

**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  
16 – 18 мая 2017 г.*

**выпуск 21**

Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева

**Новокузнецк  
2017**

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

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, 2017. - Вып. 21. - Ч. II. Естественные и технические науки. –440 с., ил.- 113, таб.- 77.

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.

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

## I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 621.793.7

### АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ TiC-TiAl МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

**Романов Д.А., Степиков М.А., Гаевой Е.А., Апанина В.О.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: romanov\_da@physics.sibsiu.ru*

Методом просвечивающей электронной микроскопии исследована структура электровзрывных покрытий системы TiC-TiAl после электронно-пучковой обработке. Установлено, что структура покрытия является многофазной и содержит карбид титана, твердый раствор на основе  $\alpha$ -железа и твердый раствор на основе  $\gamma$ -Fe.

Ключевые слова: электровзрывное напыление, электронно-пучковая обработка, наноструктуризация поверхности, структура, беспористое покрытие, карбид титана, титан, алюминий.

Композиционные покрытия системы TiC-TiAl были нанесены на штамповую оснастку из штамповых сталей X12MФ и 5XНМ, методом электровзрывного напыления на электровзрывной установке ЭВУ 60/10 М (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк) с использованием алюминиевой фольги, а также порошков титана и карбида титана с размером частиц 0,1...1,0 мкм. Покрытия нанесены при тепловом воздействии, вызывающем нагрев поверхности подложки до температуры плавления. Импульсное переплавление поверхностного слоя выполнено высокоинтенсивными электронными пучками, обеспечивающими контролируемый нагрев до температуры выше температуры плавления и самозакалку из расплава со скоростями охлаждения до  $10^6$  К/с. Данные условия облучения позволили формировать поверхностные сплавы с нано- и субмикроструктурной структурой, обладающие высокими физико-механическими свойствами.

Выполненные электронно-микроскопические микродифракционные исследования тонких фольг показали, что структура покрытия TiC-TiAl, нанесенного на сталь 5XНМ и обработанного дополнительно интенсивным импульсным электронным пучком, на расстоянии  $\approx 10$  мкм от поверхности модифицирования является многофазной и содержит карбид титана состава TiC, твердый раствор на основе  $\alpha$ -железа (объемоцентрированная кубическая кристаллическая решетка) и твердый раствор на основе  $\gamma$ -Fe (аустенит, графоцентрированная кубическая кристаллическая решетка).

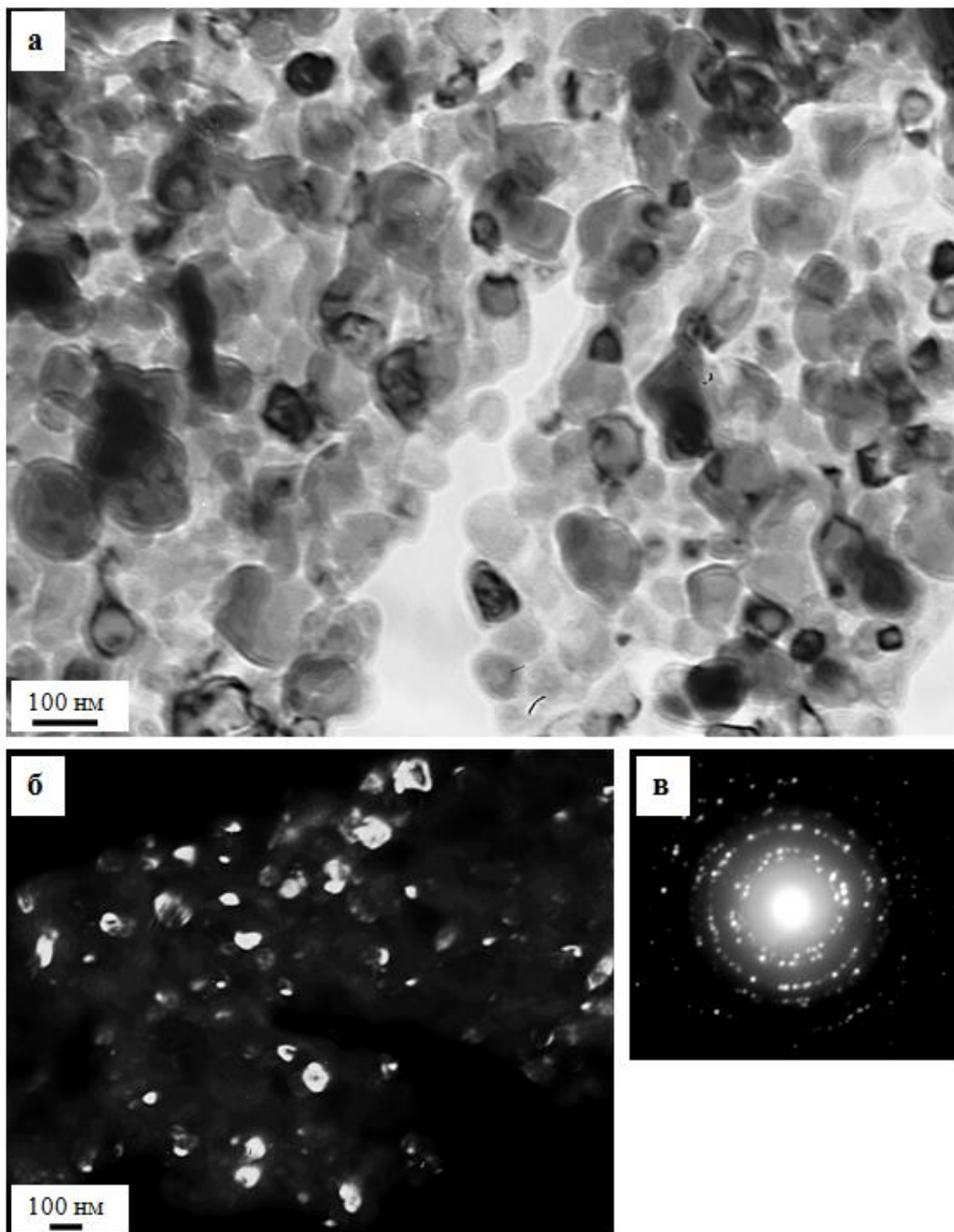


Рисунок 1 - Частицы карбида титана, расположенные в поверхностном слое покрытия TiC-TiAl, нанесенном на сталь 5ХНМ и обработанном интенсивным импульсным электронным пучком. Просвечивающая электронная микроскопия; а – светлое поле; б – темное поле, полученное в рефлексе [002] TiC; в – микроэлектроннограмма, стрелкой указан рефлекс, в котором получено темное поле (б)



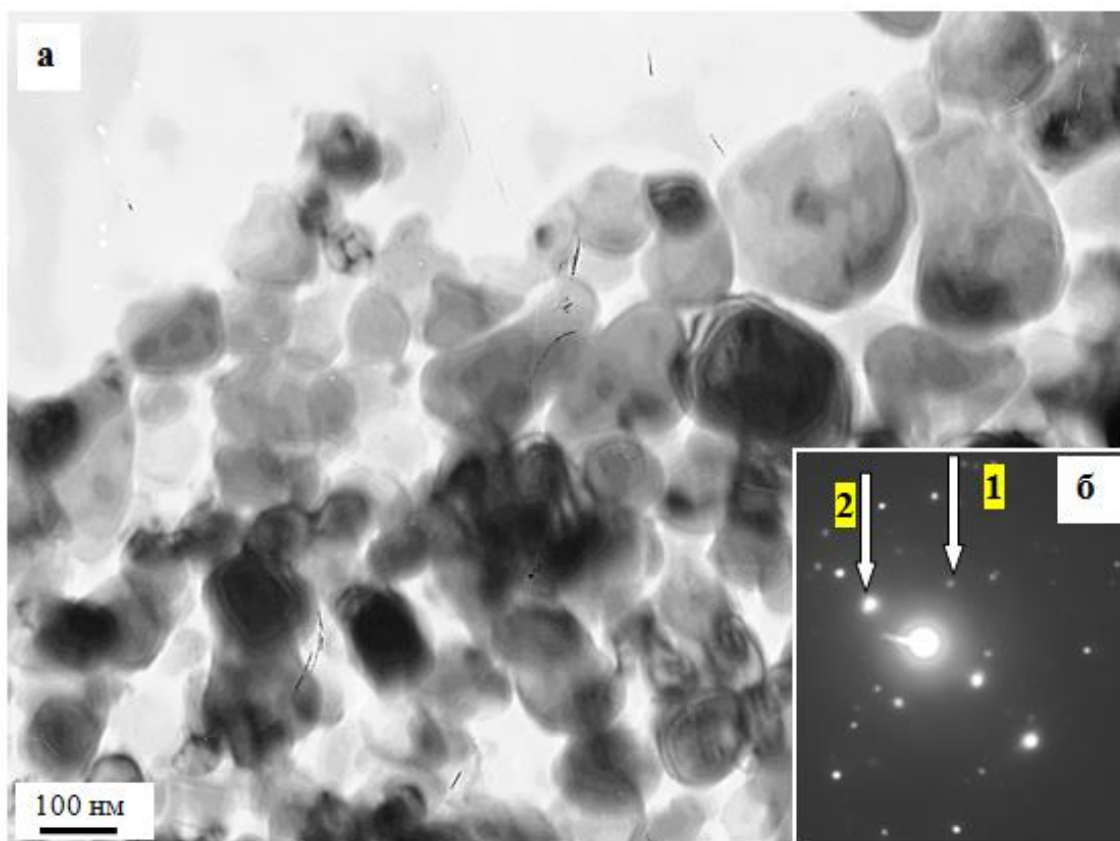


Рисунок 2 - Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхностного слоя (слоя, расположенного на глубине 10 мкм) покрытия TiC-TiAl, нанесенном на сталь 5ХНМ и обработанного интенсивным импульсным электронным пучком; а – светлое поле; б – микроэлектроннограмма. Индицирование микроэлектроннограммы позволило выявить рефлексы, принадлежащие карбиду титана TiC и твердому раствору на основе  $\alpha$ -Fe (1 - [002]TiC, 2 - [110]  $\alpha$ -Fe)

Частицы карбида титана имеют глобулярную форму (рисунок 1); средние размеры частиц карбида титана изменяются в пределах (100-130) нм (рисунок 1).  $\alpha$ -фаза и  $\gamma$ -фаза также имеют глобулярную форму; Размеры  $\alpha$ -фазы и  $\gamma$ -фазы существенно больше, по отношению к частицам карбидной фазы, и изменяются в пределах (0,8 – 1,0) мкм (рисунки 2 и 3).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60032 мол\_а\_дк, Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК- 1118.2017.2.*

## АКТИВАЦИЯ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ТИТАНА СТАТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАРЯДОМ, СООБЩАЕМЫМ МЕТАЛЛУ ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА

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

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

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

Гравиметрическим методом изучена скорость коррозии технически чистого титана ВТ1-0 и титанового сплава ВТ6 в потоке пара тетрахлорида углерода при температуре 673 К в реакторе с электрическим конденсатором, в котором испытуемые металлические образцы являются составной частью внутренней обкладки. В опытах изменяли напряжение на конденсаторе в реакторе от 400 В до 7680 В и полярность электрического заряда внутренней обкладки. Результаты экспериментов показывают, что скорость реакции  $Ti_{\text{ТВ}} + CCl_{4\text{пар}} \rightarrow C_{\text{ТВ}} + TiCl_{4\text{пар}}$  в зависимости от подводимого напряжения на конденсатор в интервале 6000 ÷ 7680 В увеличивается, в среднем, в 2,0 ± 0,5 раза. Проявилась тенденция к росту коэффициента увеличения скорости с увеличением подводимого напряжения. Эффект увеличения скорости окисления титана хлорагентом может быть полезным при переработке титанового лома.

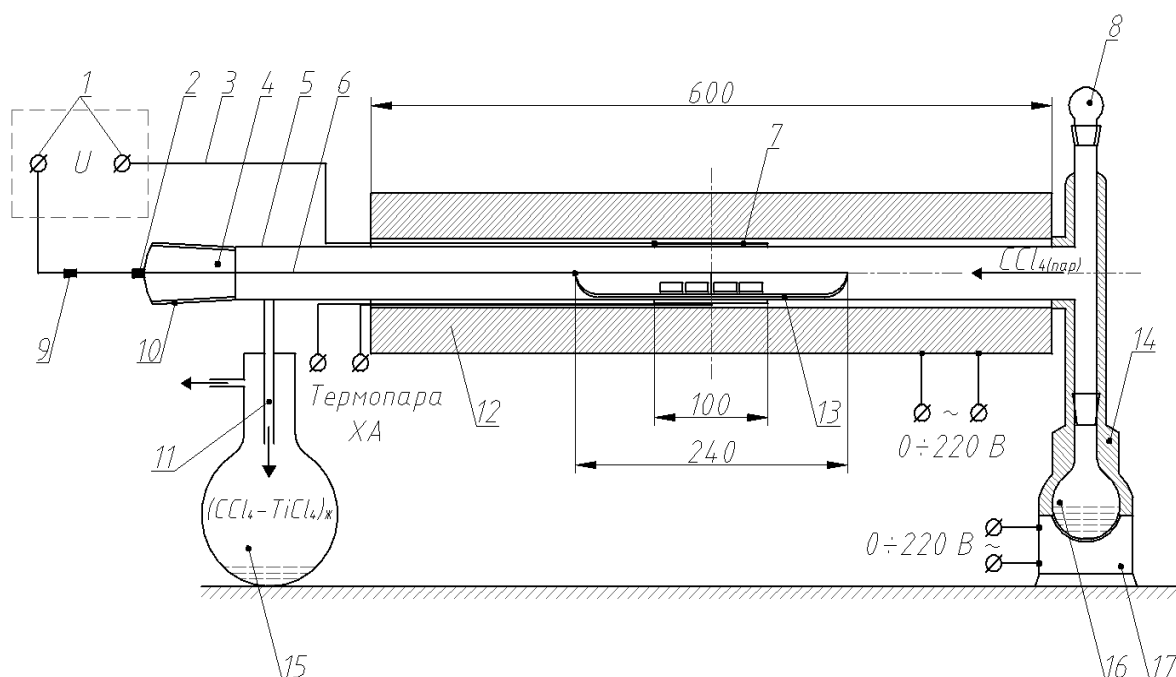
Ключевые слова: химический реактор с электрическим конденсатором, технически чистый титан ВТ1-0 и титановый сплав ВТ6, тетрахлорид углерода, физическое воздействие на реагенты, положительный или отрицательный заряд на металле, величина напряжения на конденсаторе реактора, массовый показатель газовой коррозии, коэффициент увеличения массового показателя газовой коррозии .

В работе [1] нами с целью изучения влияния знака и величины электрического заряда, подводимого от внешнего источника к металлическим образцам, на скорость реакции окисления титана паром  $CCl_4$  :



предложена конструкция химического реактора (рисунок 1) с электрическим цилиндрическим конденсатором, в котором испытуемые образцы являются составной частью внутренней обкладки. Там же [1] измерена электрическая ёмкость конденсатора в реакторе, заполненном паром  $CCl_4$  и рассчитаны энергия конденсатора и объёмная плотность энергии электрического поля в диэлектрике ( $CCl_4$ ) между пластинами. При этом получено, что при напряжении постоянного тока на конденсаторе ~ 5000 В, поверхности титана, толщиной 1 нм, за счёт заряда сообщается такая же энергия, как при нагревании на 10 К. Таким образом, можно ожидать изменений в механизме и ки-

нетике протекания реакции (1) при высоких напряжениях на конденсаторе в реакторе.



1 – клеммы для подключения цифрового L,C,R – измерителя Е – 7-12 и регулируемого напряжения от внешнего источника постоянного тока; 2 – тефлоновый уплотнитель; 3 – нихромовая проволока (дл. 1500 мм, диам. 1,6 мм); 4 – пробка (диам. 45 мм) выхода реактора; 5 – герметичный кварцевый реактор (дл. 1000 мм, диам. 44мм); 6 – нихромовый стержень (дл. 720 мм, диам. 1,6 мм); 7 – латунный цилиндр на внешней поверхности реактора – внешняя обкладка конденсатора; 8 – пробка выхода реактора для заливки жидкого  $\text{CCl}_4$  в колбу-испаритель; 9 – электрический разъём; 10 – шлиф (диам. 45 мм) выхода реактора с герметичной пробкой (4); 11 – трубка для отвода конденсата и пара из реактора (дл. 320 мм, диам. 10 мм); 12 – электрическая печь сопротивления; 13 – кварцевая лодочка (дл. 240 мм, шир. 32 мм) с металлическими образцами на подложке из углеродной ленты – внутренняя обкладка конденсатора; 14 – асбестовый шнур (диам. 10 мм); 15 – колба-буферная ёмкость для сбора конденсата и обеспечения герметичности реактора при его охлаждении (объём 2000 мл); 16 – круглодонная колба-испаритель (объём 500 мл) с жидким  $\text{CCl}_4$ ; 17 – электрическая плитка

Рисунок 1 - Схема установки для изучения механизма и кинетики азовой коррозии металлов в потоке пара  $\text{CCl}_4$  в герметичном реакторе с электрическим конденсатором

Настоящая работа посвящена изучению влияния электрического заряда, отличающегося знаком и величиной, сообщаемого металлу извне, на скорость газовой коррозии титана ВТ1-0 или его сплава ВТ6 при постоянных температуре и времени выдержки в потоке пара тетрахлорида углерода.

*Материалы и методика эксперимента.* В исследованиях использовали образцы в виде дисков диам. 18 – 20 и толщиной 3 – 6 мм как из технически чистого титана ВТ1-0 так и из титанового сплава ВТ6. Это объясняется тем, что в [2,3] нами установлено, что показатели газовой коррозии титана и данного сплава в паре  $CCl_4$  при одинаковых условиях в области доверительных интервалов совпадают.

Поскольку в результате настоящей работы предстояло сравнить скорость коррозии титана в опытах с сообщением металлу электрического заряда и в обычных условиях (без сообщения заряда), то установка, партия образцов сплава ВТ6 (№ 2), методика подготовки поверхности образцов, партия хлорагента были идентичными работам [2,3]. Добавили для исследования новые партии образцов титана ВТ1-0 (№5) и сплава ВТ6 (№3). Результаты рентгеноспектрального анализа образцов металлов приведены в таблице 1 (последовательный рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр Shimadzu XRF-1800)<sup>1</sup>.

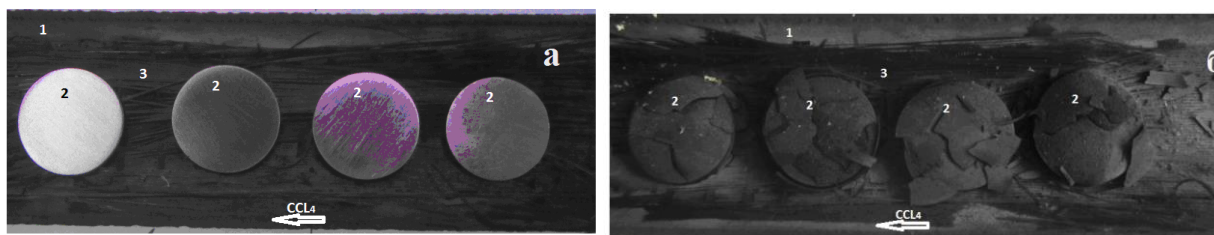
Таблица 1 - Результаты рентгеноспектрального анализа образцов титана

Металл, № партии	Массовая доля элементов, %					
	Ti	Al	Si	Fe	Ni	Cr
ВТ1-0, партия 5	99,32	0,45	0,00	0,094	0,021	0,041
ВТ6, партия 2	92,77	6,73	0,031	0,11	0,026	0,24
ВТ6, партия 3	93,23	6,30	0,15	0,22	Нет	Нет

Поверхность металла шлифовали на наждачной бумаге 4 – Н (ГОСТ 13344-79). Одинаковость шлифования контролировали микроскопом МБС – 9 при увеличении до 50 ÷ 100. В качестве хлорагента применили тетрахлорид углерода «ХЧ» (содержание примесей менее 0,01 масс. %).

Установку (рис. 1) собирали в лабораторном вытяжном шкафу. Во время опыта пар-реагент вводится с постоянной скоростью в реактор (5), где подвергается превращению с определённой степенью. Сконденсировавшийся на выходе из реактора избыток реагента, в растворе с жидким продуктом реакции  $TiCl_4$ , выводится из реактора с противоположной стороны в сборник конденсата (15), а образующийся при испарении раствора в сборнике конденсата при комнатной температуре пар – в утилизирующую систему. В конструкции реактора создан электрический конденсатор. Первой (внутренней) обкладкой (13) конденсатора являются четыре испытуемых металлических образца вместе с углеродной лентой, помещённые внутрь реактора в кварцевой лодочке (длина 240 мм, ширина 32 мм). Полосой углеродной ленты (рис. 2а) марки ЛУ–П/0,1-50, толщиной 0,1 мм (производство ООО «Аргон», г. Балаково) полностью устлали внутреннюю поверхность лодочки.

<sup>1</sup> Рентгеноспектральный анализ образцов выполнен с использованием аналитического оборудования Центра коллективного пользования «Материаловедение» при Сибирском государственном индустриальном университете сотрудниками Центра



1 – кварцевая лодочка; 2 - образцы металла; 3 – подложка из углеродной ленты; стрелками показан вектор потока пара  $\text{CCl}_4$

Рисунок 2 - Образцы титанового сплава ВТ6 (партия № 2, опыт № 15) перед помещением лодочки в реактор (а) и после коррозии в потоке пара  $\text{CCl}_4$  при 673К, напряжении на конденсаторе 6000В и отрицательном заряде на металле (б)

Сама углеродная лента приводится в электрический контакт с нихромовым проводником (6) в виде стержня, который выводится из реактора через отверстие в пробке реактора с уплотнителем (2) и подсоединяется к разъёмному контакту (9). Проводник (6) соединён не только с углеродной лентой, но и с самой лодочкой и поэтому одновременно является инструментом для помещения лодочки в реактор и для её извлечения. Вторая обкладка (7) конденсатора (внешняя) – это цилиндр из латунной фольги, толщиной 0,15 мм, обёрнутой в один слой вокруг реактора по его наружной поверхности (длина образующей цилиндра – 100 мм). Для сообщения заряда внешней обкладке служит нихромовый проводник (3), находящийся в электрическом контакте с латунной фольгой. В соответствии с формой внешней обкладки созданный конденсатор следует отнести к цилиндрическим. В пространстве между обкладками во время опыта – многослойный диэлектрик, состоящий из кварцевой стенки реактора (толщина 2 мм.) и внутри реактора - слоя паракислителя ( $\text{CCl}_4$ ), разбавленного паром продукта реакции ( $\text{TiCl}_4$ ).

Для сообщения образцам металла в лодочке и латунному цилиндру (обкладкам конденсатора) электрического заряда использовали метод контакта обкладок с внешними электродами, находящимися под определённым напряжением постоянного тока. С этой целью был изготовлен источник регулируемого выпрямленного напряжения величиной  $0 \div 8000\text{В}$ , состоящий из стабилизатора напряжения СНВТ – 10000/1 Hybrid, автотрансформатора ЛАТР TDGC2-2, повышающего трансформатора НОМ 6 (100/6000 В), однофазного двухполупериодного диодного выпрямителя. Для сглаживания полученного выпрямленного напряжения к выходу источника подключали фильтр на базе пяти конденсаторов КБГ-П (2 мкФ, 2000В). Измерение полученного постоянного напряжения производилось при помощи мультиметра 43104, подключённого к выходу источника при помощи делителя напряжения (8 сопротивлений на 6,8 МОм).

Испытания проводили при постоянной температуре 673 К и времени выдержки 4 ч. В [2] было установлено, что при данной температуре реакция

между титаном и  $\text{CCl}_4$  идёт с образованием именно тех продуктов, которые записаны в уравнении (1). В начале опыта одновременно подавали напряжение на плитку (17) колбы-испарителя (16), заполненной на  $\frac{1}{2}$  жидким тетрахлоридом углерода и на печь (12) реактора, обеспечивающее повышение температуры реактора со скоростью  $\sim 6$  К/мин. Через  $\sim 1$ ч  $\text{CCl}_4$  в колбе-испарителе закипал, о чём свидетельствовала обильная капельная конденсация ( $> 20$  кап/мин) паров на выходе из реактора [отводная трубка (11)]. После этого напряжение, подаваемое на плитку (17), уменьшали до уровня, обеспечивающего постоянный режим испарения с поверхности жидкости. Постоянный режим испарения поддерживали ручной регулировкой напряжения на плитке и контролировали по скорости каплепадения конденсата из отводной трубки (11) ( $5 \pm 2$  кап/мин, что эквивалентно  $0,08 \pm 0,03$  мл/мин). Напряжение на печи (12) также поддерживали постоянным, во взаимосвязи с контролем температуры в горячей зоне реактора с помощью термопары ХА на уровне  $673 \pm 2$ К. Образцы металла на углеродной ленте в кварцевой лодочке (13) помещали через выход реактора со шлифом (10), вынимая для этого на короткое время кварцевую пробку (4), в нагретый до требуемой температуры реактор, с уже отрегулированным потоком пара  $\text{CCl}_4$ . Плотность потока пара  $\text{CCl}_4$  через горячую зону реактора в течение опыта составляла  $3,0 \pm 0,2$  мл/см<sup>2</sup>·мин. При этом  $\text{CCl}_4$  подавали в (5 – 6)-кратном избытке по количеству вещества, по сравнению со стехиометрией реакции (1).

