф - 2015. – Режим доступа: <http://xn--80ajjiqhf.xn--p1ai/>.

УДК 658.264

## СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗДАНИЙ

**Сухоруков В.Ю.**

**Научный руководитель: доцент Баклушина И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baklushina.iv@gmail.com*

В данной статье рассмотрены современные возможности тепловизионного контроля зданий.

Ключевые слова: тепловизионный контроль зданий, тепловизор.

Предъявляемые к современным зданиям и сооружениям теплотехнические требования для обеспечения энергоэффективности зданий и строительных сооружений направлены на поиск технических решений, позволяющих повысить уровень тепловой защиты зданий и уменьшить расходы на их

отопление, горячее водоснабжение и освещение. Особенно актуально этот вопрос стоит в бюджетных организациях [1,2, 3].

Для определения энергосберегающих характеристик и тепловых потерь конструкций зданий и сооружений, разрабатывается энергетический паспорт здания и проводится тепловизионная съемка объекта. Энергетический паспорт регистрирует и устанавливает расчетным способом реально полученные теплофизические характеристики строительных конструкций. С помощью тепловизионной съемки производится качественная проверка теплозащиты здания [4].

Насколько качественно выбрана конструкция теплозащиты здания, правильно и корректно проведен подбор строительных материалов и конструкций, присутствуют ли отклонения и отступления от проектной документации, и наконец, насколько грамотно выполнены строительно-монтажные работы – на все эти вопросы можно ответить с помощью тепловизионной съемки.

Проведение обследований зданий с помощью тепловизионной съемки требует от организации наличия необходимого специального оборудования и группы высококвалифицированных в тепловизионной съемке и строительном деле специалистов.

Современная конструкция тепловизора представляет собой цифровой прибор, принцип работы которого основан на способности улавливать ИК-излучения от обследуемых объектов и определять температуру либо преобразовывать его в визуальную картинку распределения тепловых полей по поверхности объекта, например, чердачного перекрытия [2].

Тепловизоры снабжены устройством для высвечивания на экране изотермических поверхностей, а также устройством для измерения выходного сигнала, значение которого функционально связано с измеряемой температурой поверхности [4].

Прибор позволяет регистрировать температурное поле на поверхности любого объекта бесконтактным методом за счет излучения, а термограммы являются основой для анализа полученной информации по тепловому состоянию объекта. Наличие неоднородностей в тепловом состоянии объекта характеризуется изменением температуры в этой части поверхности и плотности теплового потока, по сравнению с теплотехническими параметрами других участков в исследуемом объекте. Методика работы с тепловизором использует неразрушающие методы измерений – тепловой неразрушающий контроль – и дает возможность оперативно, в течение нескольких часов, проводить натурные обследования объекта [4].

При выборе прибора для целей тепловизионного контроля объектов строительства особое внимание нужно обращать на диапазон измеряемых температур, который должен иметь в верхнем пределе не менее 100 °С, а нижний – не менее -20 °С. При использовании прибора в районах Крайнего Севера нижний предел желательно иметь до -50 °С, однако, учитывая, что

питание приборов осуществляется от аккумуляторов, при погодных условиях ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  работа прибора будет ограничена во времени.

Кроме того, важным для точности проведения тепловизионной съемки является наличие специальных дополнительных объективов – широкоугольников и объективов, приближающих объекты исследований. А также необходимо обеспечить группу специалистов преобразователем (датчиком) теплового потока, термоэлектрическим термопреобразователем, цифровым измерителем термоэдс, анемометром, пирометром и влагомером строительных конструкций.

Исследование здания начинается с оценки его конструктивной схемы: фундамента, конструкции стен, светопрозрачных ограждающих конструкций, элементов крыши. Данные по проекту с его техническими и строительными характеристиками отражаются в протоколе или отчете проведения инструментального и тепловизионного обследования. Далее проводится внешний визуальный осмотр здания и наружных ограждений и определяется доступность ограждающих конструкций для съемки тепловизионной камерой.

На этапе подготовительных работ специалистами определяется методика проведения натурных обследований. В методике устанавливают порядок организации, проведения и обработки результатов испытаний ограждающих конструкций и контроля уровня теплозащиты при проведении комплексного тепловизионного обследования в натуральных условиях с использованием контактных методов измерений. Кроме того, в ней регламентируется проведение испытаний ограждающих конструкций зданий: наружных стен, покрытий, чердачных перекрытий, перекрытий над проездами, холодными подпольями и подвалами, ворот и дверей в наружных стенах, а также оконных и балконных дверных блоков, фонарей и других ограждающих конструкций, разделяющих помещения с различными температурно-влажностными условиями, и устанавливает методы определения:

- приведенного сопротивления теплопередаче в натуральных и лабораторных условиях;

- сопротивления теплопередаче участков ограждающих конструкций, неоднородных по теплотехническим параметрам, имеющих другой уровень теплозащитных свойств.