Перед сообщением электрических зарядов на обкладки, с целью контроля качества электрических контактов и отсутствия короткого замыкания, измеряли электрическую ёмкость и электропроводность конденсатора вместе с подводными проводниками (3), (6) с помощью цифрового L, C, R – измерителя Е 7-12, присоединительное устройство которого подключали к контактам (1). В среднем, электрическая ёмкость составляла 38 пФ, а электропроводность – 0,02 мС.

Затем присоединительное устройство цифрового L, C, R – измерителя отключали от контактов (1) и на их место подключали изолированные медные провода, идущие от выходных клемм (положительной и отрицательной) источника регулируемого выпрямленного напряжения. При этом, в соответствии с планом эксперимента, устанавливали как определённую полярность обкладок, так и величину подключаемого выпрямленного напряжения  $U$ . После подключения полюсов источника постоянного напряжения  $U$ , В к обкладкам конденсатора, каждая из них заряжается до величины заряда  $Q$ , Кл (+ $Q$  или -  $Q$ ).

Оценка величины заряда  $Q$  не входила в задачу настоящего этапа работы. Эффект от сообщения металлу электрического заряда оценивали в зависимости от величины напряжения  $U$ , подключаемого к конденсатору и полюса (положительного или отрицательного) подводимого к лодочке с образцами (+ $U$  или - $U$ ).

В течение 4 ч опыта поддерживали постоянными температуру реакто-

ра, скорость каплевыделения конденсата из отводной трубки (11) и величину напряжения  $U$  на обкладках конденсатора в реакторе. Затем печь реактора и плитку колбы-испарителя выключали, образцы охлаждали вместе с печью до комнатной температуры, далее отключали от клемм (1) источник выпрямленного напряжения, лодочку с образцами извлекали из реактора, образцы помещали в бюксы и в эксикатор для сохранения перед дальнейшими действиями с ними.

Измеряемыми параметрами образцов являлись: линейные размеры и масса перед помещением в реактор, линейные размеры и масса после опыта и механического удаления с их поверхности твёрдого продукта реакции (1) – пористой незащитной плёнки, состоящей [2] преимущественно из рентгеноаморфного углерода. Механическое удаление – лёгкая, без особых усилий очистка поверхности образца хирургическим скальпелем и лезвием опасной бритвы.

Отметим, что в исследованиях [2,3] заранее, для соблюдения условий осуществления химической реакции, одинаковых с настоящими опытами, образцы металла в лодочке всегда размещали на полосе углеродной ленты, которую, однако, использовали исключительно как подложку.

*Результаты и обсуждение.* Результаты газовой коррозии технически чистого титана ВТ1-0 и сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода при температуре 673К (среднеарифметические значения  $K_m^-$  и доверительные интервалы) в зависимости от величины напряжения  $U$  в опыте и знака подводимого к образцам в лодочке извне электрического потенциала приведены в табл. 2. Массовый показатель коррозии ( $K_m^-$ ) рассчитывали по формуле:

$$K_m^- = \frac{\Delta m}{S \cdot t}, \quad (2)$$

где  $\Delta m$  - уменьшение массы металла, г;  $S$  - исходная площадь поверхности металла,  $\text{мм}^2$ ;  $t$  - время коррозии, ч.

Из таблицы следует, что в пределах изменения напряжения на конденсаторе до 4800 В включительно, не наблюдается значимых изменений в величине показателя коррозии. И лишь при напряжении 6000 В, причём как при положительном, так и отрицательном заряде, сообщаемом образцам, начинаем фиксировать увеличение показателя коррозии. Поэтому, начиная с этого уровня напряжения проводили параллельные измерения для получения более достоверных средних значений  $K_m^-$  (табл.2). Анализ данных табл.2 показывает, что на данном этапе исследования имеются основания рассматривать зависимость скорости коррозии титана только от величины подводимого напряжения, но не от знака заряда и потенциала на металле.

Значение показателя коррозии для всех 48 измерений в опытах при напряжении от 400 В до 4800 В равно:  $K_m^-(673\text{К}; 400\text{В} \div 4800\text{В}) = (4,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$ , г/( $\text{мм}^2 \cdot \text{ч}$ ), ( $P=0,95$ ;  $f = 47$ ), что совпадает со значением  $K_m^-(673\text{К}) = (4,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ , г/( $\text{мм}^2 \cdot \text{ч}$ ), ( $P=0,95$ ;  $f = 30$ ), определённым в работе [3] и значением

$K_m^-(673K) = (4,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ , г/(мм<sup>2</sup>·ч), (P=0,95; f = 50), которое имеется у нас для коррозии титана и его сплава в обычных условиях в настоящее время, так как для контроля мы продолжали периодически проводить опыты без подключения электрического напряжения к конденсатору. Среднеарифметические значения и доверительные интервалы величины показателя коррозии при подаче напряжения 6000 В, 7000 В и 7680 В также приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Средние значения и доверительные интервалы массового показателя коррозии образцов в потоке пара тетрахлорида углерода в зависимости от знака, подводимого к образцам извне электрического заряда и величины напряжения на конденсаторе реактора

№ опыта, металл, № партии	Знак заряда на титане и напряжение на конденсаторе, В	$(K_m^- \pm \Delta K_m^-) \cdot 10^5$ , г/(мм <sup>2</sup> ·ч). P = 0,95; f = 3	№ опыта, металл, № партии	Знак заряда на титане и напряжение на конденсаторе, В	$(K_m^- \pm \Delta K_m^-) \cdot 10^5$ , г/(мм <sup>2</sup> ·ч). P = 0,95; f = 3
1, ВТ6, 2	+ 400	3,5 ± 1,6	17, ВТ6, 3	- 7000	7,3 ± 3,0
2, ВТ6, 2	- 400	4,4 ± 1,7	18, ВТ1-05	+ 7000	5,0 ± 2,2
3, ВТ6, 2	- 800	4,4 ± 1,0	19, ВТ1-05	- 7000	4,5 ± 1,6
4, ВТ6, 2	+ 800	3,7 ± 1,9	20, ВТ1-05	+ 7000	3,8 ± 1,4
5, ВТ6, 2	+ 1200	3,0 ± 0,4	21, ВТ1-05	+ 7000	8,4 ± 2,4
6, ВТ6, 2	- 1200	3,9 ± 1,8	22, ВТ1-05	- 7000	11,6 ± 0,8
7, ВТ6, 2	+ 2100	3,3 ± 1,1	23, ВТ1-05	+ 7000	13,2 ± 1,5
8, ВТ6, 2	- 2100	4,3 ± 1,8	24, ВТ1-05	+ 7680	12,2 ± 1,4
9, ВТ6, 2	+ 3600	3,5 ± 1,4	25, ВТ1-05	- 7680	16,8 ± 1,5
10, ВТ6, 2	- 3600	5,5 ± 1,8	26, ВТ1-05	+ 7680	4,1 ± 1,7
11, ВТ6, 2	- 4800	3,7 ± 1,3	27, ВТ1-05	- 7680	9,0 ± 1,3
12, ВТ6, 2	+ 4800	5,3 ± 1,9	28, ВТ1-05	+ 7680	13,2 ± 0,8



Продолжение таблицы 1

№ опыта, металл, № партии	Знак заряда на титане и напряжении на конденсаторе, В	$(K_m^- \pm \Delta K_m^-) \cdot 105, \text{ г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{ч}).$ $P = 0,95; f = 3$	№ опыта, металл, № партии	Знак заряда на титане и напряжении на конденсаторе, В	$(K_m^- \pm \Delta K_m^-) \cdot 105, \text{ г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{ч}).$ $P = 0,95; f = 3$
13, ВТ6, 2	+ 6000	$7,3 \pm 2,7$	29, ВТ1-05	- 7680	$12,8 \pm 2,0$
14, ВТ6, 2	- 6000	$8,3 \pm 2,0$	13 - 16	$\pm 6000$	$7,9 \pm 1,5$ ( $P = 0,95; f = 15$ )
15, ВТ6, 2	- 6000	$11,3 \pm 2,1$	17 - 23	$\pm 7000$	$7,7 \pm 0,2$ ( $P = 0,95; f = 27$ )
16, ВТ6, 3	+ 6000	$4,5 \pm 0,4$	24 - 29	$\pm 7680$	$11,4 \pm 1,7$ ( $P = 0,95; f = 23$ )

Вся совокупность полученных данных позволяет рассчитать для каждого из напряжений: 6000 В , 7000 В и 7680 В характеристику, которую можно назвать коэффициентом увеличения массового показателя коррозии титана при сообщении металлу электрического заряда от внешнего источника с определённым электрическим напряжением [ $\alpha_Q(U)$ ]:

$$\alpha_Q(U) = \frac{K_m^-(673K; U)}{K_m^-(673K)}, \quad (3)$$

где  $K_m^-(673K)$  - массовый показатель коррозии титана в обычных условиях,  $\text{г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{ч})$ ;

$K_m^-(673K; U)$  - массовый показатель коррозии титана в условиях сообщения металлу электрического заряда (положительного или отрицательного) от источника с напряжением  $U$ ,  $\text{г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{ч})$ .

Значения предлагаемого коэффициента и доверительные интервалы приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Средние значения и доверительные интервалы коэффициента увеличения массового показателя коррозии титана в потоке паратетрахлорида углерода в зависимости от величины подводимого извне напряжения на электрический конденсатор реактора

Напряжение на конденсаторе реактора, В	6000	7000	7680
$\alpha_Q(U)$	$1,7 \pm 0,6$	$1,7 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,7$

Их анализ показывает, что скорость реакции (1) в зависимости от подводимого напряжения на конденсатор в интервале 6000 ÷ 7680 В в среднем увеличивается в  $2,0 \pm 0,5$  раза. Наметился также рост самого коэффициента  $\alpha_Q(U)$  с увеличением подводимого напряжения. Установленное нами изменение скорости гетерогенной химической реакции (1) вследствие оказываемого на систему внешнего физического воздействия (сообщения металлу электрического заряда) является весьма значительным. Отметим, что в работе [4] увеличение скорости твёрдофазной гетерогенной реакции вследствие ультразвуковой активации на 10 – 15 % охарактеризовано как «заметное». В качестве ещё одного наблюдаемого эффекта влияния напряжения 6000 ÷ 7680 В на изучаемую систему отметим более слабую адгезию плёнки образующегося по реакции (1) углерода к металлу: плёнка разрушается и отслаивается уже при извлечении образцов из реактора (рисунок 2, б).

#### *Выводы.*

С целью изучения влияния знака и величины электрического заряда, подводимого от внешнего источника к металлическим образцам, на скорость реакции окисления металла предложена конструкция химического реактора с электрическим конденсатором цилиндрического типа, в котором испытываемые образцы являются составной частью внутренней обкладки. Гравиметрическим методом изучена скорость коррозии технически чистого титана ВТ1-0 и титанового сплава ВТ6 в потоке пара тетрахлорида углерода при температуре 673 К, при напряжении на конденсаторе в реакторе от 400 В до 7680 В и при различной полярности внутренней обкладки. Установлен эффект влияния электрического заряда любого знака, подаваемого от внешнего источника на окисляющийся металл в интервале напряжений на конденсаторе от 6000 В до 7680 В на скорость газовой коррозии титана в тетрахлориде углерода. Установлено, что скорость реакции (1) в зависимости от подводимого напряжения на конденсатор в интервале 6000 ÷ 7680 В увеличивается, в среднем в  $2,0 \pm 0,5$  раза. Проявилась тенденция к росту коэффициента увеличения скорости с увеличением подводимого напряжения. Эффект увеличения скорости окисления титана хлорагентом может быть полезным при переработке титанового лома.

#### Библиографический список

1. Зайцев. Н.С., Бендре Ю.В., Зенцова С.В., Горюшкин В.Ф. Электрическая ёмкость и энергетические характеристики химического реактора с подводом к металлу, при его окислении в реакторе газом, электрического потенциала от внешнего источника // Наука и молодёжь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016.– Вып. 20. – Ч. III. Естественные и технические науки. – С. 25 - 30.
2. Горюшкин В.Ф., Бендре Ю.В., Тонкушин Я.В., Соскова Н.А., Будов-

ских Е.А. Газовая коррозия титана в тетрахлориде углерода // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013.-№ 1(3). С. 25-28.

3. Горюшкин В.Ф., Бендре Ю.В., Зенцова С.В., Гагарин А.Ю. Механизм и кинетические параметры газовой коррозии титанового сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 2(8). С. 40-43.

4. Баранчиков А.Е., Олейников Н.Н., Третьяков Ю.Д. Кинетика твёрдофазного синтеза при одновременном воздействии высокой температуры и ультразвукового поля// Неорганические материалы.– 1999.– Т.35.- №3. С. 352.

УДК 669.713.017:538.9

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРИ МАССЫ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ МАРКИ А85 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ОБРАЗЦОВ, РАЗРУШЕННЫХ В УСЛОВИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ С МАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ И БЕЗ НЕГО**

**Шляров В.В., Осинцев К.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Загуляев Д.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: zagulyaev\_dv@physics.sibsiu.ru*

В работе использовали метод исследования химических и физико-химических процессов, происходящих в веществе в условиях изменения температурного режима. Исследования производились на образцах алюминия марки А85 разрушенных в условиях ползучести с предварительной магнитной обработкой и без неё. Также использовались в работе образцы как после отжига, так и без него. Были получены зависимости изменения массы образца от температуры.

Ключевые слова: магнитное поле, термография, технически чистый алюминий, масса, ползучесть.

Одним из наиболее быстро развивающихся направлений в фундаментальной и прикладной науки, являются исследования свойств материалов после различного рода воздействий. К которым можно отнести: плазменную, лазерную [1] и пучковую обработку [2], воздействия импульсными и постоянными магнитными полями [3, 4], нанесение различного рода покрытий [5] и т.д. Также актуальность имеют исследования, связанные с изучением физико-химических свойств материалов в различных средах и при различных температурах например - термография, или термический анализ, является одним из наиболее распространенных методов исследования фазового состава материалов. С помощью термографии изучают состав минерального сырья для производства строительных материалов, определяют температуру,

при которой в материалах происходят физико-химические превращения, исследуют процессы твердения вяжущих и т.д.

Целью данной работы было изучить потерю массы поликристаллического алюминия марки А85 при комплексных исследованиях, а именно дифференциально термического и термогравиметрического анализа для образцов, разрушенных в условия ползучести с магнитным воздействием и без него. Химический состав алюминия марки А85 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав в % Al А85

Fe	Cu	Si	Ti	Al	Zn
до 0,08	до 0,01	до 0,06	до 0,01	99,85	до 0,02

Для работы использовались образцы диаметром 2 мм из поликристаллического технически чистого алюминия марки А85. Перед проведением испытаний производилась пробоподготовка, заключающаяся в отжиге при температуре 700 К в течение 2 часов с последующим охлаждением в печи. Это было сделано для приведения структуры материала в однородное состояние. Но необходимо отметить, что в данной работе мы также использовали и не отожжённые образцы. Затем следовали испытания на ползучесть при воздействии магнитным полем и без него.

В качестве источника магнитного поля использовали электромагнит, имеющий возможность регулирования индукции магнитного поля. Измерения значения индукции магнитного поля проводили миллитесламетром ТПУ с точностью до 0,01 мТл. В настоящей работе значение индукции магнитного поля варьировалось от 0 Тл до 0,5 Тл. Геометрия магнитного поля не изменялась во всех испытаниях. В ранее проведенных исследованиях [6] было выяснено, что воздействие магнитного поля на технически чистый алюминий приводит к изменению скорости ползучести. Нашим коллективом было принято решение исследовать поверхность образца, разрушенного в условиях ползучести под действием постоянного магнитного поля, при постоянной температуре. Установка для термогравиметрии состоит из весов непрерывного взвешивания (термовесов); печи, в которую помещают образец; приборов, регистрирующих температуру (термопары с самописцами); программного регулятора температуры. В данной работе использовался динамический способ проведения термогравиметрического эксперимента, то есть при изменении температуры печи во времени при постоянной скорости нагрева. Термический анализ производился на установке LABSYS evo TG DTA DSC 1600.

Испытания проводили при изменении температуры от 20 до 700 °С, с последовательным нагреванием на 20 °С в минуту и с охлаждением в камере прибора. В качестве рабочей среды был выбран воздух.

Проведя термический анализ были получены характерные дифференциально термические (ДТА) и термогравиметрические кривые (ТГА) для каждого образца. Пример данных зависимостей представлен на рисунке 1.

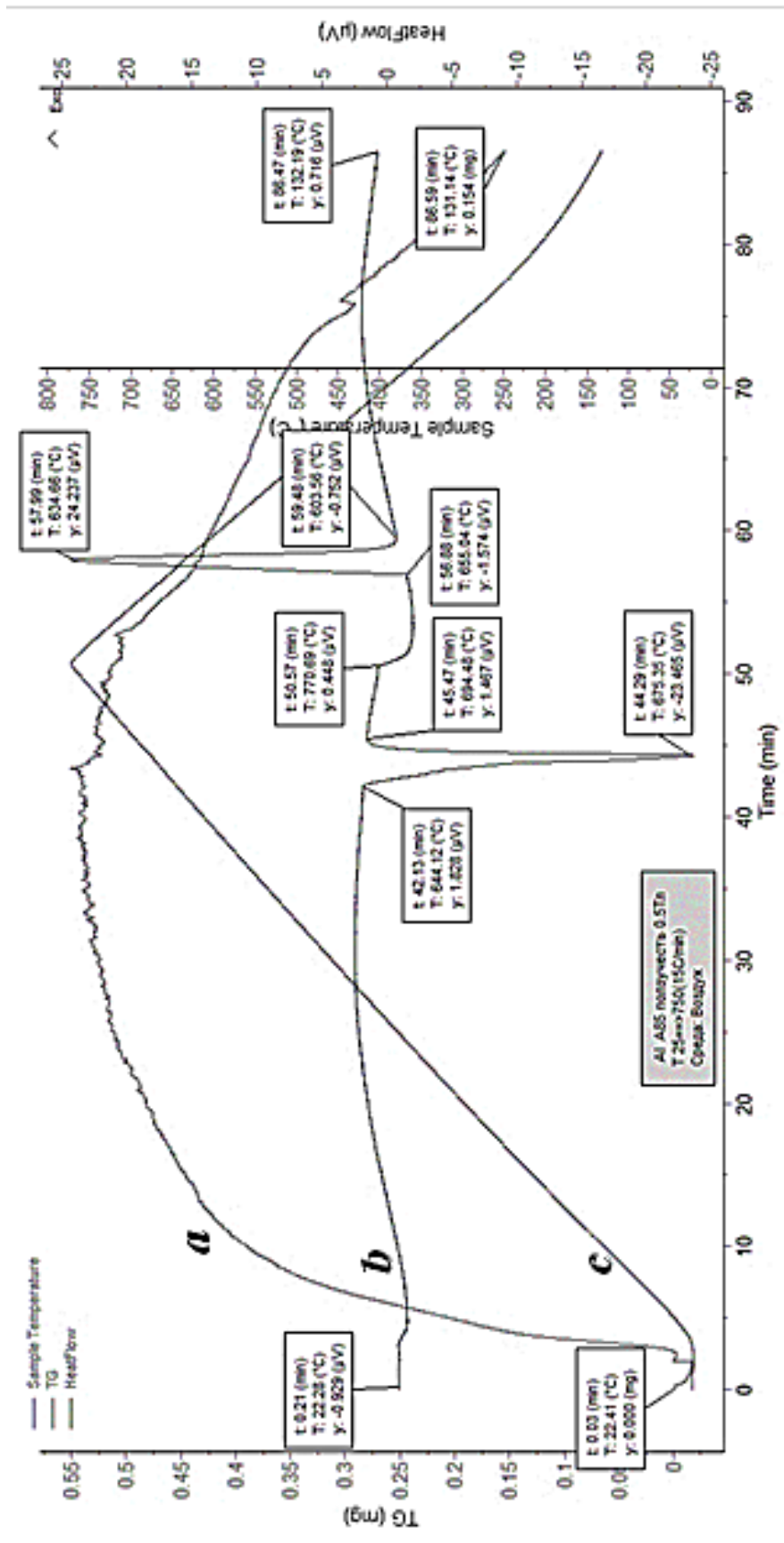


Рисунок 1 – Пример результатов термического анализа для образца Al A85 разрушенного в условиях ползучести при воздействии магнитным полем 0,5Тл

Проанализировав полученные данные из диаграммы, мы можем узнать температуру фазовых переходов материале (b), зависимость изменения массы образца от температуры (a). А также можем контролировать как изменялась температура в течении всего эксперимента (c).

Прибор для термогравиметрии является термоаналитическим устройством, которое позволяет измерять изменение массы (ТГА) и скорость этого изменения (ДТГА) для одного образца, т. е. фиксировать интегральную и дифференциальную кривые потери его массы. Регистрируя во времени температуру и потерю массы образца. На рисунке 2 представлены полученные нашим коллективом ТГА кривые для образцов из технически чистого алюминия марки А85. Представленные кривые позволяют нам детально рассмотреть процесс потери массы образцов в зависимости от времени и роста температуры.

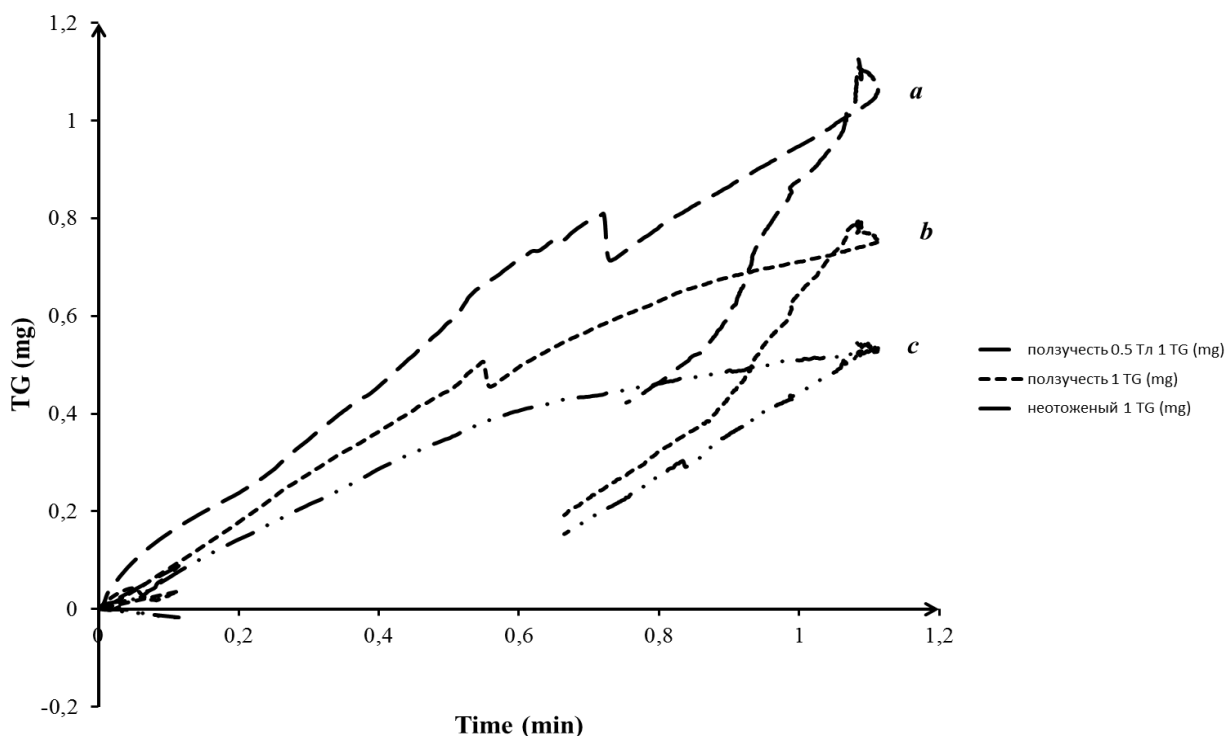


Рисунок 2 – ТГ кривые для образцов Al A85: а - не отожжённый образец, б - образец разрушенный в процессе ползучести без магнитного воздействия, в - образец разрушенный в процессе ползучести под действием магнитного поля 0,5 Тл

Анализ кривых заключается в том, что каждый из трех представленных образцов в зависимости от предварительной обработки испытывает различные потери в массе от времени термического анализа. В зависимости от предшествующего воздействия образцы имеют различные значения в потери массы. Наименьшие потери испытывает образец, разрушенный в условиях ползучести при воздействии магнитным полем 0,5 Тл. Наибольшими поте-

рями обладает образец, который не подвергался никаким воздействиям непосредственно перед термическим анализом. Исходя из этого, мы можем предположить, что магнитное поле оказывает воздействия на материал и приостанавливает процесс потери массы образца при его термическом нагреве.

В работе был проведен гравитермический анализ образцов технически чистого алюминия марки А85. По итогам термографии мы можем утверждать, что магнитное поле влияет на процесс потери массы в условиях повышенной температуры. Были получены характерные зависимости. В дальнейшем предполагается закрепить экспериментальные данные еще и теоретическим обоснованием.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 3.1283.2017/ПЧ.

#### Библиографический список

1. Любченко А.Л. Повышение износостойкости стальных поверхностей путем лазерной обработки/ А.Л. Любченко, Л.С. Липовецкий, Д.Б. Глушкова// Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2006. – № 33. – С. 35-37.

2. Мейснер Л.Л. Анализ методами рентгеновской дифрактометрии градиента внутренних напряжений в никелиде титана после электронно-пучковой обработки поверхности/ А.И. Лотков, М.Г. Остапенко, Е.Ю. Гудинова// Физическая мезомеханика. – 2012. –Т. 15. – № 3. –С. 79-89.

3. Загуляев Д.В. Характер влияния импульсного магнитного поля на микротвердость алюминия / Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, М.В. Пономарева, В.Е. Громов, // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2010. – №1. – С. 32-35.

4. Загуляев Д.В. Характер влияния магнитного поля 0,3 Тл на микротвердость цветных металлов/ В.В. Шляров, С.В. Коновалов// Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии. Издательство ИОА СО РАН. –2016. –С. 125 -128.

5. Соснин К.В. Комбинированное электронно-ионно-плазменное легирование поверхности титана иттрием: анализ структуры и свойств/ Ю.Ф. Иванов, А.М. Глезер // Известия РАН. Серия физическая. –2014. –Т. 78. –№ 11. –С. 1454 -1458.

6. Коновалов, С. В. Закономерности изменения дислокационной субструктуры меди при ползучести в магнитном поле / С. В. Коновалов, Д. В. Загуляев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2015. – № 3. – С. 64-70.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖФАЗНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА УГОЛЬ-РАСТВОР ПАВ

**Истомин И.Б.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Ёлкин И.С.,  
канд. хим. наук, доцент Сивакова Л.Г.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово, e-mail: istominzima@ya.ru*

Представлены результаты исследований межфазных взаимодействий на границе уголь-раствор ПАВ. Показано влияние концентрации ПАВ на интенсивность спектральных линий.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, спектральные линии, межфазные взаимодействия.

Современные исследования угля направлены на глубокое изучение его взаимодействий с различными активными реагентами, изменение его свойств и состава поверхности, структуры в целях как повышения безопасности горных работ при разработке месторождений, так и для получения новых веществ и материалов [1, 2]. Для исследований чаще всего применяются физические методы исследований, основанные на измерении какого-либо физического параметра [3]. Современные спектральные методы исследований позволяют исследовать газовые вещества и жидкие среды, определить химический состав, направление химической реакции, изменение состояния и т.д. Спектральные методы показали хорошую практичность для исследования чистых однородных изотропных веществ, где количество активных связей, структурных неоднородностей незначительно. Уголь является неоднородным по структуре, с ярко выраженными поверхностными свойствами. С точки зрения возможностей проведения оптических и спектрометрических исследований, уголь не является прозрачным, что вызывает ряд ограничений по применению спектральных методов исследований. Тем не менее, применение косвенных спектральных методов позволяет исследовать некоторые свойства угля при его взаимодействиях с растворами. Объектом исследования был уголь марки К (ш. Березовская, пласт XXVII, с влажностью  $W=1,5\%$ , выходом летучих  $V_{daf}=22,4\%$ , зольностью  $A_s = 13,6\%$ ). Для исследований преимущественно использовалась фракция угля 1,0 – 2,0 мм. В качестве поверхностно-активного вещества ПАВ использовали смачиватель Неолас. Это прозрачная, бесцветная жидкость, без запаха, обычно используемая на горных предприятиях в качестве смачивателя для обеспыливания рабочей зоны подготовительного забоя или очистного забоя. Отметим существенные факторы, определяющие свойства углей. Уголь является высокоактивным веществом, содержащим скелет, состоящий из ароматических колец,



минеральной части и слабых органических высокомолекулярных соединений, образующих бахрому макромолекул. Удельная поверхность угля согласно И. Л. Эттингеру [1] составляет порядка  $80 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$ . В зависимости от степени метаморфизма удельная поверхность изменяется на 50%, что существенно оказывает влияние на физические и химические свойства угля. Максимальное значение удельной поверхности соответствует углям марок Д, Г. В [1, 2] показано, что с увеличением степени метаморфизма происходит увеличение содержания ароматических колец в макромолекулярной структуре угля от 2-3 до 5-8 атомов для углей марок Т, А. Данные факторы становятся существенными в межфазных взаимодействиях. Суть метода в следующем. При взаимодействии раствора ПАВ с навеской угля происходит интенсивная адсорбция молекул ПАВ на границе раздела, что вызывает снижение концентрации ПАВ в объеме раствора. Это можно зафиксировать с помощью спектрофотометра по изменению интенсивности спектральных линий. Исследования проводились на спектрофотометре ПЭ-5400УФ, который позволяет проводить измерения в диапазоне длин волн 200 – 1000 нм. Некоторые результаты приведены на рис.1. Максимальное поглощение наблюдалось в области 285 нм, что соответствует наличию в растворе карбонильных групп О, входящих в состав ПАВ. = С > Изменение интенсивности спектральных линий характеризует изменение концентрации ПАВ в растворе. Изменение динамики сорбционных процессов определяют физико-химические процессы, протекающие на границе раздела в результате взаимодействия угля с адсорбатом.

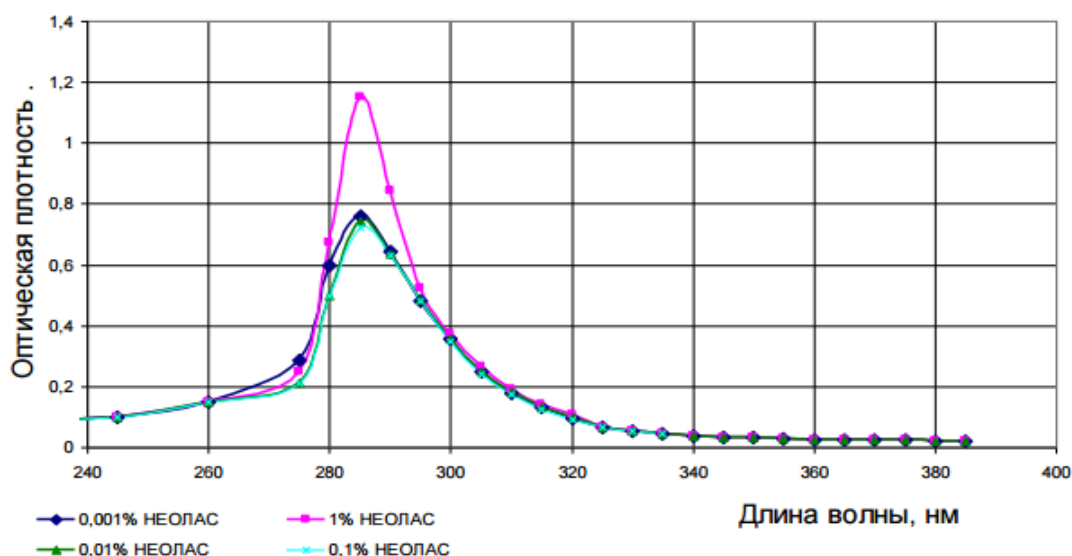


Рисунок – 1 Спектры поглощения раствора ПАВ после адсорбции

В проведенных исследованиях на спектрометре было установлено изменение концентрации в растворе при взаимодействии с углем фракции 1,0 – 2,0 мм. Вследствие биполярности молекул ПАВ, происходит интенсивная адсорбция таких макромолекул на границе уголь-раствор. Это вызывает резкое снижение концентрации ПАВ в растворе, что фиксируется с помощью

спектрофотометра в диапазоне частот 200 – 400 нм. В ультрафиолетовом диапазоне фиксируется устойчивый ярко выраженный максимум в диапазоне 275 – 310 нм длин волн, что свидетельствует об изменении активности карбонильных групп входящих в состав ПАВ.

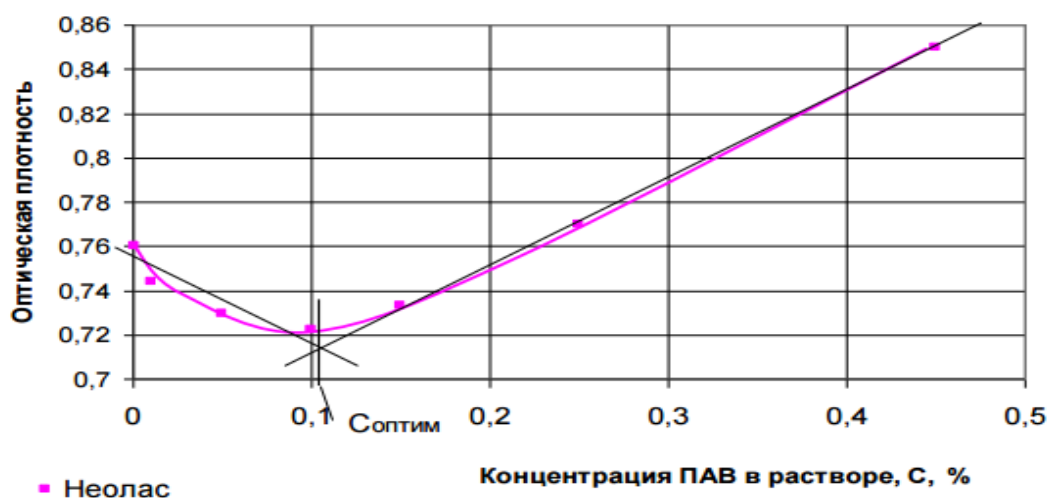


Рисунок - 2 Зависимость оптической плотности от концентрации ПАВ в растворе на длине волны 285 нм

На рисунке 2 приведена зависимость оптической плотности от концентрации ПАВ в растворе на длине волны 285 нм, соответствующей максимальному проявлению активности карбонильных групп в межмолекулярных взаимодействиях угля и ПАВ. Нелинейный вид зависимости подтверждает наличие эффективной концентрации ПАВ Соптим в растворе, при которой наблюдается наиболее полное смачивание [2]. В этой области нарушается закон светопоглощения Бугера-Ламберта-Бера.

Основные результаты: предложен косвенный метод исследования взаимодействия угля и раствора ПАВ с низкой концентрацией и спектральным методом определена оптимальная концентрация раствора ПАВ для угля марки К (ш. Березовская, пласт XXVII), обеспечивающая максимальное смачивание поверхности

#### Библиографический список

1. Эттингер И.Л. Внезапные выбросы угля и газа и структура угля. – М.: Недра, 1969. – 160 с.
2. Елкин И.С. Повышение эффективности низконапорного увлажнения угольных пластов / И. С. Елкин, В. В. Дырдин, В. Н. Михайлов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. – 100 с.
3. Анисимова Н.А. Идентификация органических соединений: учебное пособие (для студентов, обучающихся по специальности «химия»). – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. – 95 с.373

## ПОВЕДЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА МОЛИБДЕНА (VI) ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕТА

**Павлов Н.В.**

**Научный руководитель: канд. хим. наук Суровая В.Э.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, e-mail: sur.vik@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований фотостимулированных превращений наноразмерных пленок оксида молибдена (VI) различной толщины ( $d = 5 - 54$  нм) при облучении их светом  $\lambda = 320$  нм интенсивностью  $I = 7,0 \cdot 10^{15}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>.

Ключевые слова: оксид молибдена (VI), наноразмерные пленки, облучение светом, оптические свойства MoO<sub>3</sub>, степень фотохимического превращения.

Изучение фотохимических процессов в наноразмерных пленках оксида молибдена (VI), который сочетает достоинства модельных соединений (имеет относительно несложный состав и структуру, обладает достаточной фотохимической чувствительностью и внутренним фотоэффектом [1]), актуально как в научном, так и практическом отношении.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких ( $d = 5-54$  нм) слоев MoO<sub>3</sub> на подложки из стекла (ГОСТ 9284 – 59), используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М» [2–6]. Образцы экспонировали при температуре 293 К в атмосферных условиях. Источниками света служили ртутная (ДРТ-250) и ксеноновая (ДКсШ-1000) лампы. Для выделения требуемого участка спектра применяли монохроматор МСД-1 и набор светофильтров. Регистрацию эффектов до и после световой обработки образцов осуществляли гравиметрическим и спектрофотометрическим методами.

Из анализа спектров поглощения и отражения наноразмерных пленок оксида молибдена (VI) разной толщины ( $d = 5-54$  нм) было установлено, что оптические свойства MoO<sub>3</sub> при облучении образцов в атмосферных условиях и  $T = 293$  К светом из области собственного поглощения существенно изменяются. Наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также предельные значения оптической плотности в максимумах и минимумах полос поглощения (реализуемых после воздействия на образцы света) зависят от толщины пленок MoO<sub>3</sub> и времени облучения (рисунок 1).

На спектрах поглощения образца можно выделить характерные для пленок, поли- и монокристаллов MoO<sub>3</sub> – коротковолновую  $\lambda < 400$  нм и длинноволновую  $\lambda > 400$  нм области поглощения [5].

В процессе облучения край полосы поглощения пленки MoO<sub>3</sub> смеща-

ется в коротковолновую область спектра.

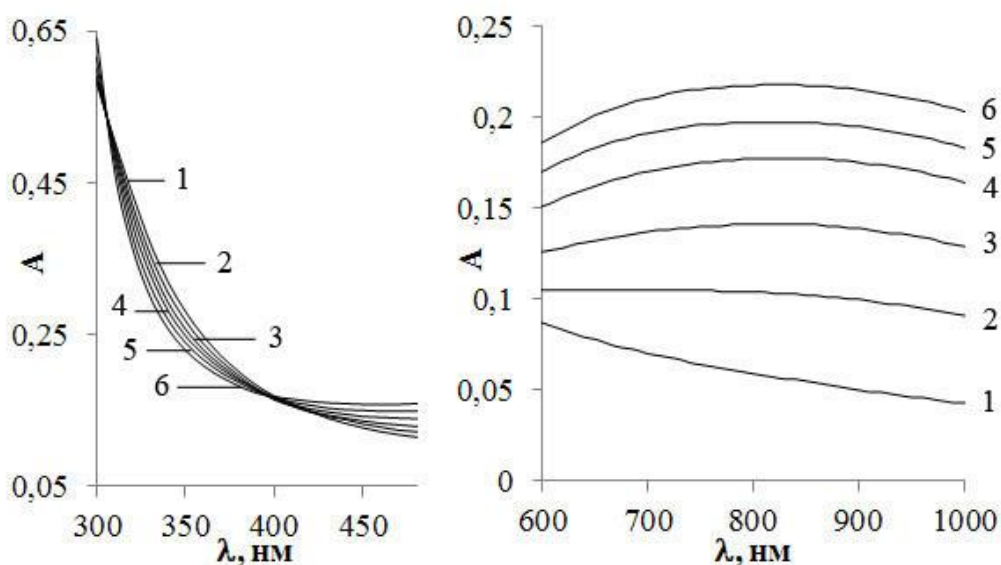


Рисунок 1 - Спектры поглощения слоя оксида молибдена (VI) толщиной 24 нм до (1) и после облучения светом  $\lambda = 320$  нм  $I = 7 \cdot 10^{15}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> при 293 К в течение 2 – 1 мин, 3 – 5 мин, 4 – 20 мин, 5 – 60 мин, 6 – 120 мин.

В результате облучения пленок  $\text{MoO}_3$  светом по мере увеличения толщины образцов наблюдается последовательное возрастание эффектов изменения оптической плотности в диапазоне  $\lambda = 400\text{-}1100$  нм. При воздействии на предварительно облученные при  $\lambda = 320$  нм пленки  $\text{MoO}_3$  светом  $\lambda = 870$  нм наблюдается уменьшение значений оптической плотности в диапазоне  $\lambda = 400\text{-}1100$  нм с максимумом  $\lambda = 870$  нм. Одновременно наблюдается смещение края полосы поглощения в длинноволновую область спектра, которое связано с увеличением оптической плотности в коротковолновой области спектра  $\lambda = 310\text{-}400$  нм с максимумом  $\lambda = 350$  нм.

Для выяснения закономерностей протекания стимулированного светом  $\lambda = 320$  нм процесса в пленках оксида молибдена (VI) были рассчитаны и построены кинетические кривые степени превращения  $\alpha = f(\tau)$  при  $\lambda = 870$  нм в зависимости от толщины пленок  $\text{MoO}_3$  и интенсивности падающего света (рисунок 2).

Степень фотохимического превращения центра  $T_1$  в центр  $T_2$  независимо от толщины пленок  $\text{MoO}_3$  и времени облучения возрастает. Установлено, что при облучении образцов светом из области собственного поглощения по мере увеличения толщины пленок  $\text{MoO}_3$  степень превращения уменьшается. При облучении пленок  $\text{MoO}_3$  светом  $\lambda = 870$  нм наблюдается уменьшение оптической плотности в диапазоне  $\lambda = 400\text{-}1100$  нм с максимумом  $\lambda = 870$  нм и смещение края полосы поглощения  $\text{MoO}_3$  в длинноволновую область спектра.

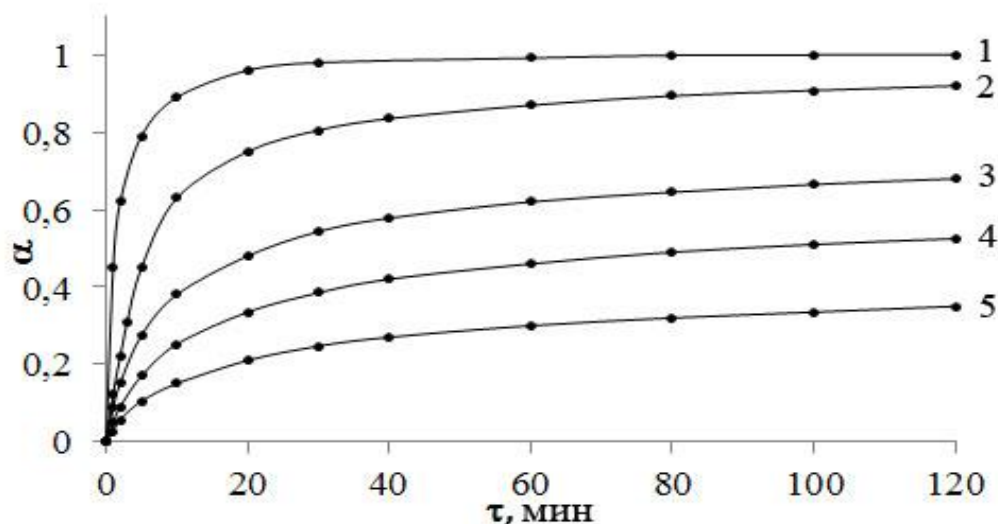


Рисунок 2 - Зависимость степени превращения центра 2 от толщины пленок оксида молибдена (VI) при облучении светом  $\lambda = 320$  нм и интенсивности  $I = 2,4 \cdot 10^{15}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>: 1 – 5 нм; 2 – 18 нм; 3 – 29 нм; 4 – 38 нм; 5 – 54 нм

Мы полагаем, что уменьшение максимума поглощения при  $\lambda = 350$  нм, а также формирование максимума поглощения при  $\lambda = 870$  нм в процессе облучения пленок MoO<sub>3</sub> взаимосвязанные процессы и являются результатом стимулированного светом из области собственного поглощения оксида молибдена (VI) преобразования центра T<sub>1</sub> ( $[(V_a)^{++} e]$ ).

#### Библиографический список

1. Surovoi E.P. Investigation of energy action influence on WO<sub>3</sub> (MoO<sub>3</sub>) – metal system / E.P. Surovoi, N.V. Borisova, I.V. Titov // Известия высших учебных заведений. Физика, 2006. № 10. Приложение. – С. 338-340.
2. Суrowой Э.П. Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках никеля // Журн. физ. химии. 2014. Т. 88. № 12. С. 1970 – 1976.
3. Суrowой Э.П. Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Заиконникова Т.М. Кинетические закономерности формирования наноразмерной системы марганец – оксид марганца // Журн. физ. химии. 2016. Т. 90. № 3. С. 411 – 417.
4. Суrowой Э.П., Бин С.В., Суrowая В.Э., Бугерко Л.Н. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках свинца // Журн. физ. химии. 2015. Т. 89. № 1. С. 85 – 91.
5. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термопревращения в наноразмерных слоях MoO<sub>3</sub>// Журнал физической химии, 2008. Т. 82. № 11. – С. 2120 – 2125.
6. Суrowой Э.П. Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. и др. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702 – 709.

## МОДИФИКАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК МАРГАНЦА В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ T=473K

Суровая В.Э.

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, e-mail: sur.vik@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований закономерностей процессов, протекающих в условиях атмосферы в наноразмерных пленках марганца ( $d = 4 - 108$  нм) в зависимости от толщины и времени теплового воздействия при  $T = 473$ К.

Ключевые слова: марганец, оксид марганца (II), наноразмерные пленки, окисление, степень термического превращения.

Марганец и оксиды марганца благодаря комплексу положительных свойств (способность к растворению других металлов и образованию сплавов с большим количеством химических элементов, способность марганца связывать серу и кислород и др.) широко применяются во многих областях науки, техники, промышленности [1, 2].

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких ( $4 - 108$  нм) пленок марганца на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М» [3–5]. Подложками служили стекла от фотопластинок ГОСТ 9284-59, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [3-5]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне  $300 - 1100$  нм. Толщину пленок марганца и оксида марганца (II) определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. Гравиметрический метод кварцевого микровзвешивания основан на определении приращения массы ( $\Delta m$ ) на единицу поверхности кварцевого резонатора (толщиной  $h = 0,1$  мм) после нанесения на нее пленки марганца. Разрешающая способность при термостабилизации резонаторов на уровне  $\pm 0,1$  К составляет  $\Delta m = 1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-9}$  г/см<sup>2</sup>. Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (473 К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Memmert BE 300». Регистрацию эффектов до и после термической обработки образцов осуществляли гравиметрическим и спектрофотометрическим методами.

В результате исследований оптических свойств наноразмерных пленок марганца разной толщины (нанесенных на стеклянные подложки) до, в процессе и после термической обработки ( $T = 473$  К) в атмосферных условиях

при  $T = 298 \text{ K}$ , было установлено, что спектры поглощения и отражения пленок марганца до термообработки существенно зависят от их толщины.

При термической обработки пленок марганца разной толщины при  $T = 473 \text{ K}$  в атмосферных условиях спектры поглощения, отражения и масса образцов претерпевают существенные изменения. Установлено, что в рассматриваемом спектральном диапазоне длин волн наряду с уменьшением значений оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества. Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 480 \text{ нм}$ , оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E \approx 2,57 \text{ эВ}$ . Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида марганца (II) [6]. Поэтому, было сделано предположение, что при термической обработке пленок марганца основным продуктом взаимодействия их с кислородом окружающей среды является оксид марганца (II).

По мере увеличения толщины пленок марганца (вплоть до  $108 \text{ нм}$ ) при постоянной температуре термической обработки ( $473 \text{ K}$ ), наблюдается последовательное уменьшение эффектов изменения оптической плотности образцов во всем исследованном спектральном диапазоне.

Используя результаты гравиметрических исследований и измерений спектров поглощения и отражения пленок марганца до и в процессе термической обработки образцов при  $T=473\text{K}$  были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения ( $\alpha = f(\tau)$ ):

$$\alpha = (A_{\text{Mn}}^{\text{I}} - A_{\text{обр}}) / (A_{\text{Mn}}^{\text{I}} - A_{\text{MnO}}^{\text{I}}) \quad (1)$$

где  $A_{\text{Mn}}^{\text{I}}$  – предельная оптическая плотность пленки марганца при  $\lambda = 800 \text{ нм}$ ;  
 $A_{\text{MnO}}^{\text{I}}$  – предельная оптическая плотность оксида марганца (II) при  $\lambda = 800 \text{ нм}$ ;

$A_{\text{обр}}$  – оптическая плотность пленки марганца.

Степень термического превращения пленок марганца зависит от первоначальной толщины, температуры и времени термической обработки.

Установлено, что с уменьшением толщины пленок марганца наблюдается увеличение степени термического превращения.

Кинетические кривые степени термического превращения пленок марганца разной толщины условно можно разбить на несколько участков: линейный ( $\alpha = K\tau + A$ ), обратный логарифмический ( $K / \alpha = B - \lg\tau$ ), кубический ( $\alpha^3 = K\tau + B$ ) и логарифмический ( $\alpha = K \lg(B\tau + 1)$ ), где  $K$  – константа скорости формирования оксида марганца (II),  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования,  $\tau$  – время взаимодействия.