Лучше всего методику проведения тепловизионного обследования ограждающих конструкций зданий сочетать с контактными методами определения теплотехнических характеристик выборочных участков ограждающих конструкций [2].

Из выше сказанного можно сделать вывод, что таким образом применение тепловизионного оборудования позволит сформировать рекомендации по повышению энергоэффективности зданий.

#### Библиографический список

1. Зоря И.В., Стерлигов В.В. Энергосбережение бюджетной организации в

современных условиях / И.В. Зоря, В.В. Стерлигов // Вестник сибирского государственного индустриального университета – №4(10), 2014. – С. 15-17.

2. Зоря, И.В., Логунова, О.Я. Энергосбережение в учебных заведениях высшего профессионального образования / И.В. Зоря, О.Я. Логунова // Вестник сибирского государственного индустриального университета – №4(10), 2014. – С. 21-24.

3. Мацук В.Ю., Баклушина И.В. О накопленном опыте в области энергосбережения бюджетных организаций / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. – Новокузнецк, 2015. – С. 296-299.

4. Шубин Л.И. Современные возможности тепловизионного контроля зданий [Электронный ресурс] / Л.И. Шубин // “АВОК” . – №4’2005. – Режим доступа : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2866](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2866), свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения: 02.05.17)

УДК 621.01

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

**Фрикер К.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Башкова М.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: mn419@mail.ru*

Котельные агрегаты малой производительности, широко используемые в ЖКХ и работающие на разных видах топлива, можно оборудовать различными топливосжигающими устройствами (ТСУ), например ретортными горелками.

Ключевые слова: котельные агрегаты, ретортные горелки.

Ретортные горелки появились на рынке раньше других и получили распространение в котлах с автоматической подачей топлива. Горелка имеет достаточно простую конструкцию[1]. В горизонтальной части ретортной горелки находится подающий шнек, соединяющий горловину для забора пеллет из бункера и горелочную часть. Горелочная часть выполнена в форме Г-образной трубы, направленной вверх, и заканчивается венцом. Зола, образующаяся в процессе сжигания топлива, удаляется с помощью специального хвостовика на конце шнека горелки, сбрасывающего золу при подаче нового топлива в зону сжигания. Такое решение дает возможность использовать в качестве топлива как уголь, так и пеллету.

Топливные гранулы (пеллеты) – представляет собой цилиндрические гранулы стандартного размера, экологически чистое топливо с содержанием

ем золы, как правило, не более 3 % , при производстве пеллет в основном используются отходы лесопильных производств и сельского хозяйства.

Преимущество пеллет:

1) обеспечение высокой теплотворной способности по сравнению со щепой или дровами (при сгорании тонны гранул выделяется приблизительно 3,5 МВт·ч тепла);

2) высокая и постоянная насыпная плотность.

Из недостатков – зависимость от качества сырья (если в месте произрастания сырья окружающая среда содержит токсины или радиоактивные вещества, то при сжигании гранул эти вещества могут быть распылены в атмосферу).

Достоинства ретортной горелки:

1) для очистки ей не нужна пауза, по своей конструкции она чем напряжённей работает - тем лучше очищается (за счёт прохода топлива через реторту);

2) несложная, а значит надёжная механизация очистки (вращение-ворошение), не требующая дополнительного привода по сравнению с шагающими колосниками, поршнями, пневмоочисткой и пр.;

3) неприхотлива к качеству топлива, хотя, возможно падение КПД и увеличение выбросов.

Недостатки ретортной горелки:

1) чувствительность к качеству материала, из которого изготовлен шнек;

2) сложность демонтажа для перехода на другое топливо;

3) высокая цена по сравнению с факельными горелками.

Таким образом, по заявлениям производителей можно сделать вывод, что использование ретортных горелок в котельных агрегатах малой мощности позволяет автоматизировать работу котла на любом топливе, а простое устройство подачи топлива уменьшает вероятность поломки и обеспечивает простоту ремонта. Имеющиеся в распоряжении авторов статьи факты[2,3] свидетельствуют о том, что не всегда горелки хорошо справляются с заменой одного твердого топлива на другое. Поэтому дальнейшим направлением работы видится проведение исследований на котлах, оборудованных ретортными горелками.