На рисунке 1 в качестве примера приведены кинетические кривые термического превращения пленок Mn толщиной  $d = 54 \text{ нм}$  при  $T = 473 \text{ K}$ .

Наличие соответствующих участков, а также их продолжительность определяется толщиной пленок марганца и температурой термообработки.



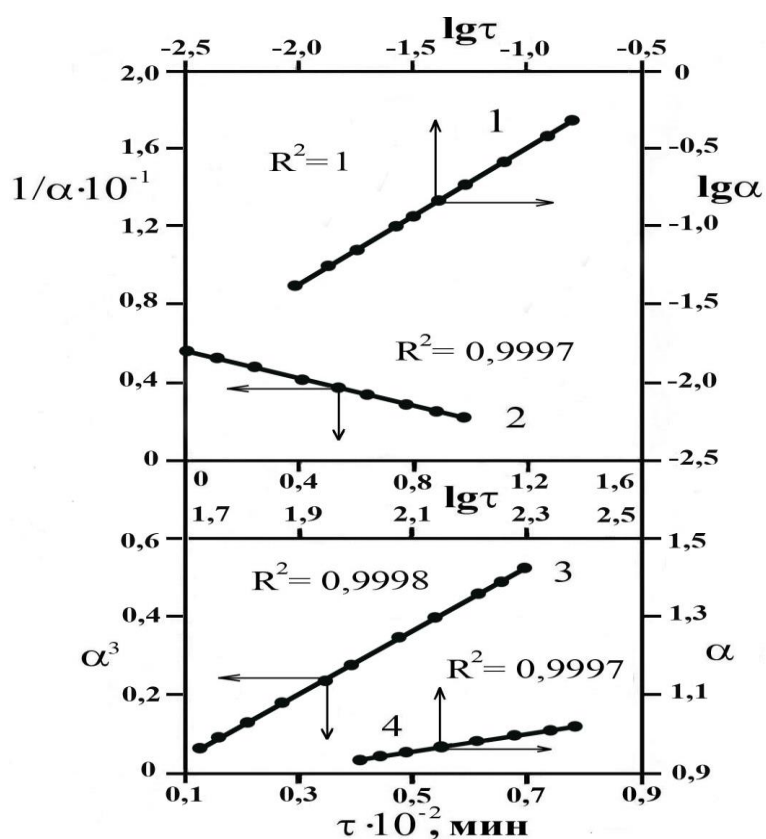


Рисунок 1 - Кинетические кривые термического превращения пленок Mn толщиной  $d = 54$  нм при  $T = 473$  К: 1 – линейный; 2 – обратный логарифмический закон; 3 – кубический закон; 4 – логарифмический закон

По мере увеличения толщины пленок марганца и уменьшения температуры термообработки наблюдается увеличение продолжительности участков кинетических кривых степени превращения.

#### Библиографический список

1. Раков, Э.Г. Неорганические наноматериалы.–М.: Бином, 2013.– 477 с.
2. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 414 с.
3. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702 – 709.
4. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Кинетические закономерности взаимодействия наноразмерных пленок висмута с аммиаком // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 6. С. 1020 – 1026.
5. Суrowой Э.П., Бин С.В., Суrowая В.Э., Бугерко Л.Н. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках свинца // Журн. физ. химии. 2015. Т. 89. № 1. С. 85 – 91.
6. Лазарев, В.Б., Соболев, В.В., Шаплыгин, И.С. Химические и физические свойства простых оксидов металлов. – М.: Наука, 1983. – 239 с.



**ОБЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ВИСМУТА  
СВЕТОМ  $\lambda = 360$  нм ИНТЕНСИВНОСТЬЮ  $I = 7,0 \cdot 10^{15}$  квант $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$**

**Назарова Е.С.**

**Научный руководитель: канд. хим. наук Суrowая В.Э.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, e-mail: sur.vik@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований фотостимулированных превращений наноразмерных пленок висмута различной толщины ( $d = 3 - 55$  нм) при облучении их светом  $\lambda = 360$  нм интенсивностью  $I = 7,0 \cdot 10^{15}$  квант $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$ .

Ключевые слова: висмут, оксид висмута (III), наноразмерные пленки, облучение светом, степень фотохимического превращения.

Одним из важнейших направлений применения висмута является производство полупроводниковых материалов. Соли висмута применяются при изготовлении красок для дорожных знаков, "вспыхивающих", когда на них падает луч автомобильной фары. Оксид висмута (III) применяют для изготовления многих лекарств от желудочно-кишечных заболеваний, а также антисептических и заживляющих средств [1].

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких ( $3 - 55$  нм) пленок висмута на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М» [2 - 4]. Подложками служили стекла от фотопластинок (ГОСТ 9284 - 59) [2 - 4]. Толщину пленок висмута и оксида висмута определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. Образцы экспонировали при температуре 293 К в атмосферных условиях. Источниками света служили ртутная (ДРТ-250) и ксеноновая (ДКсШ-1000) лампы. Для выделения требуемого участка спектра применяли монохроматор МСД-1 и набор светофильтров. Актинометрию источников света проводили с помощью радиационного термоэлемента РТ-0589. Регистрацию эффектов до и после световой обработки образцов осуществляли гравиметрическим и спектрофотометрическим методами.

При анализе оптических свойств наноразмерных пленок висмута, нанесенных на стеклянные подложки, до, в процессе и после воздействия света  $\lambda = 360$  нм интенсивностью ( $I = 7,0 \cdot 10^{15}$  квант $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$ ) в атмосферных условиях при  $T = 293$  К, было установлено, что спектры поглощения и отражения, масса образцов зависят от первоначальной толщины пленок висмута, длины волны и времени облучения (рисунок 1).

При  $\lambda = 320$  нм наблюдается изобестическая точка. Наряду с уменьшением в интервале  $\lambda = 320 - 1100$  нм и увеличением в интервале  $\lambda \leq 320$  нм

оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

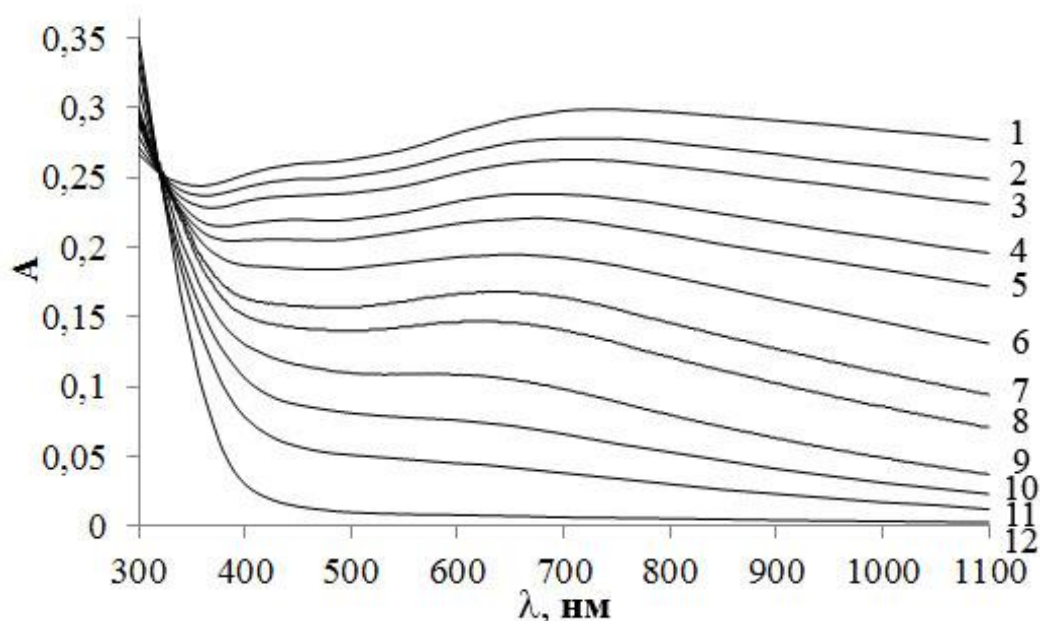


Рисунок 1 - Спектры поглощения пленки висмута толщиной 26 нм до (1) и после облучения светом  $\lambda = 360$  нм и интенсивности  $I = 7 \cdot 10^{15}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> в течение: 2 - 9 мин, 3 - 15 мин, 4 - 30 мин, 5 - 40 мин, 6 - 60 мин, 7 - 85 мин, 8 - 100 мин, 9 - 160 мин, 10 - 185 мин, 11 - 230 мин, 12 - 370 мин.

Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 387$  нм, оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E \approx 3,2$  эВ. Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида висмута (III) [2, 5]. Поэтому, было сделано предположение, что при облучении пленок висмута основным продуктом взаимодействия их с кислородом окружающей среды является оксид висмута (III).

При уменьшении толщины пленок висмута (при постоянной интенсивности падающего света) наблюдается последовательное возрастание эффектов изменения оптической плотности образцов во всем исследованном спектральном диапазоне.

Используя результаты гравиметрических исследований, измерений спектров поглощения и отражения пленок висмута до и после облучения образцов светом  $\lambda = 360$  нм разной интенсивности, были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения  $\alpha = f(\tau)$ . Степень фотохимического превращения пленок висмута с уменьшением толщины пленок висмута возрастает (рисунок 2).

При сопоставлении кривых  $\alpha = f(\tau)$  установлено, что степень превращения пленок висмута облучаемых светом  $\lambda = 360$  нм значительно больше, чем при термической обработке при  $T = 293$  К.

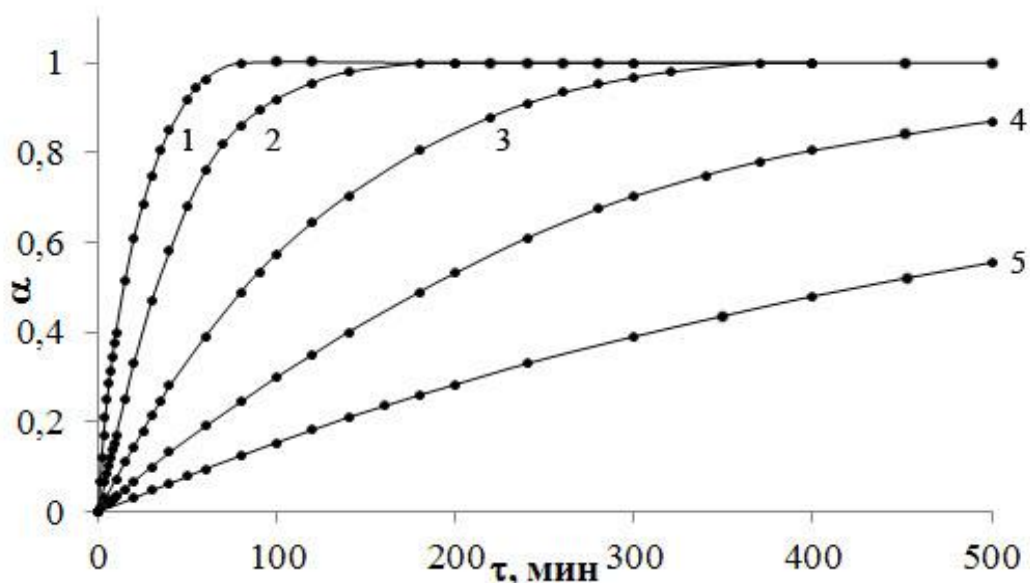


Рисунок 2 - Зависимость степени превращения от толщины пленок Вi:  
 1 – 3 нм; 2 – 16 нм; 3 – 26 нм; 4 – 40 нм; 5 – 55 нм ( $\lambda = 360$  нм,  
 интенсивность  $I = 7 \cdot 10^{15}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>)

В зависимости от первоначальной толщины пленок висмута и интенсивности падающего света кинетические кривые степени превращения удовлетворительно описываются в рамках: линейного ( $\alpha = K\tau + A$ ), обратного логарифмического ( $K/\alpha = B - \lg\tau$ ), кубического ( $\alpha^3 = K\tau + B$ ) и логарифмического ( $\alpha = K \lg(B\tau + 1)$ ) законов, где  $K$  – константа скорости формирования оксида висмута (III),  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования,  $\tau$  – время взаимодействия. По мере увеличения толщины пленок висмута и уменьшения интенсивности падающего света наблюдается увеличение продолжительности участков кинетических кривых степени превращения.

#### Библиографический список

1. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. – М.: БИНОМ, 2008. – 365 с.
2. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н., Суровая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702 – 709.
3. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н., Суровая В.Э., Заиконникова Т.М. Кинетические закономерности формирования наноразмерной системы марганец – оксид марганца // Журн. физ. химии. 2016. Т. 90. № 3. С. 411 – 417.
4. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н., Суровая В.Э. Кинетические закономерности взаимодействия наноразмерных пленок висмута с аммиаком // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 6. С. 1020 – 1026.
5. Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел. – М.: ИЛ, 1962. – 558 с.

## **СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

**Гостевская А.Н., Рубанникова Ю.А., Мусорина Е.В.**

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

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

Методами просвечивающей дифракционной электронной микроскопии проведены исследования структурно-фазовых состояний балки из стали 09Г2С, формирующих в результате термомеханического упрочнения. На основе использования количественных параметров структуры стали, выполнен анализ физических механизмов, характеризующий структурно-фазовое состояние.

Ключевые слова: термомеханическое упрочнение, структура, механизмы упрочнения.

В настоящее время при производстве прокатной продукции широко используются технологии термомеханического упрочнения. Исследование процессов термомеханической обработки должно включать в себя установление связей между механическими свойствами готового продукта и эволюцией структуры, фазового состава для каждого конкретного изделия. При термомеханической обработке в материалах формируются градиентные структурно-фазовые состояния [1]. Важность изучения структуры, фазового состава при термомеханическом упрочнении диктуются, развитием новых отраслей производства, предъявляющих ряд особых требований к свойствам изделий. Во-вторых, структурно-фазовые состояния определяют комплекс механических свойств.

Экспериментальные исследования структур и фазовых состояний, формирующихся в сечении изделий в результате термомеханической обработки, очень важны для понимания физической природы превращений. Целью данной работы являлось выявление закономерностей формирования структурно-фазовых состояний, реализующихся при термомеханическом упрочнении низкоуглеродистой стали.

Материалом исследования являлись образцы из стали марки 09Г2С.

При прокатке без ускоренного охлаждения в поверхностном слое балки формируется зеренно-субзеренная структура. Высокотемпературная прокатка и последующее ускоренное охлаждение заготовки приводят к формированию в стали многофазной структуры. Основной фазой является  $\alpha$ -фаза, представленная зернами структурно-свободного феррита, сформировавшимися в результате диффузионного  $\gamma \Rightarrow \alpha$  превращения; зернами феррита, в объеме которых присутствуют частицы карбида железа. В объеме зерен могут присутствовать так же кристаллы «бескарбидного» бейнита. Бескарбидный бейнит встречается

в промышленных сталях. Называется бескарбидным потому, что в объеме и по границам пластин  $\alpha$ -фазы отсутствуют частицы карбидной фазы [2,3].

При использовании методов дифракционной электронной микроскопии проведены исследования структурно-фазовых состояний двутавровой балки стали 09Г2С. Было установлено, что структурно-фазовых состояния  $\alpha$ -фазы определяются следующими механизмами: (1) механизм диффузионного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения; (2) режимом высокотемпературной прокатки и ускоренного охлаждения; (3) расстоянием до поверхности ускоренного охлаждения. Установлено соответствие дислокационной субструктуры стали и морфологии  $\alpha$ -фазы (механизма  $\gamma \Rightarrow \alpha$  превращения

В результате прокатки и ускоренного охлаждения в стали формируется градиентная структура, описываемая определенным изменением фазового состава и параметров субструктуры по мере приближения к поверхности ускоренного охлаждения.

Выполнен анализ процессов, приводящих к формированию в структуре стали 09Г2С наноразмерных фаз. Показано, что это возможно: во-первых, при растворении пластин цементита перлитных колоний и повторном выделении частиц цементита на дислокациях; во-вторых, при распаде твердого раствора углерода в  $\alpha$ -железе, формирующегося в условиях ускоренного охлаждения стали; в-третьих, при до превращении остаточного аустенита; в-четвертых, при реализации диффузионного механизма  $\gamma \Rightarrow \alpha$  превращении в условиях высокой степени деформации и высоких температур обработки.

Термомеханическое упрочнение стали сопровождается увеличением нанотвердости поверхностного слоя в 1,22 раза при одновременном снижении модуля Юнга. Выявлена зависимость микротвердости балочного профиля стали 09Г2С от расстояния до поверхности охлаждения при термомеханическом упрочнении. Выявлены количественные параметры, характеризующие структурно-фазовое состояние.

Анализ рассмотренных механизмов упрочнения может быть использован для прогнозирования свойств стали при различных режимах термомеханического упрочнения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-48-420530 р\_а.*

#### Библиографический список

1. В. Е. Громов, Э. В. Козлов, В. А. Бердышев, Градиентные структурно-фазовые состояния в рельсовой стали (Москва: Недра коммюникейшинс ЛТД: 2000).
2. В. М. Счастливцев, Д. А. Мирзаев, И. Л. Яковлева, Структура термически обработанной стали (Москва: Металлургия: 1994).
3. А. Ю. Калетин, В. М. Счастливцев, Н. Т. Карева и др., Физика и механика материалов, 56, № 2: 366 (1983).

## **ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Мусорина Е.В., Гостевская А.Н., Рубанникова Ю.А.**

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

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

Методами сканирующей, оптической, просвечивающей электронной микроскопии и измерениями микротвердости и трибологических параметров установлены изменения структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры поверхности рельсов после длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 500 и 1000 млн. тонн брутто).

Ключевые слова: структура, дефектная субструктура, рельсы, эксплуатация, фазовый состав, поверхностный слой.

Увеличение интенсивности движения с одновременным ростом нагрузок на ось, объема грузоперевозок приводят к значительному износу поверхности катания и выходу рельсов из строя [1]. После небольших сроков эксплуатации (пропущенный тоннаж 100-500 млн. тонн брутто) наблюдается формирование структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры, характерных для интенсивных пластических деформаций.

Цель данной работы – анализ деформационного преобразования структуры и свойств поверхностного слоя рельс, обусловленного длительной эксплуатацией на железной дороге.

В качестве материала для исследования использовали образцы рельсовой стали Р65, свойства и элементный состав которой регламентируется ГОСТом Р 51685 – 2000. Образцы рельсовой стали были вырезаны из рельсов в исходном состоянии и после эксплуатации на железной дороге (пропущенный тоннаж (500 и 1000) млн. т брутто). Анализу подвергали структурно-фазовое состояние поверхностного слоя зоны катания рельса. Структуру металла исследовали методами металлографии (метод поперечных травленных шлифов, травление осуществляли в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты), просвечивающей и сканирующей дифракционной электронной микроскопии (метод тонких фольг) [2].

Анализ прочностных свойств поверхностного слоя стали осуществляли, определяя твердость материала (микротвердомер ПМТ-3 (метод Виккерса при нагрузке на индентор 2 Н)). Исследования износостойкости материала (определяли коэффициент трения и скорость износа материала) проводили на трибометре «Tribotechnic» (Франция). В качестве контртела использовали шарик из стали ШХ15 диаметром 3 мм. Нормальная нагрузка на контртело составляла 10 Н; конечное число оборотов образца – 5000.

Результаты трибологических исследований, представленные в таблице 1, показывают, что эксплуатация рельсов приводит к снижению ее износостойкости. При этом при пропущенном тоннаже 500 млн. т. брутто износостойкость рельсов снижается в  $\approx 3$  раза, а при 1000 млн. т брутто – в  $\approx 3,4$  раза. Снижение износостойкости сопровождается уменьшением коэффициента трения (таблица 1).

Таблица 1 - Результаты трибологических испытаний поверхности катания рельсов

Маркировка	$\mu$	Скорость износа, $10^{-5}$ , мм <sup>2</sup> /м*Н
500	0,36	9,8
1000	0,43	10,9
Исходный	0,49	3,2

Изменение твердости и трибологических характеристик стали при эксплуатации рельсов обусловлено соответствующим изменением дефектной субструктуры и, возможно, фазового состава поверхностного слоя материала. После наработки 500 млн. т брутто наблюдается полное разрушение пластин цементита колоний перлита. Можно предположить, что частицы большего размерного класса сформировались в результате разрушения пластин цементита; частицы меньшего размерного класса – в результате распада пересыщенного твердого раствора, сформировавшегося при пластической деформации стали.

Результаты анализа структуры и фазового состава поверхностного слоя рельсовой стали, формирующейся после пропущенного тоннажа 500 млн. т брутто, свидетельствуют о формировании нанокристаллической многофазной структуры, что и является основной причиной некоторого (в  $\approx 1,2$  раза) повышения твердости стали.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-12-00010.*

#### Библиографический список

1. Ворожищев В.И. Состав и технология производства рельсов повышенной работоспособности. – Новокузнецк: Изд-во «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2008. – 351 с.
2. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М. : Металлургия, 1973. – 584 с.

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА НАПЛАВКИ, СФОРМИРОВАННОЙ НА СТАЛИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ**

**Рубанникова Ю.А., Мусорина Е.В., Гостевская А.Н.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Коновалов С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: rubannikova96@mail.ru*

Методами электронной дифракционной микроскопии показано, что поверхностный слой наплавки, модифицированный интенсивным импульсным электронным пучком, является многофазным агрегатом, основными фазами которого являются твердый раствор на основе  $\alpha$ -железа, борид железа состава FeB и карбид бора состава B<sub>4</sub>C.

Ключевые слова: наплавка, электронный пучок, структура, фазовый состав, поверхностный слой.

В настоящее время электронно-пучковая обработка является уникальным и высокоэффективным инструментом как для исследования физической природы формирования градиентных структурно-фазовых состояний, так и для целенаправленной модификации структуры и свойств силуминов для улучшения их эксплуатационных характеристик [1]. Целью настоящей работы является анализ результатов, полученных при исследовании структуры и трибологических свойств слоя, сформированного на стали Hardox 450 электроконтактной наплавкой проволоки системы Fe-C-Ni-B, модифицированного облучением высокоинтенсивным импульсным электронным пучком.

В качестве материала основ использовали сталь марки Hardox 450 ((вес. %): 0,19-0,26 C; 0,70 Si; 1,6 Mn; 0,025 P; 0,010 S; 0,25 Cr; 0,25 Ni; 0,25 Mo, 0,004 B; остальное – Fe). В качестве наплавляемого электрода использовали порошковую проволоку следующего химического состава (вес. %): 0,7 C; 2,0 Mn, 1,0 Si, 2,0 Ni, 4,5 B, остальное – Fe.

Облучение наплавленного слоя высокоинтенсивным импульсным электронным пучком приводит к формированию модифицированного поверхностного слоя толщиной до 50 мкм (рисунок 1, а, слой 1). Модифицированный слой, выявленный методами оптической и сканирующей электронной микроскопии травленого шлифа, отличается от основного объема наплавленного материала степенью дисперсности структуры, выявленной при ионном травлении поперечного шлифа. Сравнивая изображения структуры наплавленного слоя, (рисунок 1, б и рисунок 1, в) можно обнаружить, что облучение материала наплавки интенсивным импульсным электронным пучком сопровождается формированием структуры, размеры элементов травления которой (очевидно, тугоплавкие соединения, обладающие сравни-



тельно низким уровнем травления ионным пучком) изменяются в пределах от 200 нм до 500 нм (рисунок 1, б). В объеме наплавленного слоя, не подвергнутому облучению электронным пучком (рисунок 1, а, слой 2), размеры вытравленных элементов структуры достигают 1,0 мкм (рисунок 1, в).

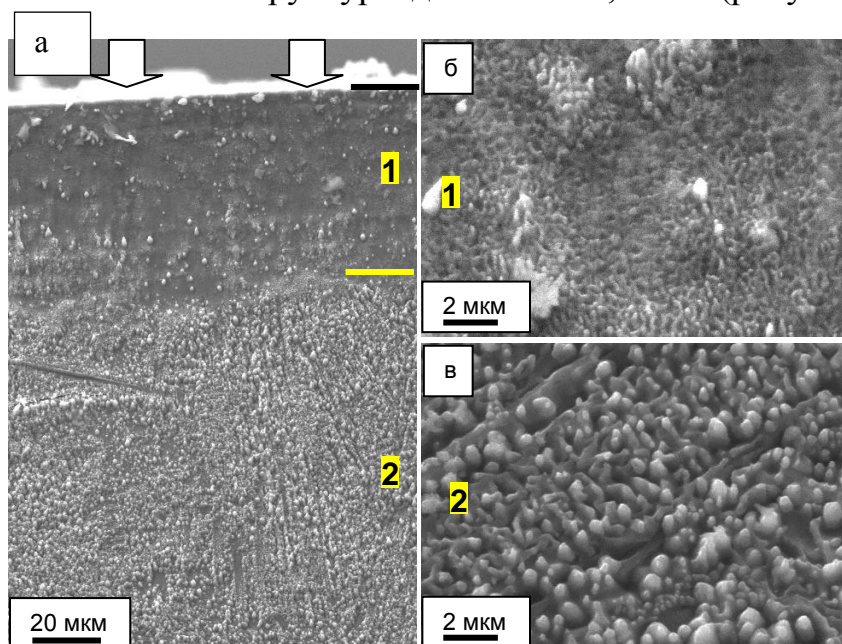
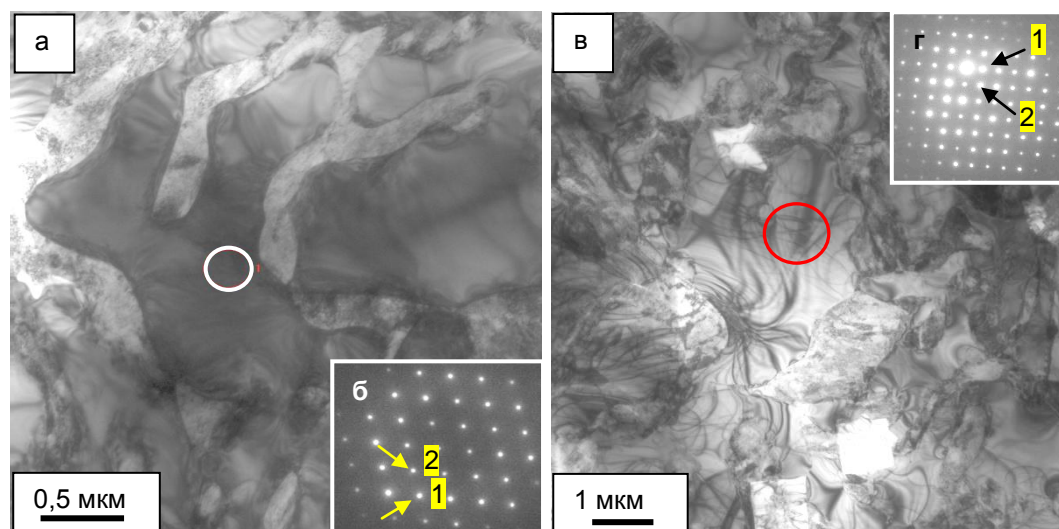


Рисунок 1 - Структура наплавленного слоя. Поперечный травленный шлиф. Стрелками указана поверхность облучения наплавленного слоя импульсным интенсивным электронным пучком. Цифрами обозначено: 1 – слой, модифицированный электронным пучком; 2 – основной объем наплавки

Фазовый состав наплавленного слоя, модифицированного интенсивным импульсным электронным пучком, анализировали методами рентгенофазового анализа [2]. Анализ рентгенограмм показал, что основными фазами исследуемого слоя наплавленного металла являются твердый раствор на основе  $\alpha$ -железа (объемоцентрированная кристаллическая решетка), борид железа состава  $\text{FeB}_2$  и карборид железа состава  $\text{Fe}_3(\text{B}_{0.7}\text{C}_{0.3})$ . Морфологию фаз и дефектную субструктуру поверхностного слоя наплавленного материала анализировали методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг. Основу анализируемого слоя составляет структура пластинчатого типа. Микродифракционный анализ показывает, что это  $\alpha$ -фаза, сформировавшаяся в результате мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения.

Облучение поверхности наплавленного слоя приводит к существенному изменению фазового состава и дефектной субструктуры материала. Прежде всего, обращает на себя внимание существенное уменьшение поперечных размеров кристаллов мартенсита. Если в стали, закаленной с печного нагрева средние поперечные размеры кристаллов пакетного мартенсита составляют (150-200) нм, то в модифицированном интенсивным импульсным электронным пучком слое наплавки поперечные размеры кристаллов пакетного мартенсита изменяются в пределах (50-70) нм. Микродифракционный

анализ выявил присутствие в поверхностном слое следующих фаз: FeB (рисунок 2, а) и В<sub>4</sub>С (рисунок 2, б).



а, в – светлые поля; б, г - микроэлектроннограммы, полученные с областей, выделенных на (а) и (в) окружностями. Стрелками на (б) указаны рефлексы фазы FeB: 1 – [011]; 2 – [111]; на (г) указаны рефлексы фазы В<sub>4</sub>С: 1 – [012]; 2 – [110]

Рисунок 2 - Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхности наплавленного слоя, облученного интенсивным импульсным электронным пучком

Формирование наплавленного слоя приводит к увеличению износостойкости стали. Выполненные испытания выявили увеличение износостойкости наплавленного слоя, модифицированного интенсивным импульсным электронным пучком, более чем в 20 раз по отношению к износостойкости стали и более чем в 11 раз по отношению к наплавленному слою, не модифицированному электронным пучком.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 15-19-00065.*

#### Библиографический список

1. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке // Известия вузов. Физика. - 2008. - №5. - С. 60-70.
2. Курдюмов В.Г., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. – М.: Наука, -1977. –236 с.

## МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ КАПЕЛЬ НА ЭЛЕКТРОДЕ ПРИ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Устюжанин С. В., Грановский А.Ю.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Сарычев В.Д.

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

Проведено численное моделирование формирования капель в пакете Comsol Physics. Выявлено формирование вихревой зоны вблизи торца электрода в начальные моменты формирования капли. Течение в самой капле безвихревое. Получена конфигурация зоны пинч эффекта и её развитие во времени. Полученные данные могут стать подмоделью комплексного проекта сварка.

Ключевые слова: сварка, формирование капель, численная модель, уравнения Навье-Стокса и Максвелла, Comsol Physics.

### *Введение.*

Процессы сварки и наплавки можно представить в виде четырех основных этапов: формирование капли, течение газоплазменной гетерогенной струи, формирование ванны расплава и структурно-фазовых превращений. Для разработки технологий сварки и наплавки, используется компьютерное моделирование всех процессов в целом. Для глубокого понимания механизмов и получения количественных зависимостей, перечисленных процессов необходимо рассматривать отдельно. Центральной проблемой применения наплавки является перенос материала электрода на рабочую поверхность изделия, в частности процессы образования и отрыва капли.

Кроме сварных технологий процессы формирования капель возникают во многих инженерных приложениях (3D печать, получение частиц микро- и наноразмера и др.) [1 – 3]. В [4] рассмотрены нерешенные вопросы и будущие направления исследования сварочной дуги, где указано, что механизм формирования и его моделирование требуют дальнейшей разработки. Поэтому тема наших исследований актуальна.

В работе используется проект, созданный в Comsol Physics моделирования формирования капель вблизи торца электрода [5]. Целью настоящей работы было получение и анализ распределения скоростей, силы тока, температуры и плотности силы Ампера при различных временах.

### *Постановка задачи.*

Уравнение Навье-Стокса с учетом электромагнитных сил:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu_e \nabla^2 \vec{v} - \vec{J} \times \vec{B} + \vec{g}$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0$$

где  $\nu_e$  - эффективная вязкость

$$\nu_e = \begin{cases} \nu & T \geq T_l \\ 10^8 \nu & T < T_l \end{cases}$$

Уравнение теплопереноса

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}}{\sigma}$$

Уравнение неразрывности электрического тока

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0$$

Закон Ома

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V$$

Уравнение Максвелла

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

где  $\vec{v}$  - вектор скорости,

$P$  - давление,

$J$  - плотность электрического тока,

$\vec{B}$  - вектор магнитной индукции,

$T$  - температура,

$V$  - электрический потенциал,

$I$  - электрический ток.

Рассматривается осесимметричная задача с осью симметрии  $AD$  в центре электрода. На границе  $CD$  задается напряжение и скорость движения электрода. Граница  $AB$  является активной поверхностью, принимающей тепловое воздействие плазменной струи. Непосредственно течение плазменной струи в данной постановке не моделируется, поэтому ее воздействие на электрод будем моделировать через постановку соответствующих граничных условий. Плотность электрического тока на поверхности аппроксимируем функцией линейно зависящей от координаты. Весь ток распределяется по активной поверхности  $AB$  электрода как показано на рисунке 1.

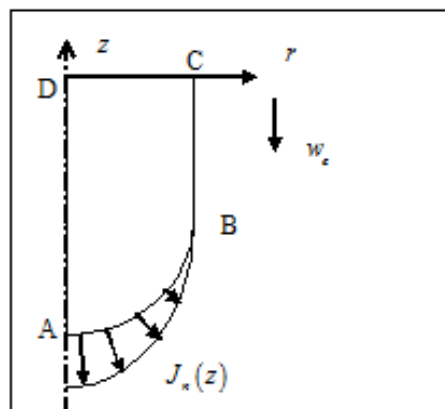


Рисунок 1 - Расчетная схема

### Результаты.

На рисунках 2 и 3 приведены результаты расчетов. Как видно из рис.2 (а) зарождается вихревое течение в расплавленной зоне электрода, расплавленный металл стекает вниз электрода начиная формирование капли при этом вихревое течение пропадает рис.2 (б). На рис.2 (в) видно, что перед отрывом капли идёт зарождение вихревой зоны, что приводит к зарождению новой капли. Полученные данные являются уникальными и могут стать подмоделью комплексного проекта сварка.

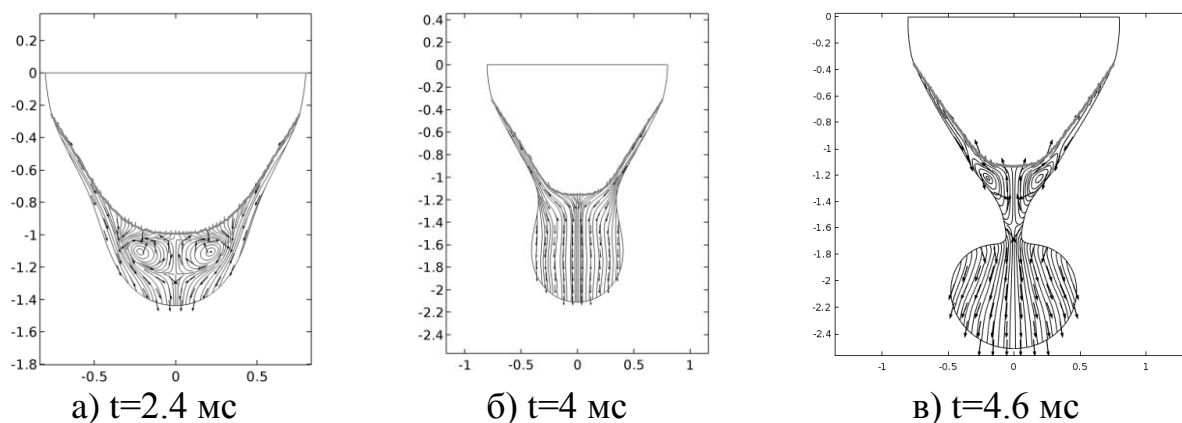


Рисунок 2 - Течение расплава в электроде в разные моменты времени

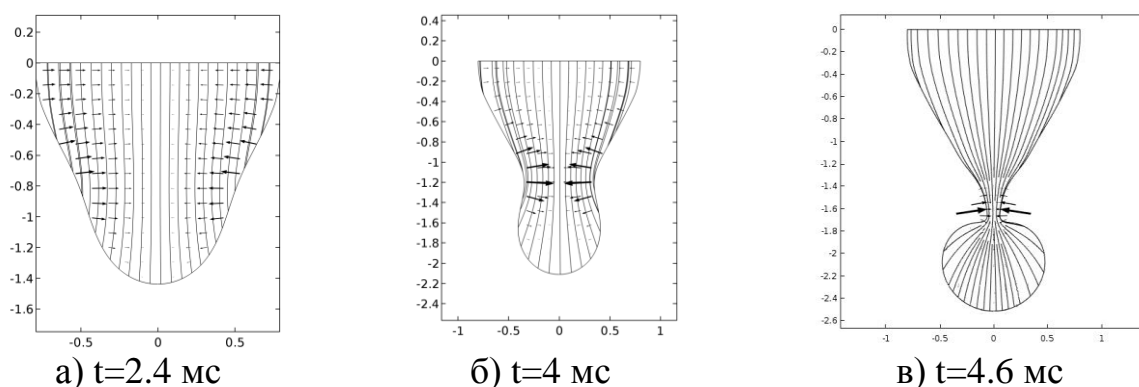


Рисунок 3 - Линии электрического тока и векторное поле силы Лоренца

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РНФ № 15-19-00065

### Библиографический список

1. Aziz S. D.. Impact, recoil and splashing of molten metal droplets. *International journal of heat and mass transfer*. 2000. V.4. No. 16. 2841–2857p.
2. Coussot P. Yield stress fluid flows: A review of experimental data. *Journal of NonNewtonian Fluid Mechanics*, 2014, 211. 31–49p.

3. Haidar J. J. Predictions of metal droplet formation in arc welding. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1996. V. 29. No.12: 2951 -2960p.

4. Murphy A.B. A Perspective on Arc Welding Research: The Importance of the Arc, Unresolved Questions and Future Directions / *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2015. V.5. No 1. 471-489p.

5. Sarychev V.D., Model of formation of droplets during electric arc surfacing of functional coatings // *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1698. No. 030013.

УДК 538.9:[519.876:621.78]

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ ОХЛАЖДЕНИИ ПРОКАТА**

**Шляпников С.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Сарычев В.Д.**

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

В работе получены аналитические выражения для изотермической диаграммы распада переохлажденного аустенита для низкоуглеродистой стали.

Ключевые слова: прерывистое охлаждение проката, структурно-фазовые превращения, изотермическая диаграмма, математическое моделирование.

В настоящее время основным направлением увеличения прочности металлопроката без широкого привлечения дорогостоящих легирующих материалов являются технологии термического упрочнения, связанные с принудительным охлаждением раскатов в линии прокатных станов [1].

К основным недостаткам сегодняшнего состояния технологии термического упрочнения относится её эмпирический характер, когда положительный результат во многом достигается методом проб и ошибок. Указанное положение можно преодолеть созданием математической модели кинетики процесса структурообразования, позволяющей прогнозировать размеры и зёрненный состав зон структурно-фазовых превращений в зависимости от технологических параметров режимов охлаждения листового проката. Это позволит с обоснованных позиций подходить к выбору состава сталей и режимов принудительно охлаждения при производстве проката различных классов прочности. Такой подход был использован при построении математических моделей процессов структурообразования при охлаждении листового проката [2]. Для рассматриваемого круга проблем должна быть реализована следующие этапы: 1) по известным технологическим параметрам (тип проката, схемы и параметры охлаждения) получить распределение темпера-

турных полей; 2) по данным температурных зависимостей получить зависимости структурно фазового состава по глубине – характер градиентных структур.

Первый этап реализован в [3]. Для второго этапа необходимым является наличие в числовом виде изотермических диаграмм распада переохлажденного аустенита. В графическом виде эти диаграммы представлены в [4]. Известно, что изотермическую диаграмму можно представить из пяти С-образных кривых: начала образования феррита -  $F_s$ ; начала и конца образования перлита  $P_s$  и  $P_f$ ; начала и конца образования бейнита -  $B_s$  и  $B_f$  и линии образования мартенсита. Для перевода этих данных в цифровой вид предложена аналитическая зависимость каждой кривой используется универсальная зависимость вида [5]:

$$Y = \sqrt{X} \cdot e^{-0,5(X-1)}$$

$$Y = \frac{(S - S_0)}{(S_n - S_0)}, X = \frac{(U - U_0)}{(U_n - U_0)}$$

где  $U = T/1000$ ,  $U_n = T_n/1000$ ,  $U_0 = T_0/1000$ ,  $S = \ln(t)$ ,  $S_0 = \ln(t_0)$ ,  $S_n = \ln(t_n)$ ,  $t_0$ ,  $t_n$  – времена (в сек),  $T_0$ ,  $T_n$  – температуры опорных точек на С-образной кривой. Для построения каждой С-образной кривой изотермической диаграммы необходимо и достаточно 2-х точек с опорными координатами  $(S_0, T_0)$  и  $(S_n, T_n)$ .

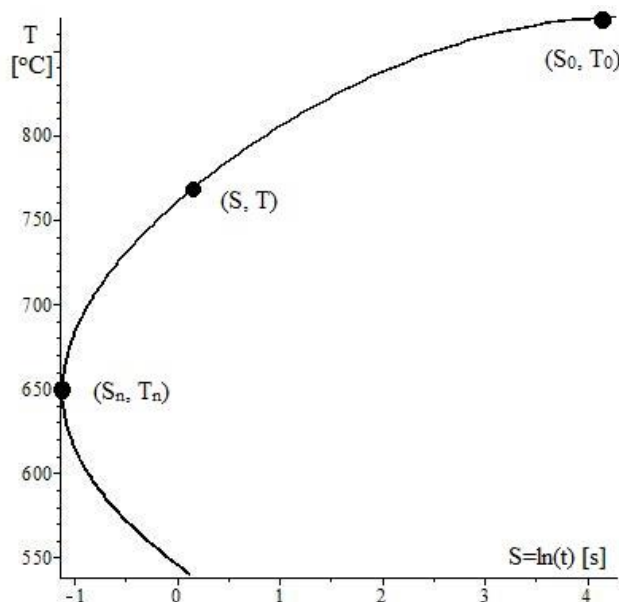


Рисунок 1 - Схема построения С-образной кривой по опорным точкам

Эти координаты определяются являются функциями химического состава и определяются из [4]. Для стали 18Г2С, с химическим составом С – 0,19 %, Si – 0,7 %, Mn – 0,53 эти данные представлены в таблице 1.



Таблица 1 – Данные для стали 18Г2С

	начало превращения				конец превращения			
	$T_0, (^\circ\text{C})$	$S_0$	$T_n, (^\circ\text{C})$	$S_n$	$T_0, (^\circ\text{C})$	$S_0$	$T_n, (^\circ\text{C})$	$S_n$
Феррит	870	10	586	-1.64	-	-	-	-
Перлит	738	10	611	0.30	737	10	614	4.49
Бейнит	601	10	443	-1.03	563	10	455	4.28

На рисунке 2 приведены рассчитанные по формулам (1) зависимости начала и конца фазовых превращений стали 18Г2С.

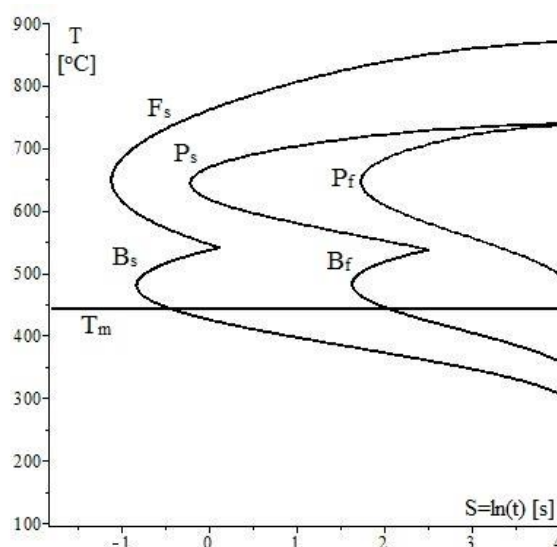


Рисунок 2 - зависимости начала и конца фазовых превращений стали 18Г2С

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16 – 48 – 420530.*

#### Библиографический список

1. Юрьев А.Б. Упрочнение строительной арматуры и прокатных валков. Новосибирск: Наука. – 2006. – 227с.
2. Ноговицын, А.В. Богачева, Н.Ф. Евсюков, Д.В. Лошкарев Прогнозирование процессов структурообразования при охлаждении металлопроката с применением математической модели/ А.В. // *Металлургическая и горно-рудная промышленность.* - 1999. - № 5. - С. 75-78.
3. Сарычев В.Д, Громов В.Е., Грановский А.Ю., Шляпников С.С., Ильющенко А.В. «Математическая модель расчета температурных полей при прерывистом охлаждении проката» *Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2016. Том 13, №3. 339-342с.
4. Попов А.А., Попова А.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. – *Справочник термиста.* 3-е изд., перераб. и доп. – М.: *Металлургия* – 1991. – 503с.
5. Liska S., Wozniak J. Model vyvoje struktury a mechanich vlastnosti oceli pri valcovani za tepla.– *Kovove materialy.* Bratislava, 1982.- t. 20.- No. 5.- S. 562-572.



## МОДЕЛЬ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ВАННЕ РАСПЛАВА ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

Поданев А.П., Грановский А.Ю.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Сарычев В.Д.**

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

Использовался проект в Comsol Multiphysics расчетов конвективных течений в сварочной ванне при дуговой наплавке порошковой проволокой, основанный на уравнениях Навье-Стокса. При расчете получены данные о существовании многовихревых структур в расплавленном металле, вращение в которых зависит от знака производной коэффициента поверхностного натяжения по температуре. Полученные данные о динамике течения в ванне расплава могут быть использованы для выявления механизмов легирования наплавленного слоя или сварного шва.

Ключевые слова: ванна расплава, сила Марангони, термокапиллярность, Comsol Multiphysics.

### *Введение.*

При воздействии энергетических потоков (плазменные потоки, электронные пучки, электромагнитное излучение, электрическая дуга и другие) на материалы, в последнем возникают условия, приводящие к возникновению расплавленной зоны. Расплавленный материал циркулирует под действием нескольких сил: гравитационная, электромагнитная и сила Марангони. При условиях наплавки наибольшее значение имеет сила Марангони – обусловленная зависимостью коэффициента поверхностного натяжения от температуры  $\sigma(T)$ . Эта сила обеспечивает движение в сварочной ванне из мест более нагретых в места с меньшей температурой при условии, когда производная  $\sigma_T = \sigma'(T) > 0$ . При условии  $\sigma_T < 0$  движение будет противоположным. Характер течения определяет форму и размеры расплавленного слоя, распределение легирующих элементов в слое, а это в совокупности влияет на структуру и свойства наплавленного слоя. Экспериментально определить характер течения в ванне расплава проблематично из-за непрозрачности и высоких температур. Только достижения в области компьютерного моделирования в гидродинамике позволили получить распределения скоростей и температур в ванне расплава [1]. Поэтому численное моделирование гидродинамического течения является актуальным. В настоящей работе приведены результаты расчетов в ванне расплава с помощью разработанного проекта в Comsol Multiphysics [2].

### *Постановка задачи.*

Будем рассматривать движение расплава при воздействии плазмы

электрической дуги на пластину из стали (рисунок 1). Движение вязкой теплопроводной жидкости моделируется уравнениями Навье-Стокса и конвективной теплопроводностью.

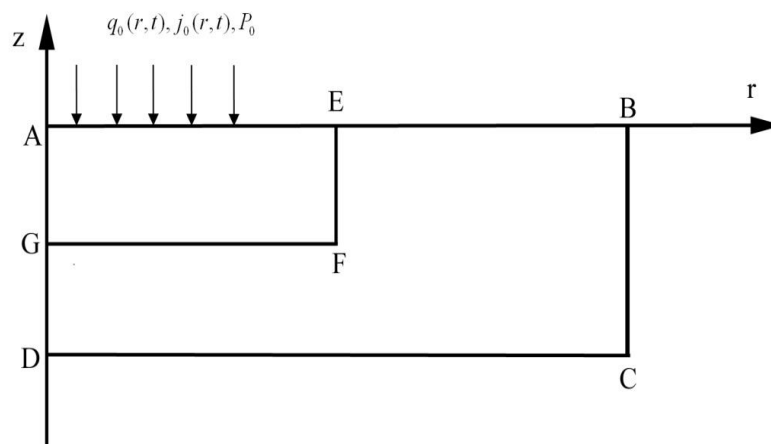


Рисунок 1 - Расчетная область

Граничные условия задаются следующим образом. На верхней поверхности АВ будем задавать плотность тока, давление и тепловой поток, которые являются результатом воздействия плазмы на поверхность металла. На боковой границе ВС аналогично условие конвективной теплоотдачи и равенство нулю скалярного электрического потенциала. Для магнитного поля на всех границах ставилось условие неразрывности:  $\vec{n} \times \vec{A} = 0$ . На границах EF и FG для скорости выполнялось условие скольжения. Модель фазового перехода из твердого состояния в жидкое основывалась на представлении об увеличении коэффициента динамической вязкости в твердой области. Течение в ванне расплава определяется конвекцией Марангони, которая характеризуется температурным градиентом поверхностного натяжения  $\sigma_T = \partial\sigma/\partial T$ . Эта величина входит в граничное условие для тангенциальной компоненты тензора напряжений на поверхности ванны расплава.

#### *Результаты расчетов.*

На рисунках 2 и 3 показана эволюция течения расплава для различных значений  $\sigma_T$ . При  $\sigma_T > 0$  (рисунок 2) возникает первый тороидальный вихрь, который генерирует восходящее течение вблизи оси симметрии. Второй вихрь с противоположным движением жидкости генерируется на определенном расстоянии от оси симметрии. Взаимодействие этих вихрей создает нисходящий поток от поверхности ванны в глубину, расположенный на определенном расстоянии от оси симметрии. При  $\sigma_T < 0$  (рисунок 3) образуется одиночный вихрь около центра симметрии, генерирующий нисходящий по оси симметрии.