#### Библиографический список

1. Пеллетная горелка для котла. Электронный ресурс. - режим доступа: [http://avtonomnoeteplo.ru/otopitelnye\\_kotly/304-pelletnye-kotly-s-fakelnoy-gorelkoj.html](http://avtonomnoeteplo.ru/otopitelnye_kotly/304-pelletnye-kotly-s-fakelnoy-gorelkoj.html) (дата обращения 19.04.2018)

2. Башкова М.Н., Казимиров С.А., Темлянцев М.В., Багрянцев В.И., Рыбушкин А.А., Слажнева К.С./ Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках// Вестник СибГИУ, 2014. №2. С.24-32.

3. Башкова М.Н., Боровский В.Ф., Боровский В.В. /О длительности горения топлива на примере котлов малой теплопроизводительности марки «STROPUBA»// Вестник СибГИУ, 2014. №4. С.18-21.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА ОБРАЗЦОВ ЯЧЕИСТОЙ КЕРАМИКИ

**Шевченко В.В., Мартынецв Д.Ю.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Столбоушкин А.Ю.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: vikashev1993@mail.ru*

В работе определена оптимальная температура обжига ячеистых керамических образцов из кремнеземистого сырья. Ячеистая структура керамики формируется за счет использования гранулированного пеностеклокристаллического материала из кремнеземистых пород (ГПСКМ). Оптимальная температура обжига керамических образцов с ячеистой структурой составляет 850-900 °С при изотермической выдержке 80-90 минут.

Ключевые слова: ячеистая структура, стеновая керамика, параметры обжига, гранулированный пеностеклокристаллический материал

Производство одновременно легких и прочных стеновых материалов для возведения однослойных стен всегда было актуальной проблемой строительного материаловедения. Сегодня этому условию в полной мере отвечают стеновые материалы с ячеистой структурой. С учетом возросших с 2000 годов нормативных требований к ограждающим конструкциям (более чем в 2 раза) проводятся интенсивные разработки новых видов эффективных стеновых материалов из природного и техногенного сырья [1]. Таким образом, создание новых видов ячеистых керамических материалов является актуальным и имеет особенное значение в условиях сурового климата Сибирского региона, включая город Новокузнецк.

*Цель настоящего исследования заключалась в определении оптимальной температуры обжига ячеистых керамических образцов из кремнеземистого сырья.*

Для формирования ячеистой структуры керамики использовался гранулированный пеностеклокристаллический материал из кремнеземистых пород «Kerwood» производства ООО «Баскей Керамик» (г. Челябинск).

Химический, гранулометрический составы сырья и технические характеристики ГПСКМ представлены в работе [2].

По результатам ранее проведенных исследований авторами из оптимизированных гранулированных шихт состава 75 % ГПСКМ и 25 % суглинка разработанным способом [3] были изготовлены ячеистые керамические материалы. После прессования, сушки и обжига которых формируется прочная ячеистая структура керамического материала [4].

Для приготовления керамических образцов в турболопастной смеси-тель гранулятор загружались гранулы ГПСКМ и увлажнялись до формовочной влажности 8-12 %. Затем в гранулятор вводился высушенный тонкодис-

персный суглинок. Из гранулированных шихт формовочной влажностью 10-11 % прессовались образцы при удельном давлении 5 МПа. Сырцовые изделия высотой 45-55 мм и диаметром 50 мм сушились до постоянной массы в сушильном шкафу. Для определения оптимальной температуры обжига образцов использовался ступенчатый режим нагрева с изотермической выдержкой в течение 80-90 минут (рисунок 1).

Максимальная температура обжига изменялась в интервале от 850 до 1000 °С с шагом 50 °С. Предварительные исследования показали, что при температуре более 1000 °С происходит полное расплавление и вспучивание образцов.

Продолжительность процесса подъема температуры с изотермической выдержкой составляла 330 минут. Процесс охлаждения образцов до комнатной температуры протекал естественным образом, после отключения системы нагрева муфельной печи. Средняя скорость понижения температуры в начальный период составляла 2,5-3,0 °С в мин, общее время остывания печи 5-6 часов.

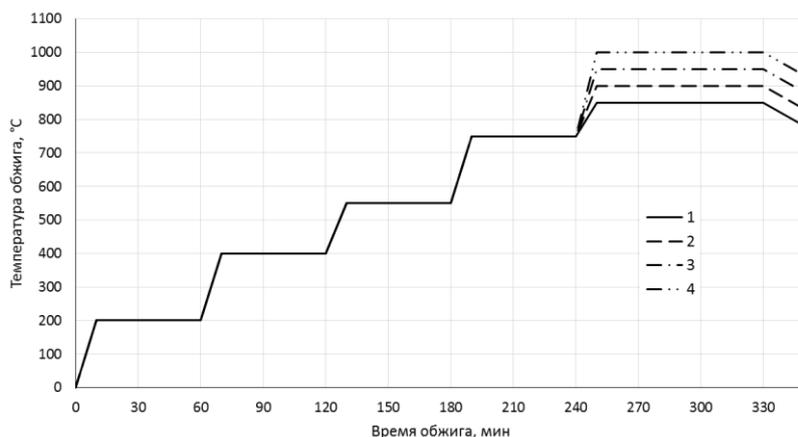


Рисунок 1 – Пятиступенчатый режим подъема температуры общей продолжительностью 330 при обжиге ячеистых керамических образцов с выдержкой максимальной температуры, °С: 1 – 850; 2 – 900; 3 – 950; 4 – 1000

Внешний вид ячеистых керамических образцов из кремнеземистого сырья в зависимости от максимальной температуры представлен на рисунке 2.

Влияние температуры обжига на усадку и среднюю плотность ячеистых керамических образцов из кремнеземистого сырья приведено в таблице 1.

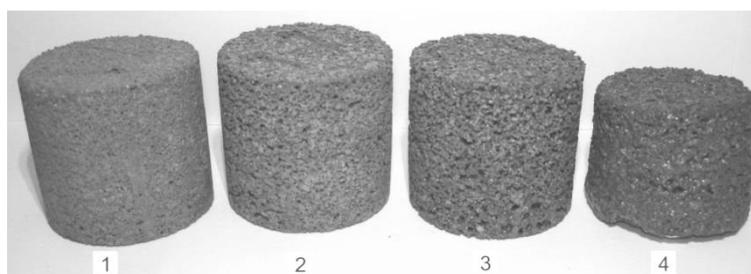


Рисунок 2 – Изменение внешнего вида ячеистых керамических образцов из кремнеземистого сырья в зависимости от температуры обжига, °С: 1 – 850; 2 – 900; 3 – 950; 4 – 1000

Установлено, что, начиная с 900 °С, происходят частичный пережог и оплавление образцов (рисунок 2). Увеличение максимальной температуры обжига приводит к уплотнению и росту огневой усадки образцов (средняя плотность возрастает с 1000 до 1600 кг/м<sup>3</sup>, огневая усадка – до 8,5 %).

Таблица 1– Влияние температуры обжига на характеристики ячеистых керамических образцов из кремнеземистого сырья

Состав шихты	Температура обжига, °С	Воздушная усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Внешний вид
ГПСКМ – 75 %; суглинок – 25 %	850	< 1	< 1	1027	без дефектов
	900	< 1	1	1012	без дефектов
	950	< 1	2,6	1081	заметные усадочные деформации образцов
	1000	< 1	8,4	1592	частичное оплавление образцов

В результате проведенных исследований установлена оптимальная температура обжига керамических образцов с ячеистой структурой, которая составляет 850-900 °С. При постановке эксперимента изотермическая выдержка при максимальной температуре составляла 90 минут. Определение оптимальных значений продолжительности обжига запланировано на следующем этапе исследований.

#### Библиографический список

1. Письмо Госстроя России от 01.02.2000 г. № НМ-368/3 «О теплозащите строящихся и эксплуатируемых зданий». Информационный бюллетень «Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве» № 2, 2000.
2. Казанцева, Л.К. Вспененные стеклокерамические теплоизоляционные материалы из природного сырья / Л.К. Казанцева, В.И. Верещагин, Г.И. Овчаренко // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 33–34.5.
3. Патент № 2593832. Российская Федерация, МПК С1 С 04 В 33/13. Способ изготовления стеновых керамических изделий / А.И. Иванов, А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко // Заявл. 08.06.2015. Опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22.
4. Столбоушкин, А.Ю. Исследование структуры и свойств ячеистых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, В.В. Шевченко, О.А. Фомина, М.С. Дружинин // Строительные материалы. – 2017. – № 12. – С. 7–13.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b> .....	3
<b>Панфилов А.О., Гришанков А.А., Черемнов А.М.</b> Изучение микроструктуры и свойств алюминиевого сплава АД31 и меди М1 после сварки трением с перемешиванием .....	3
<b>Черемнов А.М., Лугинин, Н.А, Княжев Е.О.</b> Изучение микроструктуры и свойств соединения алюминий – медь, полученного методом СТП.....	7
<b>Аксёнова К.В.</b> Механизмы упрочнения сталей с бейнитной и мартенситной структурами при пластической деформации .....	11
<b>Гришанков А.А., Черемнов А.М., Княжев Е.О.</b> Сварка трением с перемешиванием (СТП) на примере неразъемного биметаллического соединения алюминий – медь.....	15
<b>Княжев Е.О., Лугинин Н.А., Панфилов А.О.</b> Обработка трением с перемешиванием на примере алюминиевого сплава АМГ-5.....	19
<b>Лугинин Н.А., Панфилов А.О., Гришанков А.А.</b> Изучение микроструктуры и свойств сплава Д16 после сварки трением с перемешиванием.....	23
<b>Николаева А.А., Булычева Е.В.</b> Исследование люминесценции синтетических азокрасителей.....	28
<b><u>Зайцев Н.С., Зенцова С.В., Бендре Ю.В.</u></b> Термодинамический анализ реакций взаимодействия титана с хлор-реагентами в стандартных условиях и интервале температур 298,15 – 1500 К.....	30
<b>II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b> .....	36
<b>Мишин С.А., Попроцкий Ю.Н</b> Программно-технический комплекс «Blast Maker».....	36
<b>Букарев А.А.</b> Обзор технологии магнитной передачи.....	39
<b>Потлог М.М.</b> Модернизация автоматизированной системы оперативного диспетчерского управления распределительными устройствами в условиях оао шахта «Распадская» .....	45
<b>Секингер Н.А., Борзых Д.М., Никитина А.М., Риб С.В.</b> Разработка мероприятий по переходу механизированным комплексом горно-геологических нарушений .....	49