Таким образом, гидродинамическая ситуация и характер легирования сильно зависит от  $\sigma_T$ , который зависит от химического состава легирующего вещества.

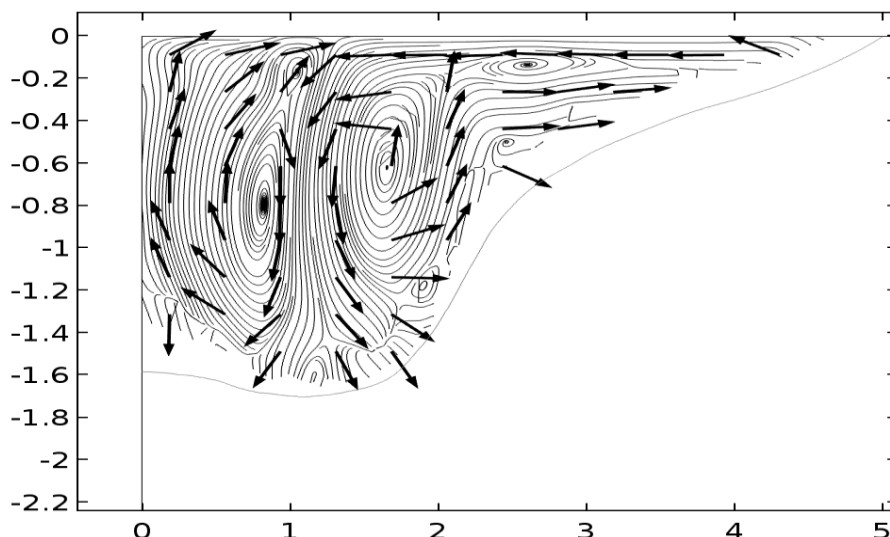


Рисунок 2 - Линии тока расплава и поле скоростей при  $\sigma_T > 0$

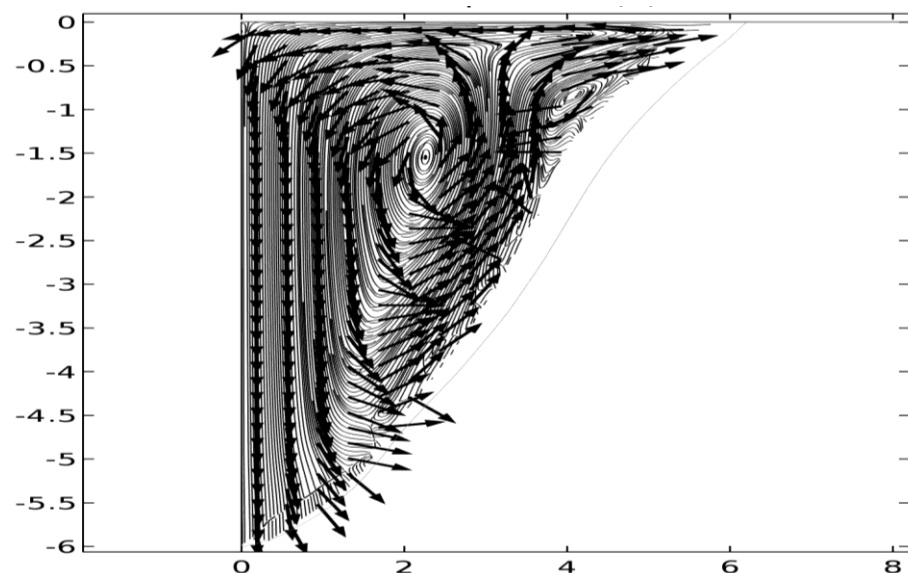


Рисунок 3 - Линии тока расплава и поле скоростей при  $\sigma_T < 0$

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФ № 15-19-00065

#### Библиографический список

1. Debroy T. Welding in the Digital Age/ Welding Journal; 2015, Vol. 94 Issue 4, p. 58 – 64.
2. Sarychev V.D. et al. Mathematical modelling of convective processes in a weld pool under electric arc surfacing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. 168 012039 p. 1–7.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОГО СИНТЕЗ-ГАЗА ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Козлова И.В., Сысолятин А.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ушаков А.Г.

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, e-mail:irina15151@mail.ru*

Биологическая очистка стоков является на сегодняшний день неотъемлемой частью технологического процесса многих промышленных предприятий. Из-за того что, активный ил, питаясь бактериями растет, избыток его нужно постоянно выводить и утилизировать. Избыточный активный ил является неизбежным, хотя и нежелательным отходом систем биологической очистки промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Суть работы - использование избыточного активного ила промышленных предприятий как исходного сырья для получения высококалорийного газа.

Ключевые слова: газогенератор, синтез-газ, основные параметры, газификация.

Генераторные газы широко применяются в народном хозяйстве. Они используются в плавильных и нагревательных печах металлургических, стекольных и других заводов, на которых, как правило, имеются газогенераторные станции. Кроме того, значительного объема достигает производство технологического газа для химического синтеза аммиака, метанола и других продуктов [1].

*Цель работы:* определение основных параметров синтез-газ и газификатора, для достижения цели были поставлены следующие задачи: разработать схему газогенератора, рассчитать основные параметры определить состав синтез-газ,

*Объектом исследования* является избыточный активный ил

*Экспериментальные исследования состояли из 3 этапов.*

- разработать схему газогенератора

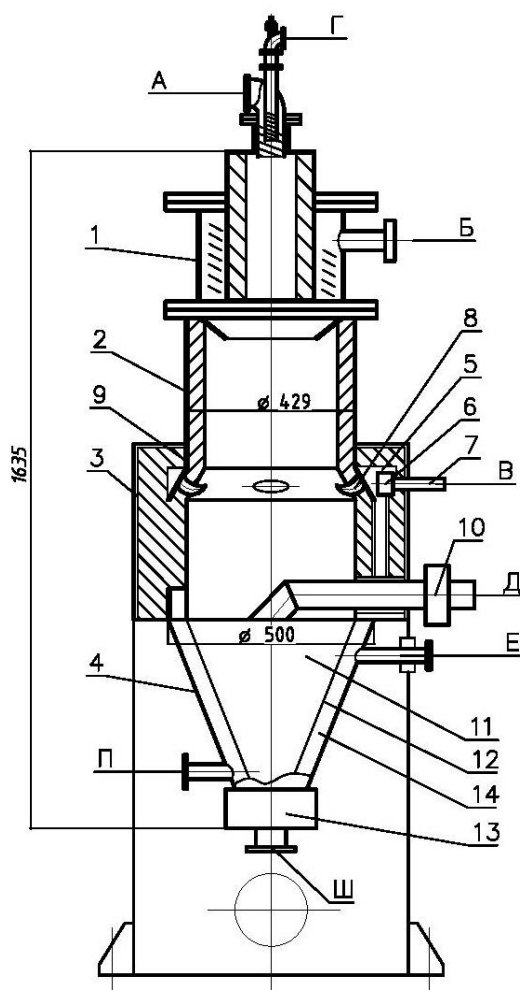
-определение основных параметров

- анализ полученного синтез-газа

Газификатор углеродсодержащего сырья струйного типа представлен на рисунке 1.

Процесс газификации в газификаторе проводится последовательно в камерах окисления 1, конверсии 2, кристаллизации 3 и шлакоудаления 4.

При неизменных качествах топлива производительность газификатора и качество получаемого газа зависят от диаметра  $D_k$  и высоты  $H_3$  (или высоты активной зоны) [1].



1-камера окисления; 2-камера конерсии; 3- камера кристаллизации; 4 – камера шлакоудаления (сепарации); 5-устройство для введения газифицирующего агента; 6-круговой коллектор; 7- ввод в круговой коллектор; 8-тангенциальный выход; 9-расширяющая камера; 10-устройство вывода целевого продукта (синтез-газа); 11-устройство накопления шлаков; 12-стенки под углом естественного откоса; 13-устройство вывода шлаков; 14-рубашка водяного пара [2]

Рисунок 1 - Газификатор углеродсодержащего сырья струйного типа

Проведя ряд лабораторных исследований были получены следующие данные (таблица 1).

Таблица № 1- Состав газа

CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>
4,96	27,6	2,6	0,25	14,25	0,17	50

Теплотворность топлива:

$$H_M^P = 81 \cdot C^P + 246 \cdot H^P - 26(O^P - S_A^P) - 6 \cdot W^P =$$

$$81 \cdot 81,9 + 246 \cdot 1,73 - 26(0,95 - 0,86) - 6 \cdot 6 = 1505 \text{ ккал/кг}$$

Теплотворность газа:

$$H_U = 30,35 \cdot CO + 25,7 \cdot H_2 - 85,7 \cdot CH_4 = \\ 30,35 \cdot 4,96 + 25,7 \cdot 14,25 - 85,7 \cdot 2,6 = 293,96 \text{ ккал/м}^3$$

Удельный вес газа

$$\gamma_r = \frac{1}{100} \cdot (1,25CO + 0,09 \cdot H_2 - 0,72 \cdot CH_4 + 1,98 \cdot CO_2 + 1,25 \cdot N_2) = \\ \frac{1}{100} \cdot (1,25 \cdot 4,96 + 0,09 \cdot 14,25 - 0,72 \cdot 2,6 + 1,98 \cdot 27,6 + 1,25 \cdot 50) = 1,26 \text{ кг/м}^3$$

Выход газа из 1 кг топлива определим по формуле:

$$V_g = \frac{1,867(C^P - C_n)}{CO + CO_2 + CH_4}$$

Потери углерода в очаговых остатках  $C_n$  принимаем равными 3 %. Тогда:

$$V_g = \frac{1,867 \cdot 78,9}{35,16} = 4,2 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Расход воздуха на газификацию:

$$L = 0,0127 \cdot V_g \cdot N_2 = 0,0127 \cdot 4,2 \cdot 50 = 2,67$$

*Результаты и обсуждения.*

Экспериментально доказана возможность использования в качестве связующего вещества избыточный активный ил. Определена оптимальная влажность исходного сырья (87 %) для получения связующего вещества.

Газификация сброженного остатка позволяет полностью перевести органические вещества в газообразную фазу путем термодеструкции и получить газообразное топливо.

Сырье для получения биотоплива находится во всех регионах нашей страны, и почти в каждом из них может быть налажено производство энергии и топлива из биомассы. Именно использование ее в качестве исходного сырья является эффективным способом развития альтернативных источников энергии, взамен традиционно существующим.

#### Библиографический список

1. Собгайда Н.А. Сорбционные материалы для очистки сточных и природных вод от нефтепродуктов [Текст] / Н. А. Собгайда // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та. Вып. 52: сб. науч. трудов. - Харьков: ХНАДУ, 2011. - С.120-125.

2. Валиулин М.А., Р.СПетров // Научный потенциал аграрному производству посвящается 450 - летию вхождению Удмуртии в состав России. Всероссийская научно-практическая конференция, 26-29 февраля 2008г./ ФГОУ ВПО ИжГСХА. Т.1V.- Ижевск: Изд-во ФГОУ ВПО ИжГСХА, 2008. - с.208-212.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ТЕРМОУПРУГИХ ВОЛН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ  
ГАЗОКАПЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА ГОРЯЧИЙ ПРОКАТ**

**Ильященко А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Сарычев В.Д.**

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

В работе получены формулы для расчета термоупругих волн в одномерной несвязанной динамической термоупругости для конечного слоя. Предлагается использовать полученные формулы для объяснения повышения ударной вязкости термоупрочненного проката.

Ключевые слова: несвязанная динамическая термоупругость, задача Даниловской, откол

Технологии термического упрочнения, связанные с принудительным охлаждением раскатов в линии прокатных станов, используются в промышленных условиях [1]. В работе [2] установлено, что при использовании двух секций в установке принудительного охлаждения коррозионная стойкость и ударная вязкость повышается в два раза. Нами предложен механизм этого явления, заключающийся в том, трещины, возникшие после прохождения первой секции, закрываются при прохождении второй секции под воздействием упругих волн, генерируемых ударами микрокапель [3]. При взаимодействии капель с прокатом генерируются термоупругие волны, время взаимодействия которых с прокатом можно оценить как  $t_0 = 2d/c_d$  ( $d$  – диаметр капли,  $c_d$  – скорость звука в капле). При размерах  $d \sim 10 - 0,1$  мкм получаем, что  $t_0 \sim 10^{-8} - 10^{-10}$  с. Величина скачка напряжений  $K$  при распространении термоупругих волн от источника мгновенного нагрева оценивается из решения задачи о распространении термоупругих волн (задача Даниловской В.И.). Эта величина равна  $K = \gamma\theta_0$ , где  $\gamma = \alpha G$ ,  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения,  $G$  – модуль сдвига,  $\theta_0$  – скачок температуры на поверхности [4]. Считая, что условия при охлаждении идентичны (отличие только в знаке  $\theta_0$ ), оценим величину скачка напряжений для стали ( $\alpha = 10^{-5}$  1/°С,  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа,  $\gamma \sim 1$  МПа/°С)  $K \sim 100 - 1000$  МПа при изменении скачка температуры  $\theta_0 \sim 100 - 1000$ °С. Таким образом, при охлаждении может генерироваться волна растяжения с амплитудой до тысячи МПа, которая при отражении от свободной поверхности – берега трещины, превращается в волну сжатия. При взаимодействии этих волн возникает ситуация антиоткола, что приводит к схлопыванию трещины. Эта гипотеза, прежде чем выходить на экспериментальную проверку, требует детальных расчетов. На первом этапе рассмотрим задачу о динамических температурных напряжениях для свободного от напряжений плоского образца толщиной  $l_0$ , который подвергается охлаждению на темпе-

ратуру  $\theta_0$  за время  $t_0$ . Задачи динамической несвязанной термоупругости для конечного образца рассчитывались численно в [5, 6], аналитические формулы для конечного образца при нагреве и охлаждении поверхности был проведен в [7]. Цель настоящей работы получить расчетные формулы для термоупругих волн для конечного образца, когда на поверхности происходит только охлаждение.

Для постановки математической задачи используем уравнения движения и теплопроводности, а также соотношения Дюгамеля – Неймана, так называемую динамическую задачу несвязанной термоупругости [4].

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x}, \quad \frac{1}{\chi} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad \sigma_x = \rho c^2 \frac{\partial u}{\partial x} - \gamma T. \quad (1)$$

Здесь  $\rho, \chi$  – плотность и температуропроводность материала,  $c = \sqrt{(2\mu + \lambda)/\rho}$  – скорость распространения продольных волн,  $\gamma = (3\lambda + 2\mu)\alpha_t$  – коэффициент термоупругой связи,  $\lambda, \mu$  – коэффициенты Ламе,  $\alpha_t$  – коэффициент линейного расширения,  $u = u(t, x)$  – компонента вектора перемещений,  $T = T(t, x)$  – распределение температуры.

Температура на поверхности спадает по линейному закону до нуля за время  $t_0$ , а затем остается постоянной. Для записи этого используем функцию Хэвисайда  $H(t)$ .

$$T(t, 0) = \theta_0(1 - t/t_0)(H(t) - H(t - t_0)) \quad (2)$$

Граничные и начальные условия:

$$\sigma_x(t, 0) = \sigma_x(t, l_0) = 0, \quad \sigma_x(0, x) = 0, \quad T(0, x) = T_2, \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial t}(0, x) = 0 \quad (3)$$

Уравнение динамики рассматриваем на отрезке от нуля до  $l_0$ , а уравнение теплопроводности – на полубесконечной прямой с нулевой температурой на бесконечности. В безразмерных переменных математическая задача (1 – 3) приводится к виду

$$\begin{aligned} \ddot{\sigma} + \dot{\theta} &= \sigma'', \quad 0 < \xi < 1, \tau > 0; \quad \alpha \dot{\theta} = \theta'', \quad \xi > 0, \tau > 0; \\ \theta(\tau, 0) &= \Psi_0(\tau), \quad \theta(\tau, \infty) = 0; \\ \sigma(\tau, 0) &= \sigma(\tau, 1) = 0; \quad \sigma(0, \xi) = \sigma(0, \xi) = \dot{\sigma}(0, \xi) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Безразмерные переменные задаются по формулам:

$$\xi = \frac{x}{l_0}, \quad \tau = \frac{tc}{l_0}, \quad \sigma = \frac{\sigma_x}{\gamma \theta_0}, \quad \theta = \frac{T}{\theta_0}, \quad \alpha = \frac{l_0 c}{\chi}, \quad \tau_0 = \frac{t_0 c}{l_0}. \quad (5)$$

Для решения задачи (4) используем преобразование Лапласа. Тогда для изображений получаем систему дифференциальных уравнений с соответствующими граничными условиями. После решения этой краевой задачи и выполнения обратного преобразования Лапласа окончательно можно запи-



сать для напряжений

$$\sigma_L(\tau, \xi) = \sigma_{L\infty}(\tau, \xi) + \sigma_{L\rightarrow}(\tau, \xi) + \sigma_{L\leftarrow}(\tau, \xi). \quad (6)$$

Первое слагаемое в (6) представляет собой напряжения в волне, генерируемой температурным нагревом, второе слагаемое – описывает прямые волны, а третье – волны, идущие от тыльной границе к лицевой. Окончательные расчетные формулы для напряжений термоупругих волн имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{L\infty}(\tau, \xi) &= \frac{F(\tau, \xi) - H(\tau - \tau_1)F(\tau - \tau_1, \xi)}{\alpha\tau_1}; \\ \sigma_{n\rightarrow}(\tau, \xi) &= \frac{\Phi(\tau - \xi - (2n+1)) - \Phi(\tau - \xi - (2n+1 + \tau_1))}{\alpha\tau_1}; \\ \sigma_{n\leftarrow}(\tau, \xi) &= \frac{\Phi(\tau + \xi - (2n+1)) - \Phi(\tau + \xi - (2n+1 + \tau_1))}{\alpha\tau_1}. \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} F(\tau, \xi) &= H(\tau - \xi)(\exp(\alpha(\tau - \xi)) - 1) + \operatorname{Erfc}\left(\frac{\xi\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\tau}}\right) - \\ &- \frac{1}{2}\left(\exp\alpha(\tau + \xi) \cdot \operatorname{Erfc}\left(\frac{\xi\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\tau}} + \sqrt{\alpha\tau}\right) + \exp\alpha(\tau - \xi) \cdot \operatorname{Erfc}\left(\frac{\xi\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\tau}} - \sqrt{\alpha\tau}\right)\right); \\ \Phi(z) &= H(z - 1)(\exp(\alpha(z - 1)) - 1) + \operatorname{Erfc}\left(\frac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{z}}\right) - \\ &- \frac{1}{2}\left(\exp\alpha(z + 1) \cdot \operatorname{Erfc}\left(\frac{\sqrt{\alpha}(2z + 1)}{2\sqrt{z}}\right) + \exp\alpha(z - 1) \cdot \operatorname{Erfc}\left(\frac{\sqrt{\alpha}(1 - 2z)}{2\sqrt{z}}\right)\right); \\ \operatorname{Erfc}(z) &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} \exp(-y^2) dy. \end{aligned} \quad (8)$$

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16 – 48 – 420530.*

#### Библиографический список

1. Юрьев А.Б. Упрочнение строительной арматуры и прокатных валков. Новосибирск: Наука. – 2006. – 227с.
2. Морозов С.И. и др. Повышение стойкости против коррозионного растрескивания под напряжением термомеханически упрочненной арматурной стали//Сталь. 1994. № 6. 66 -69с.
3. Сарычев В.Д. и др. Формирование нанослоев за счет развития гидродинамических неустойчивостей при внешних энергетических воздействиях. Изв. ВУЗ. Черная металлургия. Том 59, № 10, 679 – 687с.
4. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. М.: Мир, 1970. 256с.
5. Марков А.Б. и др. Термический и деформационно-волновой меха-

низмы упрочнения углеродистой стали при воздействии высокоэнергетического сильнофокусированного электронного пучка. Физика и химия обработки материалов. 1997. №6. С. 36-41.

6. Sumi, N. Dynamic thermal stresses in a nonhomogeneous plate caused by rapid heating of its plane boundary, JSME Inter. J., Ser. A, 1993. Vol. 36, No.3. 284 – 289p.

7. Сарычев В.Д. и др. Математическая модель генерации термоупругих волн при воздействии концентрированных потоков энергии на материалы// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2011. Т. 8. № 4. 71 -77с.

УДК 544.032

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНОЙ СИСТЕМЫ $\text{Vi} - \text{MoO}_3$ ПРИ $T=473\text{K}$**

**Михайлов В.А.**

**Научный руководитель: канд. хим. наук Суrowая В.Э.**

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, e-mail: sur.vik@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований закономерностей процессов, протекающих в условиях атмосферы в индивидуальных и двухслойных наноразмерных слоях оксида молибдена (VI) и висмута в зависимости от толщины ( $d = 3 - 92$  нм) и времени термообработки ( $\tau = 0,05 - 240$  мин) при  $T = 473\text{K}$ .

Ключевые слова: висмут, оксид молибдена (VI), наноразмерные пленки,  $\text{Vi-MoO}_3$ , наноразмерные системы, термические превращения.

Выяснения степени общности процессов, протекающих на границе между металлом, оксидом и окружающей атмосферой, а также необходимость разработки принципиально новых материалов, стабильных в условиях коррозионного воздействия окружающей среды, ставят правомочной задачу комплексного исследования свойств индивидуальных и двухслойных наноразмерных слоев  $\text{MoO}_3$  и  $\text{Vi}$  [1].

Гетеросистемы  $\text{Vi} - \text{MoO}_3$  готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем последовательного нанесения слоев  $\text{MoO}_3$  (на предварительно нанесенный, на подложки из стекла) слой  $\text{Vi}$ , используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М» [2-5]. Подложками служили стекла от фотопластинок (ГОСТ 9284 – 59), которые подвергали предварительной обработке в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, промывали в дистиллированной воде и сушили [2–5]. Толщину пленок  $\text{Vi}$  и  $\text{MoO}_3$  определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»), микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и

гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. Образцы подвергали термической обработке в течение 0,05 – 240 минут в сушильном шкафу «Memmert BE 300». Регистрацию эффектов до и после термической обработки осуществляли гравиметрическим и спектрофотометрическим (в диапазоне длин волн 190-1100 нм, используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») методами.

В результате исследований оптических свойств наноразмерных пленок  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Bi}$  и двухслойных систем  $\text{Bi-MoO}_3$  было установлено, что спектры поглощения образцов до термообработки зависят от толщины каждого из слоев. На спектрах поглощения систем  $\text{Bi-MoO}_3$  проявляются полосы поглощения индивидуальных пленок  $\text{MoO}_3$  и  $\text{Bi}$  (рисунок 1).

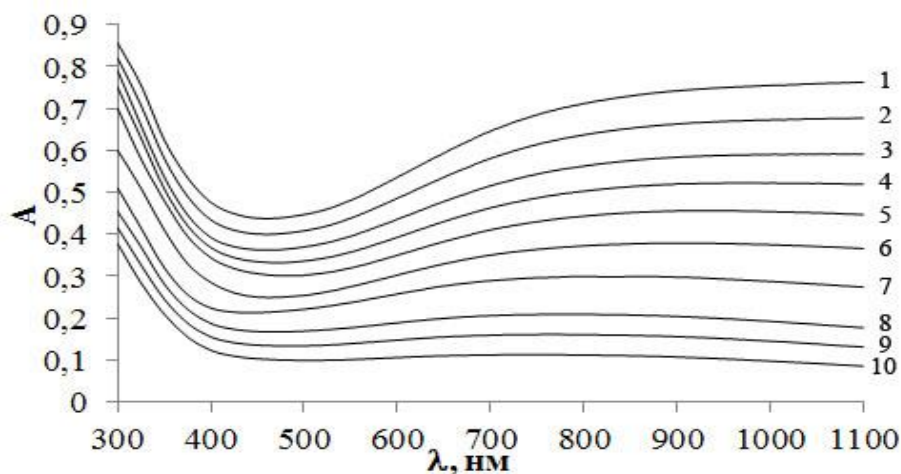


Рисунок 1 - Спектры поглощения системы  $\text{Bi - MoO}_3$  толщиной:

- 1)  $d(\text{Bi}) = 63$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 28$  нм, 2)  $d(\text{Bi}) = 62$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 26$  нм,
- 3)  $d(\text{Bi}) = 60$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 24$  нм, 4)  $d(\text{Bi}) = 44$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 29$  нм,
- 5)  $d(\text{Bi}) = 27$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 33$  нм, 6)  $d(\text{Bi}) = 28$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 23$  нм,
- 7)  $d(\text{Bi}) = 17$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 20$  нм, 8)  $d(\text{Bi}) = 14$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 12$  нм,
- 9)  $d(\text{Bi}) = 10$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 9$  нм, 10)  $d(\text{Bi}) = 6$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 5$  нм.

Для выяснения возможного взаимодействия между пленками  $\text{Bi}$  и  $\text{MoO}_3$  в процессе приготовления систем  $\text{Bi - MoO}_3$  были сопоставлены экспериментальные спектры поглощения систем со спектрами поглощения, полученными суммированием спектров поглощения индивидуальных пленок  $\text{Bi}$  и  $\text{MoO}_3$  аналогичной толщины. Установлено, что расчетные и экспериментальные кривые не совпадают.