<b>Бухгольц Э.И., Риб С.В.</b> К вопросу о совершенствовании методики определения нагрузки на длинный комплексно-механизированный очистной забой.....	53
<b>Савченко С.А., Воронков В.А., Никитина А.М., Риб С.В., Борzych Д.М.</b> Разработка технико-технологических решений по повышению темпов проведения подготовительных выработок в условиях «Шахты «Алардинская».....	56
<b>Воронков В.А., Никитина А.М., Риб С.В., Борzych Д.М.</b> К вопросу об улавливании воды при проведении подготовительных выработок в условиях угольных шахт Кузбасса.....	60
<b>Воронков В.А., Ларин М.К., Никитина А.М., Риб С.В., Борzych Д.М.</b> Применение лазерного указателя направления боков горной выработки в условиях «Шахта «Алардинская».....	63
<b>Киселёв Д.А., Елхимов Д.Е., Риб С.В., Никитина А.М.</b> Обоснование аэрогазодинамических параметров угольной шахты в условиях возникновения экзогенного пожара с использованием программного комплекса «Вентиляция 2.0» .....	66
<b>Мальшев А.В.</b> Моделирование опыта холостого хода силового трансформатора в программной среде Infolytica Magnet.....	70
<b>Мальшев А.В.</b> Решение электромагнитных задач в программной среде Infolytica Magnet при проектировании силовых трансформаторов, применяющихся в взрывозащищенных подстанциях.....	75
<b>Никитин А.И., Риб С.В., Никитина А.М.</b> Универсальный автоматизированный учет измерения длины дегазационных скважин.....	80
<b>Петровский С.С.</b> Частотный преобразователь для управления электроприводом вентилятора главного проветривания.....	84
<b>Черданцев А.В.</b> Когенерация шахтного метана для собственных нужд предприятия.....	88
<b>Попроцкий Ю.Н., Мишин С.А.</b> Методика отстройки бортов и откосов уступов при отработке глубоких горизонтов железорудных карьеров .....	92

<b>Обрядин А.А., Черешнева Е.В., Риб С.В., Никитина А.М.</b>	
Оценка эффективности применения отечественного и импортного оборудования в подготовительном забое .....	96
<b>Агеев Д.А., Апенкин В.Е., Майшев Н.Е., Грыдин И.О.</b>	
Аппаратура регистрации сейсмических колебаний.....	99
<b>Семин А.А., Климкин М.А., Апенкин В.Е., Агеев Д.А.</b>	
Регистрация сейсмических колебаний в пос. Гавриловка от массовых взрывов разреза Степановский.....	102
<b>Климкин М.А., Семин А.А., Агеев Д.А., Апенкин В.Е.</b>	
Зависимость параметров сейсмических колебаний при подземных массовых взрывах.....	106
<b>III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.....</b>	<b>113</b>
<b>Неунывахина Д.Т.</b>	
Разработка составов и опытно-промышленное апробирование теплоизолирующих смесей для жидкого чугуна .....	113
<b>Садыкина Р.А., Сафонов С.О.</b>	
Анализ коксозамещающих технологий при выплавке чугуна в доменной печи.....	118
<b>Денисов Я.В.</b>	
Исследования влияния технологических параметров производства слитков конвертерной стали на их качественные показатели и величину отходов.....	123
<b>Израильский О.А.</b>	
Использование спецкокса для выплавки силикомарганца.....	126
<b>Федотова Н.К.</b>	
Утилизация мелочи при фракционировании ферросилиция.....	128
<b>Щукин А.Г.</b>	
Исследование влияния качества внутренней структуры помольных шаров, произведенных методом поперечно- винтовой прокатки, на их ударную стойкость.....	131
<b>Черновский Г.Н.</b>	
Исследование термоокислительной устойчивости нанокристаллического карбида кремния.....	134
<b>Черновский Г.Н.</b>	
Состояние и перспективы развития производства карбидокремниевой конструкционной керамики в России.....	137

<b>Черновский Г.Н.</b> Термодинамический анализ процессов синтеза и модифицирования карбида кремния в условиях плазменного потока.....	142
<b>Пермикин А.А., Юрченко М.Д., Чурсин С.С.</b> Динамика мощности дозы интерметаллидной матрицы ДЯТ на основе системы Zr-Al.....	146
<b>Алексеева Т.И.</b> Моделирование теплообмена плазменного и сырьевого потока при синтезе карбида циркония.....	149
<b>Алексеева Т.И.</b> Плазмосинтез карбида циркония: основные параметры и характеристики.....	152
<b>Бочарова Г.А., Бурмакина С.А., Коряковцева О.В.</b> Потребление каменноугольной смолы: анализ, доминирующие тенденции, прогнозы.....	155
<b>Бочарова Г.А., Бурмакина С.А., Коряковцева О.В.</b> Анализ современного состояния производства каменноугольной смолы.....	159
<b>Воробьева И.Г.</b> Сравнительный анализ методов получения нанодисперсного порошка молибдена.....	165
<b>Пронькина О.Е.</b> Производство и применение порошка вольфрама: оценка, тенденции и прогнозы.....	169
<b>Хабибулин Р.Р., Куанышпеков А.Н., Акулинчев Е.А.</b> Особенности производства и применения вторичной меди.....	173
<b>Саурыкова О.Н.</b> Перспективы технологии производства кокса без улавливания химических продуктов коксования.....	177
<b>Филенкова Т.А.</b> Сравнительный анализ коксовых батарей: существующая практика и перспективы.....	180
<b>Мамедов Р.О., Долгополов А.Е., Дмитриенко А.В., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.</b> Технология получения отливок из сплава 30ХГСЛ.....	184
<b>Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Долгополов А.Е., Мамедов Р.О., Шевченко Р.А.</b> Разработка лабораторного оборудования для исследования процессов получения пористых литых заготовок и тонкостенных отливок.....	187

<b>Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Долгополов А.Е., Мамедов Р.О., Шевченко Р.А.</b> Разработка лабораторного оборудования для исследования процессов литья и сварки в вакууме.....	190
<b>Долгополов А.Е., Мамедов Р.О., Шевченко Р.А., Кислов А.И., Дмитриенко А.В.</b> Использование симплекс-метода нелдера-мида для оптимизации состава смесей при литье и сварке.....	193
<b>Мамедов Р.О., Долгополов А.Е., Дмитриенко А.В., Соколов Б.М.</b> Ресурсосбережение при выплавке стали в малой дуговой сталеплавильной печи.....	198
<b>Михно А.Р.</b> Разработка нового сварочного флюса на основе пыли газоочистки производства силикомарганца.....	201
<b>Арикян С.А., Баранов П.В.</b> Исследование сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака.....	202
<b>Кислов А.И., Михно А.Р.</b> Изучение влияния сварочного флюса на основе шлака силикомарганца на качество наплавки.....	205
<b>Непомнящих А.С., Свистунов А.Д., Белов Д.Е., Симонова Д.Е.</b> Разработка порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки силикомарганца.....	208
<b>Аймагов В.Г., Михно А.Р.</b> Исследование влияния добавки барий – стронциевого модификатора на свойства сварочного флюса на основе шлака силикомарганца.....	210
<b>Накаев Н.Д., Елисеев Е.В.</b> Разработка сварочного флюса на основе шлаков производства силикомарганца.....	213
<b>Денисов П.А., Кашин С.С.</b> Технология наплавки порошковой проволокой 35В9Х3СФ.....	216
<b>Кашин С.С., Денисов П.А.</b> Изучение технологии наплавки порошковой проволокой.....	217
<b>Шевченко Р.А.</b> Совершенствование технологии контактной сварки железнодорожных рельсов.....	218