В результате термической обработки систем  $\text{Bi - MoO}_3$  разной толщины при температуре 473 К в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также предельные значения оптической плотности в максимумах полос поглощения после термической обработки образцов зависят от первоначальной толщины пленок  $\text{Bi}$  и  $\text{MoO}_3$  и времени термообработки.

Из рисунка 2 видно, что слева от изобестической точки ( $\lambda = 350$  нм)

наблюдается увеличение оптической плотности, в длинноволновой области спектра – справа от изобестической точки наблюдается уменьшение оптической плотности образцов.

Для выяснения закономерностей протекания процесса термического превращения в системах были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения  $\alpha = f(\tau)$  (где  $\tau$  – время термической обработки) при различных длинах волн термообработки.

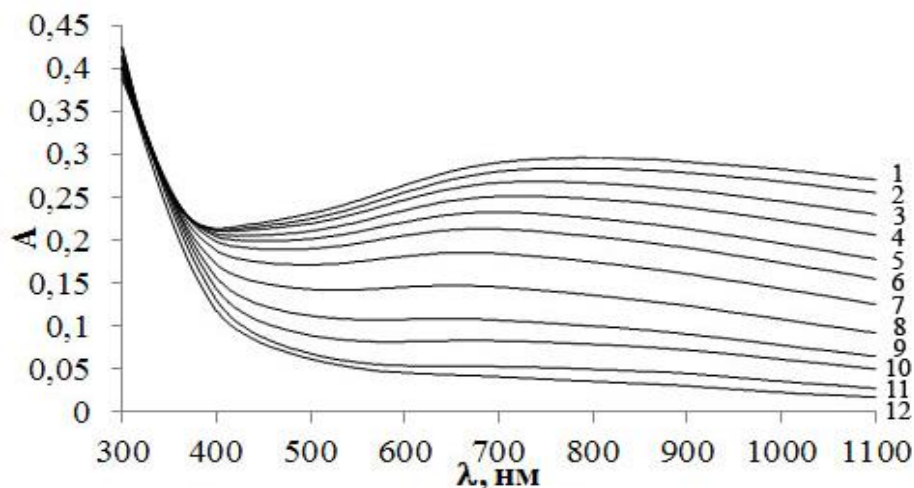


Рисунок 2 - Спектры поглощения системы Bi - MoO<sub>3</sub> (d(Bi) = 21 нм, d(MoO<sub>3</sub>) = 6 нм) до (1) и после термической обработки при T = 473 К: 2 – 20с, 3 – 1,5мин, 4 - 3мин, 5 –5мин, 6 – 7мин, 7 – 10мин, 8 – 15мин, 9 – 20мин, 10 – 30мин, 11 –60мин, 12 – 240мин.

Было установлено, что степень превращения систем Bi - MoO<sub>3</sub> зависит от первоначальной толщины пленок Bi, MoO<sub>3</sub> и времени термической обработки. По мере увеличения времени термообработки степень превращения систем Bi - MoO<sub>3</sub> возрастает. По мере уменьшения толщины пленки Bi (при постоянной толщине слоя MoO<sub>3</sub>) в системе Bi - MoO<sub>3</sub> при постоянном времени термообработки степень превращения во всем исследованном интервале температур - возрастает.

#### Библиографический список

1. Елисеев А.А., Лукашин, А.В. Функциональные наноматериалы/ Ю.Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.
2. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках никеля // Журн. физ. химии. 2014. Т. 88. № 12. С. 1970 – 1976.
3. Суrowой Э.П., Бин С.В., Суrowая В.Э., Бугерко Л.Н. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках свинца // Журн. физ. химии. 2015. Т. 89. № 1. С. 85 – 91.
4. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Заиконникова Т.М. Кинетические закономерности формирования наноразмерной системы марганец – оксид марганца // Журн. физ. химии. 2016. Т. 90. № 3. С. 411 – 417.

5. Суровой Э.П., Бин С.В., Суровая В.Э., Бугерко Л.Н. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках свинца // Журн. физ. химии. 2015. Т. 89. № 1. С. 85 – 91.

УДК 621.793.7

## **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Мо-С-Cu**

**Бахриева Л.Р., Романов Д.А.**

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

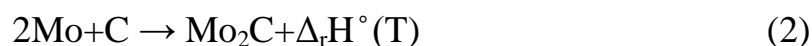
*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: romanov\_da@physics.sibsiu.ru*

На основании данных по рентгенофазовому анализу установлен качественный и примерный количественный состав электровзрывного покрытия системы Мо-С-Cu. Возможность образования выявленных карбидов молибдена подтверждено расчетами термодинамических характеристик, предполагаемых протекающих реакций, между веществами, входящими в состав наносимого покрытия при высоких температурах.

Ключевые слова: электровзрывное напыление, карбид молибдена, медь, молибден, энергия Гиббса.

Из результатов рентгеноструктурного анализа [1] покрытий системы Мо-С-Cu, сформированных в трех различных режимах напыления, с поглощаемыми плотностями мощности  $q=5,5; 6,5; 7,6$  ГВт/м<sup>2</sup> соответственно, видно, что фазовый состав покрытий, сформированный во всех режимах напыления, образован соединениями МоС, Мо<sub>2</sub>С и структурно-свободными медью и молибденом, образующими псевдосплав. Заметно, что с увеличением поглощаемой плотности мощности содержание свободного молибдена в покрытиях уменьшается, а его синтезированных карбидов увеличивается. Это можно связать с ростом температуры плазменной струи, приводящей к увеличению количества активированных комплексов, необходимых для протекания реакции соединения молибдена с углеродом. Исследуя рентгенограмму покрытия, нанесенного при  $q=7,6$  ГВт/м<sup>2</sup>, выявлено, что соотношение содержания МоС и Мо<sub>2</sub>С составляет примерно 1:1.

Объясним возможность формирования такой структуры, основываясь на термодинамических характеристиках реакций взаимодействия веществ системы Мо-С-Cu. Уравнение прямого синтеза карбидов МоС (1) и Мо<sub>2</sub>С (2) из простых веществ:



Определим возможность протекания приведенных реакций, расчетом их энергий Гиббса при различных температурах. По данным авторов [2] значения энергий Гиббса для MoC:  $\Delta_r G^\circ_T = 40920 - 58,66T$  (298-2880 K). Для Mo<sub>2</sub>C:  $\Delta_r G^\circ_T = 60860 - 108,64T$  (298-2678 K)

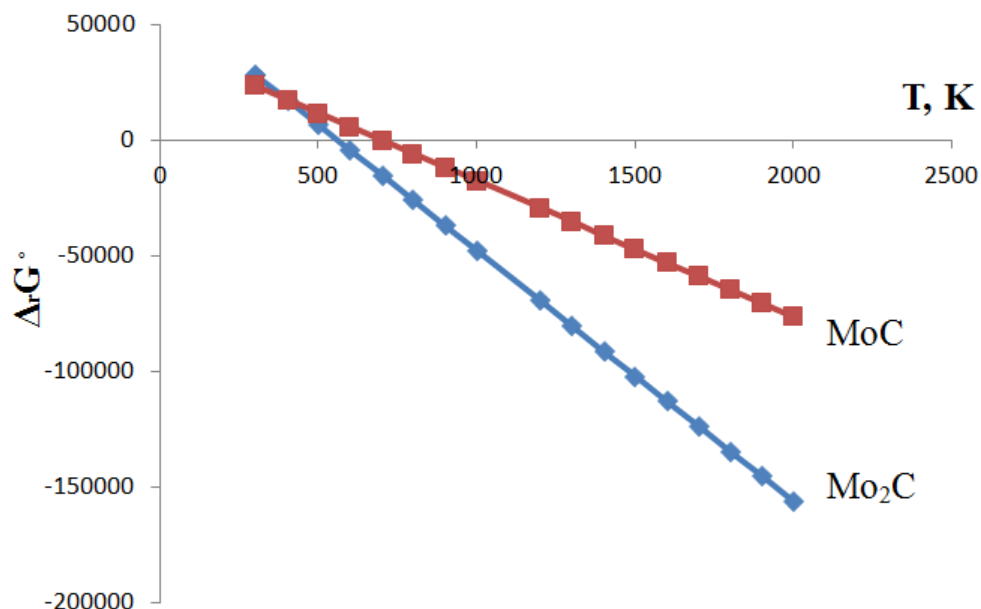


Рисунок 1 – График зависимости энергии Гиббса реакций (1) и (2) от температуры

Из графика (рисунок 1) видно, что при температурах выше 700 K наиболее вероятным является протекание реакции (2). Она имеет меньшую энергию активации, а значит большую скорость протекания по сравнению с (1). Следовательно, в образовании структуры покрытия лидирующим по количественному объему карбидом должен быть Mo<sub>2</sub>C.

Исходя из соотношения, связывающего свободную энергию Гиббса реакции и её константу равновесия (3), можно определить, что мольное содержание Mo<sub>2</sub>C больше мольного содержания MoC примерно в 2,5 раза.

$$\Delta G = -RT \cdot \ln K_p \quad (3)$$

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60032 мол\_а\_дк, Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-1118.2017.2.*

#### Библиографический список

1. Электровзрывное напыление износостойких и электроэрозионностойких покрытий / Д. А. Романов, Е. А. Будовских, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов. – Новокузнецк: Изд-во ООО «Полиграфист», 2014. – 203 с.
2. Эллиот Д.Ф., Глейзер М., Рамакришна В. Термохимия сталеплавильных процессов/ Пер.с англ. М.: Металлургия, 1969. –252 с

## **ВАРИАНТЫ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИИ И НАИМЕНЬШИХ НЕВЯЗОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В НЕКАНОНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ**

**Беляев В.А.**

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

*Новосибирский государственный университет,  
г. Новосибирск, e-mail: belyaevasily@mail.ru*

Предложены и реализованы новые варианты метода коллокации и наименьших невязок повышенной точности для численного решения краевых задач для уравнений с частными производными в неканонических областях. Их реализация и численные эксперименты выполнены на примерах решения уравнений Пуассона и бигармонического. Решение второго уравнения использовано для моделирования напряженно-деформированного состояния изотропной пластины, находящейся под действием поперечной нагрузки.

Ключевые слова: метод коллокации и наименьших невязок, краевая задача, неканоническая область, повышенный порядок аппроксимации, уравнение Пуассона, бигармоническое уравнение.

Многие численные методы, дающие высокую точность решения краевых задач для уравнений с частными производными (PDE) в прямоугольных областях, не имеют своих аналогов в случае областей иной формы. Однако, многие явления в реальном мире, которые моделируются с помощью численных методов, происходят в областях, отличных от прямоугольных. Отсюда настоятельная потребность иметь возможность моделировать эти явления в областях с формой, соответствующей действительности, чтобы получить на практике достоверные результаты.

В данной работе краевые задачи для PDE решаются с повышенной точностью проекционным, сеточным методом КНН (коллокации и наименьших невязок — вариантом метода коллокации и наименьших квадратов) в неканонических областях: в произвольном выпуклом четырехугольнике; в произвольном треугольнике; в области с криволинейной границей; в области, граница которой задана дискретным набором точек. В методе КНН путем проектирования задачи для PDE в конечномерное линейное функциональное пространство ставится в соответствие приближенная задача, решение которой сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Решение последней определяет приближенное решение дифференциальной задачи. Поскольку в методе КНН приближенное решение кусочно-аналитическое (в данной работе кусочно-полиномиальное), в нем относительно просто реализуются варианты метода в областях различной формы и на сетках с различной формой ячеек, в том числе варианты повышенной точности и на адаптивных сетках [1].

В настоящей работе реализовано три различных варианта построения расчетной сетки в неканонических областях. Сначала исходная область (в случае выпуклого четырехугольника) покрывается квазирегулярной сеткой с четырехугольными ячейками. Во втором варианте метода уже для любой неканонической области используется идея применения законтурных частей ячеек регулярной сетки, отсеченных границей. При этом предполагается, что решение задачи не имеет особенностей на границе и в некоторой ее малой окрестности, и дифференциальное уравнение задачи справедливо не только в расчетной области, но и в малой окрестности ее границы. Затем в работе используется идея присоединения "малых" нерегулярных ячеек к соседним с целью уменьшения числа обусловленности глобальной системы линейных алгебраических уравнений. Их возможности были проверены на решении краевых задач для уравнения Пуассона и для бигармонического уравнения, которое описывает напряженно-деформированное состояние (НДС) под различными нагрузками изотропной пластины в форме неканонической области. Задача о НДС прямоугольной пластины методом КНН с повышенной точностью решена в [2]. В данной работе на решении тестовой задачи для пластины в форме неканонической области показана высокая точность предложенных вариантов метода КНН.

Здесь коротко отметим, что в методе КНН для нахождения решения приближенной задачи в каждой ячейке выписывается переопределенная система уравнений, после подстановки в которую искомого приближенного решения из нее получается переопределенная СЛАУ для определения коэффициентов представления в линейном функциональном пространстве решения приближенной задачи. Решение переопределенной СЛАУ ищется из требования минимизации функционала невязки, составленного из невязок всех ее уравнений. В качестве функционала обычно берется сумма квадратов невязок. Его минимум может отыскиваться разными способами. В случае переопределенной СЛАУ он достигается на ее псевдорешении, построенном методом наименьших квадратов или ортогональным методом [1, 2, 3].

#### Библиографический список

1. Шапеев В.П., Беляев В.А. Варианты метода коллокации и наименьших невязок повышенной точности в области с криволинейной границей // Вычислительные технологии. 2016. 21, № 5. 95–110.
2. Голушко С.К., Идимешев С.В., Шапеев В.П. Метод коллокаций и наименьших невязок в приложении к задачам механики изотропных пластин // Вычислительные технологии. 2013. 18, № 6. 31–43.
3. Shapeev V. Collocation and Least Residuals Method and Its Applications // EPJ Web of Conferences. 108, № 01009. DOI: 10.1051/epjconf/201610801009



## II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ НА РАЗРЕЗЕ «ЮЖНЫЙ»

Сергеев А.А.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассматривается технологический процесс добычи комплексом глубокой разработки пластов в границах участка недр «Отвальный Южный №2 Глубокий».

Ключевые слова: КГРП, разработка пластов, выбуривание пластов..

Комплекс глубокой разработки пластов (КГРП) - это гибридная автономная техническая система, объединяющая преимущества подземного и открытого способов. КГРП обеспечивает добычу угля с помощью базовой машины, размещаемой в выработанном пространстве разреза (рисунок 4) и извлекающей уголь из законтурной части (открытых работ) пласта рабочим органом, соединенным с базовой машиной транспортно-толкающим ставом изменяющейся длины. При этом используется разновидность камерно-столбовой системы разработки, но без присутствия персонала в забое (рисунок 1).



Рисунок 1 - Базовая машина комплекса глубокой разработки пластов

В настоящем проекте рассмотрена возможность использования комплекса глубокой разработки пластов - КГРП САТ НW300. Техническая характеристика комплекса глубокой разработки пластов приведена в таблице 1.

Вскрытие пластов участка «Отвальный Южный № 2 Глубокий» осуществляется по основной технологии. Отработка пластов угля планируется с борта участка в его конечном положении. После доработки пласта до конечной границы открытой разработки, вводится в работу КГРП. Комплекс глу-

бокой разработки пластов устанавливается на подготовленной площадке почвы принятого к отработке пласта и начинается «выбуривание» пласта. Выемка пласта осуществляется по падению до границ лицензии, не превышая технические параметры комплекса. В первый год отрабатываются пласты 70 и 69, доработанные до границ открытой разработки.

Таблица 1 - Техническая характеристика комплекса

Показатели	Значение
Общая установленная мощность, кВт	1500
Длина машины, м	20,28
Ширина машины в режиме добычи, м	10,36
Максимальный угол падения отрабатываемого пласта, град	25
Диаметр барабана режущего органа, мм	965
Ширина барабана режущего органа, мм	3505
Высота забоя, мм:	
-минимальная	1200
-максимальная	3060
Длина камеры, м	300
Сила давления режущей головки, кг/см <sup>2</sup> :	
- в среднем	400
- максимальное, для отдельных вкраплений	700
Уровень автоматического срабатывания датчиков метана, %	2
Длина секции става, м	6
Масса секции става, т	5,3
Масса комплекса с рабочим органом, т	275
Максимальный угол рабочей площадки к борту, град	8
Максимальный угол изгиба става в вертикальной плоскости, град	2
Давление на почву передних опор, кН/ м <sup>2</sup>	48
Давление на почву задних опор, кН/м <sup>2</sup>	44

В последующие годы отработка осуществляется «сверху вниз», по мере выбытия пластов.

При проведении камер КГРП существует вероятность обрушения кровли и зажатия исполнительного органа на глубине. В этом случае для извлечения исполнительного органа необходимо привлечь организацию имеющую пакет правоустанавливающих документов необходимых для производства требуемого вида работ. По заданию привлеченной организации необходимо разработать документацию по извлечению исполнительного ор-

гана и утвердить техническими руководителями ООО «Ресурс» и привлеченной организации.

Принятая настоящим проектом технологическая схема доработки запасов угля, под северным бортом участка открытых горных работ в его конечном положении (в границах участка недр «Отвальный Южный №2 Глубокий») основывается на технических возможностях КГРП и горно-геологических условий залегания пластов.

Ширина выемочных выработок определяется исходя из габаритов применяемого оборудования КГРП и для применяемого модуля САТ НВ 300 составляет 3,5 м. Высота выработок зависит от мощности пласта и схемы его отработки (в один или в два слоя).

Исходя из технических показателей комплекса САТ НВ300, угольные пласты 70, 69 и 67 отрабатываются в один слой.

При условии изменения мощности пластов 70,69 и 67 в сторону увеличения, допускается их отработка в два слоя (аналогично схеме, приведенной на рисунке 2).

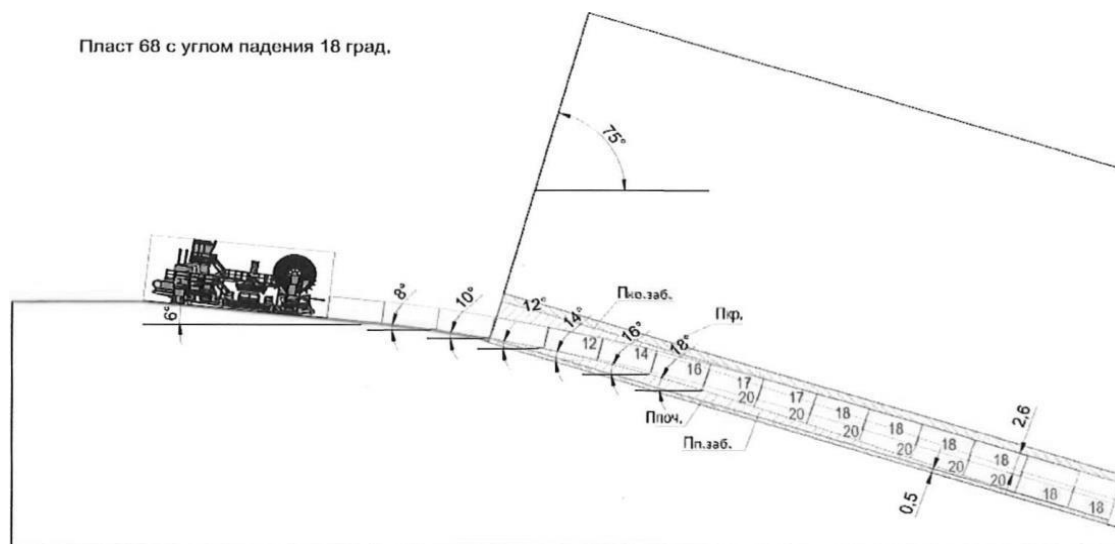


Рисунок 2 - Схема выбуривания верхней и нижней частей пласта 68 при отработке комплексом КГРП

Пласт 68, мощность которого превышает технические характеристики комплекса, отрабатывается в два слоя. Первоначально выбуривается верхняя часть пласта, мощностью не превышающей - 2,6 м. При этом комплекс располагается на спланированном вскрышном уступе, на расстоянии рекомендованным производителем при угле падения конкретного пласта, подлежащего выбуриванию. На каждую секцию става подбирается такой градус наклона, который позволяет достигнуть кровли пласта, оставляя защитную угольную пачку в кровле пласта и, затем следуя падению пласта, верхнюю часть. При доработке камеры происходит извлечение става из выработки и с этого же стояния происходит повторное забуривание с подборкой градуса наклона, который позволит достигнуть почвы пласта, оставляя толщину защитной угольной пачки в почве пластов не менее 0,5 м и, затем следуя паде-

нию пласта, выбуривать его оставшуюся часть.

Схема выбуривания пластов в два этапа при отработке комплексом глубокой отработки КГРП приведена на рисунке 2.

#### Библиографический список

1. Методическому руководству по выбору схем ведения взрывных работ на угольных разрезах с учетом физико-механических свойств пород и использованием средств механизации, НИИОГР, 1981 г. - 51 с.
2. Dixit S. Highwall Mining in India. Mine planning and equipment selection, Springer International Publishing, Dresden, 2013, pp. 175–176.

УДК 622.35

### **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНОГО КАМНЯ**

**Ермилов В.В., Матвеев А.В.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассмотрен вариант разрыхления горных пород малой и средней крепости без применения взрывной технологии с использованием фрезерных рыхлителей.

Ключевые слова: природный камень, изделие, гранит.

С повышением прочности природного камня существенно возрастают трудоемкость и себестоимость процесса отделения блоков необходимой формы и размера от массива. Применяемые буроклиновой и буровзрывной способы отделения блоков от массива прочных пород позволяют получать колотое блочное сырье, характеристики которого не удовлетворяют требованиям современного распиловочного оборудования. Совершенствование способов отделения лежит в области применения алмазно-канатного пиления, позволяющего получать крупноблочное сырье с ровными поверхностями, снижая потери природного камня, вместе с тем значительные затраты на алмазно-канатное пиление сдерживают внедрение этого способа и требуют применения комбинированных способов добычи.

В 1854 году во Франции, инженером Дювалье предложено в качестве гибкого режущего инструмента для природного камня использовать одну или несколько свитых в простейшую прядь проволок. Очевидно, что этот год можно считать как зарождение метода промышленной распиловки проволочным канатом со свободной подачей абразива, с тех пор в карьерах и на стройках для резки природных камней и строительных материалов все чаще стали применять установки с гибким рабочим органом. За прошедшие годы

канатно-алмазные пилы многократно подвергались изменению и совершенствовались, благодаря чему этот эффективный способ распиловки нашел большое распространение в мировой добыче блоков природного камня.

К достоинствам канатов для резки камня следует отнести простоту конструкции, незначительную энерго- и металлоемкость, невысокие потери сырья на пропилов, возможность выполнения пропилов значительной длины, технологическую гибкость, позволяющую выпиливать монолитные массивы, максимально учитывая горно-геологические особенности месторождения.

Исходя из особенностей горно-геологических условий разработки месторождения, величины принятой проектной мощности, требований рационального использования природных ресурсов, техническими решениями как правило предусматривается деление участка на блоки по простиранию; последовательно-параллельную отработку блоков (спаренные блоки), обеспечивающую оптимальный режим горных работ и обеспечение проектной мощности с вовлечением в отработку одного или двух смежных блоков. Как правило всегда применяются три установки алмазно-канатного пиления.

Совершенствование процесса подготовки блоков к выемке на месторождениях с системами круто- и пологопадающих трещин достигается за счет использования комбинированного способа по двухстадийной высокоуступной схеме, когда на первой стадии от горного массива отделяется монолит с помощью камнерезной машины, а на второй стадии, после завалки монолита на рабочую площадку, осуществляется его разделка на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения.

Получена зависимость величины технологических потерь блочной продукции от высоты уступа и геометрических характеристик природных трещин горного массива. При наличии в пределах длины монолита 3-х и 4-х отдельностей, заключенных между плоскостями крутопадающих трещин, его линейные параметры должны составлять от 2 до 4 метров.

Производительность отделения монолита от массива с помощью камнерезной машины, работающей в режиме постоянной мощности резания, при высоте уступа 5-13 м повышается в 1,2-3 раза по сравнению с режимом постоянной скорости подачи камнерезной машины на забой. Одновременно повышаются во столько же раз и эксплуатационные затраты на отделение монолита, что не дает основания по данным показателям выявить преимущества одного режима над другим.

Получение наибольшего экономического эффекта с наименьшими затратами, экономия трудовых, материальных и финансовых ресурсов зависит от того, как решает предприятие вопросы снижения себестоимости продукции. С целью обоснования режима работы камнерезной машины в зависимости от высоты уступа за критерий оценки предложено принимать комплексный технико-экономический показатель ( $cw$ ), характеризующийся затратами, отнесенными к производительности отделения объемов камня от массива. Выбор рационального режима работы камнерезной машины от высоты уступа достигается путем минимизации величины этого комплексного показателя.