<b>Ознобихина Н.В., Соколов Б.М.</b> Алюминотермитная сварка рельсовых стыков.....	222
<b>Шевченко Р.А., Филиппова А.А., Патрушев А.О., Тюрин А.А., Тюрин Г.А.</b> Анализ и оптимизация параметров контактной стыковой сварки рельсов.....	226
<b>Сметанин С.В.</b> Прокатка трамвайных рельсов на современном рельсобалочном стане.....	230
<b>Сметанин С.В.</b> Энергоэффективная технология прокатки.....	234
<b>Балачков М.М., Пермикин А.А.</b> Построение математической модели распространения волны горения в самораспространяющемся высокотемпературном синтезе.....	239
<b>Юрченко М.Д., Пермикин А.А., Чурсин С.С.</b> Изучение влияния разбавления шихты инертной добавкой на термодинамические характеристики СВ-синтеза интерметаллидной матрицы дисперсионного ядерного топлива.....	242
<b>Шестопалов Н.Е., Ширяев С.Е.</b> Повышение энергоэффективности теплового объекта путем оптимизации конструкции теплоизоляционной футеровки .....	245
<b>Коновалова Х.А., Турлак Н.В., Панькова А.А., Розраенко Д.О.</b> Расчет параметров теплоизоляционной футеровки котлоагрегата и повышение энергоэффективности теплового объекта путем оптимизации ее конструкции .....	249
<b>Шавлов И.С., Пинаев А.А., Пономарев Н.С., Голованов Н.С.</b> Обзор способов теплогидравлической интенсификации теплообмена и методы повышения энергоэффективности теплового объекта.....	253
<b>Полковников А.В., Кравченко С.В., Грицан В.С., Красильников В.В.</b> Повышение энергоэффективности теплового объекта за счет рационализации процесса сжигания топлива и использования вторичных энергетических ресурсов .....	257
<b>Никитин Д.А., Леонов М.В., Эзерих Н.С., Бугаева А.А.</b> Перспективы использования современных огнеупоров и теплоизоляционных материалов для сооружения теплоэнергетических объектов.....	261

<b>Шабалина М.К., Тодышев А.А., Шуркин А.С.</b> Повышение реакционной способности окускованного металлургического продукта .....	264
<b>Ракуц Р.О., Тодышев А.А., Шуркин А.С.</b> Методы формирования поровой структуры железорудных окатышей .....	268
<b>Чепасова И.А., Карева А.Д., Голубев Д.А.</b> Повышение реакционной способности топливных брикетов для ТЭЦ .....	273
<b>Карева А.Д., Чепасова И.А., Голубев Д.А.</b> Оценка процесса брикетирования сырой массы по критерию схватываемости.....	278
<b>Давыдов А.С., Ширяев С.Е.</b> Совершенствование конструкции центробежных пылеуловителей для улавливания золошлаковых выбросов теплоэнергетических предприятий .....	283
<b>Старикова Д.А.</b> Разработка и моделирование нового типа газового горелочного устройства для металлургических агрегатов.....	288
<b>Полынцев М.П.</b> О последствиях возможной ратификации Россией Парижского соглашения 2015 года для теплоэнергетики Кузбасса.....	292
<b>Тодыякова А.С.</b> Проблемы и пути совершенствования транспортировки и условий хранения угля на тепловых станциях.....	297
<b>Алшынбаев С.Д.</b> Нетрадиционные источники энергии Кузбасса.....	302
<b>Дьяченко Е.В.</b> Экономия топлива за счет использования остаточного тепла продувочной воды и пролетного пара возврата конденсата.....	305
<b>Турлак Н.В.</b> Проблемы энергетического хозяйства филиала шахты «Есаульская».....	310

<b>IV. ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.....</b>	<b>314</b>
<b>Кузина О.П.</b> Оценка вредных выбросов от котельного цеха на ПАО "Южно-Кузбасская ГРЭС" г. Калтан.....	314
<b>Буримова Е.С., Захарова М.А., Воробьева Д.Н.</b> Технология обезвреживания осадков сточных вод очистных сооружений оао «Водоканал» г.Новокузнецка.....	319
<b>Басов А.Ю., Пономаренко С.О., Захаров С.В., Воробьева Д.Н.</b> Исследование утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций кузбасса.....	322
<b>Мещерякова Д.Е., Кречетов П.К., Матыгина Н.В.</b> Рекультивация техногенно нарушенных земель на примере угольного разреза «Степановский».....	326
<b>Гальчун А.Г.</b> Исследование влияния энергосистем на окружающую среду.....	329
<b>Джалилова С.Н.</b> Конверсия пропан бутановой фракции в ароматический углеводороды на цеолитных катализаторах H-ЦКЕ-ХМ модифицированном Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и ZnO.....	332
<b>Горбунова А.Р., Павелко Т.С., Кузнецова Е.А.</b> Исследование качества воздуха в Кузбассе.....	336
<b>Павелко Т.С., Кузнецова Е.А., Горбунова А.Р., Павлов Д.С.</b> Исследование качества воды города Новокузнецка .....	340
<b>Костина Д.А., Топоркова Ю.И.</b> Исследование выщелачивания первичных вельц-возгонов пыли ЭДП в аммиачно-хлоридных растворах.....	344
<b>Кузнецова Е.А., Горбунова А.Р., Павелко Т.С., Никитина Д.Ю.</b> Исследование качества атмосферного воздуха в городе Новокузнецке по снежному покрову.....	346
<b>Няшина Г.С.</b> Использование лесного горючего материала в качестве добавки к водоугольным топливам с целью снижения антропогенных выбросов при их сжигании .....	351
<b>Пермикина Е.Е., Пименов Н.О., Овсенёв А.Е.</b> Формирование рекомендаций к обеспечению безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом.....	351

<b>Петрусёв А.С.</b> Эффективность солнечной энергетики в республике Алтай.....	356
<b>Петрусёв А.С.</b> Влияние интеграции возобновляемых источников энергии и электротранспорта в городской среде.....	360
<b>Полковников А.В., Кравченко С.В.</b> Исследование проблемы выбросов в теплоэнергетике и их влияние на окружающую среду.....	365
<b>Росс Д.Е.</b> Исследование работы и качества очистных сооружений г.Осинники.....	368
<b>Ульянина В.А.</b> Перспективы и возможности переработки и утилизации автомобильных шин в условиях Кузбасса.....	371
<b>Шмакова Н.И.</b> Сравнение эффективности регистрации ионизирующего излучения полупроводникового HPGE и сцинтилляционного NAI детекторов, производства фирмы CANBERRA.....	378
<b>V. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА.....</b>	380
<b>Байдалин А.Д.</b> Сравнительный анализ работы современных автоматизированных отопительных систем.....	380
<b>Дедюхина М.Н.</b> Цвет в интерьере.....	382
<b>Курачева М.В.</b> Жилой комплекс с блоком повседневного обслуживания в Новокузнецке.....	386
<b>Ковальчук В.С., Баклушина И.В.</b> Мероприятия по энергосбережению в системах отопления жилых домов.....	389
<b>Бгавина А.С.</b> Функциональная организация, композиция и стиль городских набережных.....	392
<b>Белоусов И.А.</b> Оптимизация работы чиллеров и фанкойлов в системах создания микроклимата.....	397
<b>Борисова Ю.С.</b> Исследование газодинамической работы котлов, оборудованных ретортными горелками.....	401

<b>Домникова Е.Р.</b> Сравнение металлопластиковых и медных труб.....	405
<b>Иванова М.В.</b> Объемно-планировочные структуры многофункциональных жилых комплексов.....	407
<b>Коновалов В.О., Куценко А.А.</b> Перспективы использования 3d печати в строительстве быстровозводимых зданий и сооружений.....	414
<b>Кононенко А.Р., Баклушина И.В.</b> Последствия проведения гидравлических испытаний.....	415
<b>Минин И.Ю.</b> Солнечная энергия в системах отопления.....	419
<b>Мурзин Д.Е.</b> Энергосбережение в сфере получения и использования тепла с помощью различных конструкций тепловых насосов.....	423
<b>Невская Ю.А., Баклушина И.В.</b> Особенности воздушно-отопительных агрегатов	427
<b>Пашко Е.А., Куценко А.А.</b> Применение плинтусного отопления в быстровозводимых зданиях, в том числе построенных с использованием технологии 3D печати.....	430
<b>Прошина Н.М.</b> Горнолыжный туристско-рекреационный курорт в Горном Алтае.....	431
<b>Пугина А.В.</b> Преимущества электроаккумуляционного отопления.....	436
<b>Чепурная И.Д.</b> Определение рекреационного потенциала курортной зоны Терсинского месторождения минеральных вод для проектирования бальнеологического курорта.....	438
<b>Сухоруков В.Ю.</b> Современные возможности тепловизионного контроля зданий.....	442
<b>Фрикер К.А.</b> Исследование тепловой работы котельных агрегатов малой мощности.....	445
<b>Шевченко В.В., Мартынец Д.Ю.</b> Определение оптимальной температуры обжига образцов ячеистой керамики .....	447

Научное издание

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Часть II**

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых*

**Выпуск 22**

Под общей редакцией  
Технический редактор  
Компьютерная верстка

М.В. Темлянцева  
Г.А. Морина  
Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 31.05.2018 г.  
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 27 Уч.-изд. л. 29,4. Тираж 300 экз. Заказ № 190

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Издательский центр СибГИУ