Для отделения монолитов камня от массива при высоте добычного уступа менее 4,5 м следует выбирать режим резания с постоянной скоростью подачи камнерезной машины на забой. При высоте уступа более 4,5 м, когда показатель  $sw$  изменяется незначительно в зависимости от режима работы камнерезной машины, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.

В результате применения станков алмазно-канатного пиления исключается из процесса добычи термического, буроклинового, взрывного способов привело к снижению потерь при добыче блочного камня на 25 процентов, что привело к снижению производственной себестоимости на 419,54 руб/м<sup>3</sup> (9,11 %).

Применение станков алмазно-канатного пиления General file super при добыче блочного камня имеет следующие преимущества по сравнению с традиционными средствами способами: высокий уровень управляемости алмазно-канатной пилой, широкого выбора инструмента; работа по высокоуступной схеме позволит снизить потерь при добыче блочного камня на 25 процентов за счет снижения воздействия на кромки блока-заготовки в массиве, получение крупных блоков-заготовок и транспортирование их в цех.

Кроме того, применение станков алмазно-канатного пиления позволяет отказаться от взрывного способа добычи камня, что позволит избежать сейсмический эффект и воздушных ударных волн, разлет кусков горной массы при взрыве.

#### Библиографический список

1. Технологические процессы открытых горных работ. Е.В. Курехин, В.Г. Проноза, Кемерово 2002 г.
2. Официальный сайт производителя GENERAL FILE

УДК 622.271

### **УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С КРУТОНАКЛОННЫМ СЕПАРАТОРОМ**

**Сергеев А.А.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

В статье изложен способ повышения эффективности работы крутонаклонных сепараторов для обогащения угля путем внедрения спирального сепаратора.

Ключевые слова: Крутонаклонный сепаратор, спиральный сепаратор, обогащение угля.

При существующей технологии ведения открытых горных работ и современном уровне механизации из маломощных пластов извлекается не более 48-50 % угля. Значительное количество угля из разубоженной части рабочих пластов и пластов-спутников вывозится вместе со вскрышными породами в отвалы. Такие угли содержат до 30-40 % горючей массы, имеют зольность 40-70 %, отличаются крайне неравномерным составом и не могут без обогащения быть использованы в качестве энергетического топлива.

Одним из направлений ресурсосберегающей технологии по улучшению качества продукции угольных разрезов является обогащение угля на обогатительных установках с применением крутонаклонных сепараторов типа КНС.

В качестве основного метода для переработки разубоженной горной массы на обогатительной установке принято обогащение в противоточных гравитационных сепараторах типа КНС (рисунок 1).

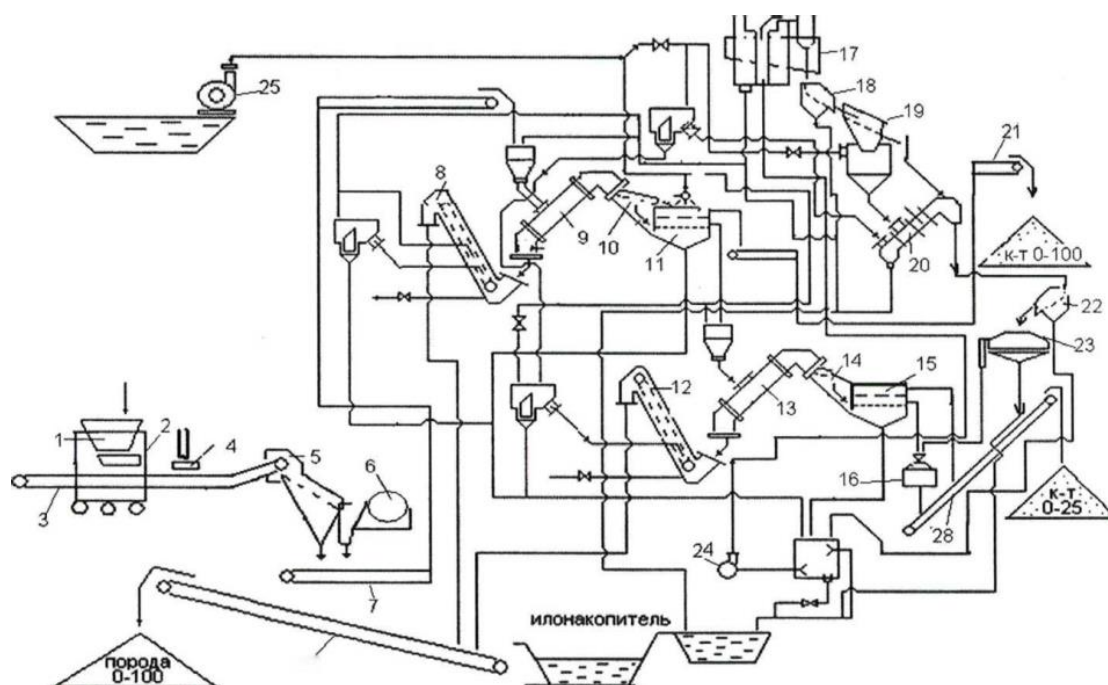


Рисунок 1 - Схема цепи аппаратов обогатительной установки с крутонаклонным сепаратором

Таблица 1 - Цепь аппаратов КНС

Наименование оборудования и техническая характеристика	Тип, марка оборудования
Бункер передвижной	БП-10
Питатель качающийся КЛ-12	ПК-1.2-8-0
Конвейер ленточный. В=1000 мм	
Железоотделитель подвесной.	П 100 М
Бункер с колосниками	Калибр колосника 100 мм

Продолжение таблицы 1

Наименование оборудования и техническая характеристика	Тип, марка оборудования
Дробилка щековая:	СМД-109А
Конвейер ленточный. В=1000 мм	
Элеватор обезвоживающий	ЭО-ЮС
Сепаратор КНС	КНС-108М
Сито сброса воды	шпальтовое
Грохот инерционный	ГИСЛ-62 УК
Элеватор обезвоживающий	ЭО-4С
Сепаратор круто наклонный	КНС-60/75
Сито сброса воды	
Грохот инерционный	ГИСЛ-62 УК
Центрифуга	ФВШ-1.00С-1
Гидроциклонная установка	ГЦЧ 360.4
Сито дуговое	
Сито обезвоживания	
Сепаратор крутонаклонный	КНС-40/80
Конвейер ленточный. В=1000 мм	
Сито дуговое	
Грохот высокочастотный	СВ-1Л
Насос	ГРАД 700/40
Насос	
Конвейер ленточный. В=1000 мм	
Конвейер ленточный. В=1000 мм	
Конвейер ленточный. В=1000 мм	

Далее рассмотрим целесообразность замены сепараторов крутонаклонного на спиральный (винтовой) типа ССп-1,0×2-М.

Спиральный сепаратор типа ССп-1,0×2-М предназначен для использования в угольной промышленности, в частности для обогащения угольных шламов крупностью от 0,1 до 3 мм, но может применяется и на предприятиях других отраслей, перерабатывающих полезные ископаемые плотностью не более 2 500 кг/м<sup>3</sup>.

Спиральный сепаратор состоит из двух пяти-витковых спиралей диаметром 1000 мм (работающих параллельно), двух питателей, разгрузчика и стойки. Питатель предназначен для предварительного формирования потока пульпы, поступающей из пульпопровода, с целью плавного ввода его на желоб сепаратора. Питатель состоит из полиуретанового корпуса и крышки. Желоб представляет собой пластиковую спиральную конструкцию, покрытую футеровкой из износостойкого композиционного материала на основе бутадиенового каучука. И пластиковый каркас спирали, и футеровка изготавливаются цельнолитыми, то есть не имеют стыков по всей длине спирали, что исключает возможность отслаивания футеровки и нарушения технологического процесса.



Пульпа, поступающая на желоб из питателя, движется потоком сверху вниз по винтовой линии, разворачивающимся в веер. На частицы угля в данном потоке действуют силы: тяжести, трения, гидродинамическая и центробежная, а также оказывает действие вертикальная составляющая скорости потока воды. Взаимодействие указанных сил приводит к тому, что частицы разной плотности по дну винтового желоба двигаются с различными скоростями. При этом породные частицы транспортируются у внутреннего борта, промпродуктовые сосредотачиваются в центральной зоне, а концентратные фракции совместно с тонкими, высокозольными шламами – у внешнего борта. Далее поток с желоба поступает в разгрузчик. Разгрузчик сепаратора предназначен для разделения потока на отдельные струи, несущие концентрат, промпродукт и отходы. Он состоит из двух отсекаелей и цельнолитого корпуса из полиуретана с тремя патрубками для вывода продуктов обогащения. Поворотом отсекаелей вокруг вертикальной оси достигается регулировка выхода каждого продукта.

Спиральные сепараторы имеют ряд преимуществ перед другими сепараторами. К ним относятся простота устройства, отсутствие движущихся механизмов, наглядность процесса, высокая производительность на единицу производственной площади и низкие эксплуатационные расходы. При использовании спиральных сепараторов в схемах фабрик требуются меньшие капитальные затраты на строительство, ускоряется монтаж оборудования, уменьшается протяженность коммуникационных сетей, снижается расход воды и электроэнергии.

#### Библиографический список

1. Матвеев В.И., Скрябин А.В. Совершенствование технологии обогащения крупных классов горной массы на установке шахты «Комсомольская». В сб.: Обогащение и брикетирование угля. М.: ЦНИЭИуголь, 1983, №4, С. 27-29.

2 Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов: В 2 т.– М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006.– Т. 2. Технологии обогащения полезных ископаемых.– 310 с.: ил.

УДК 622.6

## ЭНЕРГОСИСТЕМА КУЗБАССА

**Веденяпина О.Ю.**

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

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

В статье рассматривается вопрос развития энергосистемы Кузбасса.

Ключевые слова: энергетика, инвестиции, генерирующая компания, агрегаты, энергоблоки.

Основу энергетики Кузбасса составляет одна из крупнейших в Западной Сибири система ОАО "Кузбассэнерго", включающая в себя восемь ГРЭС и ТЭЦ общей мощностью более 4700 МВт и обеспечивающая потребности области в электрической энергии с небольшим (до 12,5 %) дефицитом, который покрывается поставками с ФОРЭМ - Федерального оптового рынка энергии (мощности). ГРЭС и ТЭЦ Кузбасса представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 - ГРЭС и ТЭЦ Кузбасса

№	Наименование	Установленная мощность, МВт	Год открытия	Город
1	Томь – Усинская ГРЭС	1300	1964	г. Мыски
2	Южно-Кузбасская ГРЭС	530	1951	г. Калтан
3	Кемеровская ГРЭС	485	1934	г. Кемерово
4	Беловская ГРЭС	1260	1964	г. Белово
5	Западно-Сибирская ТЭЦ	600	1963	г.Новокузнецк
6	Кемеровская ТЭЦ	85	1939	г. Кемерово
7	Кузнецкая ТЭЦ	298	1944	г.Новокузнецк
8	Ново-Кемеровская ТЭЦ	515	1955	г. Кемерово
9	Юргинская ТЭЦ	91	1944	г. Юрга

Энергетика, как одна из базовых отраслей, определяющих экономический потенциал Кузбасса, работает в тесной технологической взаимосвязи с хозяйственными структурами и находится в значительной зависимости от их финансового состояния и технического уровня. В Кузбассе находятся пять тысяч предприятий. Основные промышленные отрасли области весьма энергоемки: добыча угля, транспорт, металлургическое и химическое производства. Более 40 % всего полезного отпуска энергии у нас приходится на обеспечение потребностей пяти крупнейших заводов: Кузнецкого металлургического комбината, Западно-сибирского металлургического комбината, Новокузнецкого алюминиевого завода, Новокузнецкого завода ферросплавов и Кемеровского ОАО «Азот». Эти предприятия производят продукцию, пользующуюся высоким спросом на внутреннем и внешнем рынках, и поэтому от их ритмичной работы, платежной дисциплины во многом зависит стабильное и надежное энергоснабжение региона, а также состояние и наполняемость областного и муниципальных бюджетов.

Потребление электроэнергии по основным секторам экономики представлена в таблице 2 [2].

Таблица 2 - Потребление электроэнергии в Кузбассе

Сектора экономики	Потребление, %	Сектора экономики	Потребление, %
промышленность	66	строительство	2
сельское хозяйство	3	прочие отрасли	7
ЖКХ	8	бытовые нужды населения	11
транспорт и связь	3		

По оценке специалистов, что на ближайшие годы российская электроэнергетика способна обеспечить своей продукцией максимум 2 % промышленного роста. На сегодняшний день каждая вторая действующая турбина в Кузбассе наполовину отработала свой парковый ресурс. При этом не менее 1/3 отработали его полностью, а у трети паровых котлов превышены нормативные сроки службы. Изношенность электротехнического оборудования в целом составляет 40 %. В условиях полного финансирования ежегодно замене подлежали бы 5-6 турбин из 59 установленных, но реальные возможности энергосистемы позволяют заменить лишь одну, не оставляя при этом ни рубля на модернизацию котлов, генераторов, другого оборудования. В этих условиях проблемы энергетике приобретают уже межотраслевой, общерегиональный масштаб: ведь авария в системе при отсутствии должного резерва будет означать угрозу энергетической и экономической безопасности всего Кузбасса.

Около 80 % промышленных предприятий Кузбасса-производства непрерывные, требующие повышенной надежности энергоснабжения. Поэтому наличие и техническое состояние резервных мощностей (20-25-процентный резерв должен быть нормой) в энергетике. Кузбасс располагает только 6 процентами. А остановка даже нескольких звеньев непрерывного металлургического производства или химического цикла, работы шахты, сбои в энергоснабжении рабочих городов в условиях суровой сибирской зимы приведут к развитию ситуации, близкой к катастрофе [3].

Привлечение сторонних, включая иностранные, инвестиций и заемных средств для энергетиков сегодня весьма проблематично и вряд ли станет возможным даже в обозримом будущем, если рентабельность в отрасли будет оставаться по-прежнему низкой, а ставки кредитов высокими. А концентрация и использование собственных средств на новое строительство практически исключены, поскольку начиная с 1992 года правительство ежегодно сокращало норму инвестиционных отчислений в себестоимости электроэнергии, а с 1997 года эти отчисления были прекращены полностью.

Цикл инвестиций в энергетике составляет более 10 лет, и за один-два года разрушенную энергетiku не поднять. Поэтому представляется логичным и экономически целесообразным, если инвестиционная составляющая абонентной платы будет принадлежать энергокомпаниям и оставаться на местах. Это позволит более оперативно и эффективно использовать средства по назначению.

Поэтому 16 сентября 2009 г. создана управляющая организация ООО «Сибирская генерирующая компания (СГК)». Первый крупный инвестиционный проект был реализован на Ново-Кемеровской ТЭЦ. В феврале 2009 г. был включен под нагрузку и выдал первые киловатт-часы электроэнергии в сеть новый турбогенератор мощностью 100 МВт.

К настоящему времени СГК реализовала в Кузбассе еще ряд масштабных инвестиционных проектов. Это строительство на площадке Кузнецкой ТЭЦ Новокузнецкой газотурбинной электрической станции (Новокузнецкой ГТЭС) установленной мощностью 298 МВт, реконструкция энергоблоков № 4 и № 6 Беловской ГРЭС и энергоблоков № 4 и № 5 Томь-Усинской ГРЭС. В результате нового строительства и реконструкции отслуживших свой срок агрегатов регион получил серьезный резерв для надежной работы энергосистемы [3].

#### Библиографический список

1. Шарапов В.И. Особенности теплоснабжения городов при дефиците топлива на электростанциях // Электрические станции. 1999. №10.
2. Беляев В.М. Основы энергосбережения : учеб.-метод.комплекс / В.М. Беляев, В.В.Ивашин. – Мн.: Изд-во МИУ, 2004. – 123 с.
3. Актуальные проблемы энергетики : тез. докл. 60-й науч.-техн.конф. студентов и аспирантов (апр.2004г.) – Минск: БНТУ, 2004, - 135 с.

УДК 622. 831

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

**Обрядин А.А.**

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

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

В работе разработана имитационная модель процессов проведения горной выработки. В основу модели положены генераторы случайных чисел, с помощью которых реализовано равномерное, нормальное и экспоненциальное распределение. Модель определяет длительность проходческого цикла как случайную величину и по числу циклов в сутки рассчитывать суточное продвижение забоя. Модель позволяет производить оценку эффективности технических и пространственно-планировочных решений при подготовке и отработке пологого пласта средней мощности.

Ключевые слова: проведение горной выработки, имитационная модель, генератор случайных чисел, проходческий цикл, пологие пласты, процессы.

Целью выполненной работы являлась разработка имитационной модели процессов проведения горной выработки для определения темпов воспроизводства запасов, готовых к выемке, в рамках оценки эффективности технических и пространственно-планировочных решений при подготовке и отработке пологого пласта средней мощности.

В основу модели положены генераторы случайных чисел (ГСЧ), рекомендованные [1] для реализации равномерного, нормального, и экспоненциального распределений. Структура модели включает следующие основные элементы:

- блок имитации работы проходческого комбайна для определения длительности выемки горной массы при подвигании забоя на длину проходческого цикла;

- блок имитации движения и разгрузки самоходного вагона для определения длительности рейса;

- блок имитации возведения анкерной крепи, включающий моделирование бурения шпуров под анкеры и времени установки сталеполимерных анкеров;

- блок имитации состояния горных машин (наработка на отказ и длительность восстановления) для оценки влияния надежности проходческого оборудования на показатели проходческих работ.

Модель позволяет определять длительность проходческого цикла как случайную величину и по числу циклов в сутки рассчитывать суточное продвижение забоя.

Модель реализована на языке C++ [2], основные структурные элементы предоставлены проф., д.т.н Домрачевым А.Н. [3-5].

При моделировании были приняты следующие исходные данные (таблица 1) [6].

Таблица 1 — Исходные данные при моделировании проведения выработки

№ пп	Наименование показателя	Ед. изм	Распределение случайной величины	Среднее значение
1	Сечение выработки (вчерне)	м <sup>2</sup>	--	12,5
2	Подвигание забоя за цикл	м	--	1
3	Число шпуров под анкеры	шт	--	4
4	Длина шпуров под анкеры	м	--	1,8
5	Расстояние транспортирования	м	--	200-400
6	Наработка комбайна на отказ	мин	экспоненциальное	460
7	Длительность восстановления комбайна	мин	экспоненциальное	55

Продолжение таблицы 1

№ пп	Наименование показателя	Ед. изм	Распределение случайной величины	Среднее значение
8	Наработка самоходного вагона на отказ	мин	экспоненциальное	620
9	Длительность восстановления самоходного вагона	мин	экспоненциальное	65
10	Производительность комбайна	т/мин	нормальное	0,4
11	Скорость движения самоходного вагона с грузом	м/мин	нормальное	80
12	Скорость движения порожнего самоходного вагона	м/мин	нормальное	90
13	Скорость бурения шпуров под анкеры	м/мин	нормальное	0,8
14	Длительность перемонтажа (переноса) погрузочного пункта	мин	--	300

Шаг моделирования составил 1 мин, общая длительность моделирования - 124 суток. По результатам моделирования средняя скорость проведения выработки составила 6,53 м/сут при среднеквадратическом отклонении от этого показателя 1,85 м/сут. Следует отметить то, что выполняется правило «трех сигм», т.к. при максимальной полученной скорости проведения 13 м/сут имеет место  $6,53 + 3 \cdot 1,85 \approx 12,1 < 13$ . Было сформулировано предположение, что результаты моделирования подчиняются нормальному закону распределения, и в соответствии с данным предположением осуществлен расчет теоретических и оценка практических частот по интервалам скорости проведения выработки (таблица 2).

Таблица 2 - Сравнение теоретических частот и результатов моделирования проведения горной выработки

Интервалы скоростей проведения выработки, м/сут	Теоретическая частота	Частота по результатам моделирования
0 — 2,4	1,56	9
2,4 — 4,8	20,1	16
4,8 — 7,2	57,87	51
7,2 — 9,6	30,43	29
9,6 — 12,0	5,98	16
12,0 — 14,4	0,04	3

При уровне значимости 0,05 критическое значение критерия «хи-квадрат» составляет 7,8, в то время как наблюдаемое значение - 48,77, что не позволяет принять гипотезу о нормальном распределении результатов моделирования.

На основании вышеизложенного, можно определить следующие направления развития данной модели проведения горной выработки.

1. Для повышения достоверности модели необходимо реализовать воздействие газового фактора на показатели проведения выработки - например, через имитацию простоев из-за отключения электроэнергии в подготовительном забое при превышении порогового значения концентрации метана в атмосфере выработки.

2. Для расширения области применения модели необходимо реализовать другие технологические схемы проведения выработок, прежде всего с использованием конвейерного транспорта горной массы из подготовительного забоя, а также рассмотреть возможность использования наработанных алгоритмов при моделировании отработки пологого пласта по камерной системе разработки.

3. Разработать графический интерфейс для эффективного использования модели в учебном процессе - например при изучении дисциплин «Технология строительства горных выработок», «Технология отработки пологих пластов» и др. Одним из путей решения данной задачи можно считать портирование кода на язык `java-script` для представления модели в виде свободного интернет-приложения.

#### Библиографический список

1. William H. Press Numerical Recipes in C++/ William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery// Cambridge University Press, 2002. – 976 p.

2. Труб И.И. Объектно-ориентированное моделирование на C++: Учебный курс. - СПб.: Питер, 2006. - 411 с.

3. Домрачев А.Н. Реализация модели подготовительной выработки средствами объектно-ориентированного моделирования/ А.Н.Домрачев. – Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. - С. 148-151.

4. Домрачев А.Н. К вопросу об особенностях реализации генераторов случайных чисел при моделировании воспроизводства очистного фронта на шахте/ А.Н.Домрачев, К.Д.Лукин. – Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ. – 2008. - № 8. – С. 24-27.

5. 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 / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Ново-

кузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. –№ 3. – С 8-10.

6. Домрачев А.Н. Выбор и обоснование параметров комбинированной технологии при различных способах развития шахтного фонда/ А.Н.Домрачев, В.Г.Криволапов - Сиб. гос. индустр. ун-т. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. - 209 с.

УДК 622.4

## **К АНАЛИЗУ ПУТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАРЕВШИХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ**

**Шабунов М.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Щербина Г.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

В статье рассматриваются вопросы разработки, модернизации, освоения производства и опытной эксплуатации нового ряда осевых одноколёсных вентиляторов серии ВО со сдвоенными лопатками, в которых осуществлен переход от рычажного механизма поворота лопаток к реечному.

Ключевые слова: вентиляторы, модернизация, безопасность.

На предприятиях угольной промышленности находится в эксплуатации большое количество вентиляторов типа ВОКД и ВОД. Вентиляторы указанных типов морально устарели ещё в начале 1980-годов, т.к. к тому времени около 83 % вентиляторов главного проветривания (ВГП) шахт, например, США, Германии и других стран использовали осевые машины с поворотными на ходу лопатками рабочего колеса (РК). С повышением производительности угольных комбайнов и увеличением длины лавы значительно увеличивается количество метана, что требует подачи ещё большего количества воздуха в шахту. Поэтому модернизация и разработка высокопроизводительных ВГП была и остаётся весьма актуальной [1].

Указанные вентиляторы не обеспечивают возможности регулирования на ходу режима подачи воздуха, плохо реверсируются, а также имеют ряд других недостатков. Они, как правило, двухступенчатого исполнения с профильными (телесными) лопатками с диаметром рабочего колеса от 1500 до 5000 мм и изготавливаются без использования высококачественных материалов, поэтому предельные окружные скорости, которые удалось получить на вентиляторах серии ВОД, не превышают 78,8 м/с. По указанной причине отечественные вентиляторы отличаются высокой удельной металлоемкостью и чрезмерно большими габаритами.

Известно, что более 30 % отказов осевых вентиляторов приходится на выход из строя ротора, в том числе из-за лопаток рабочего колеса [2]. Лопатки, выполненные в виде сварно-клёпаной стальной конструкции, имеют



большую массу. Поэтому при увеличении скорости их вращения значительно возрастает сила инерции, что в свою очередь ведёт к необходимости усиления корпуса рабочего колеса, следовательно, к увеличению его массы и увеличению момента инерции. Таким образом, очевидно, что для повышения производительности вентиляторов путём увеличения скорости необходимо уменьшать массу рабочих лопаток.

Ещё в 80-х годах прошлого столетия Институт горной механики им. М.М. Федорова (г. Донецк) предложил использовать для крупных осевых вентиляторов аэродинамические схемы на основе сдвоенных листовых лопаток РК [3].

В настоящее время в России ведутся работы по разработке, модернизации, освоению производства и опытной эксплуатации нового ряда осевых одноколёсных вентиляторов серии ВО со сдвоенными лопатками, в которых осуществлен переход от рычажного механизма поворота лопаток к реечному, отказ от трансмиссионных валов и верхний забор воздуха. Это позволило повысить надёжность вентиляторных агрегатов, сократить их габариты и стоимость строительных сооружений установок. Производство вентиляторов ВО-21К и ВО-24К освоено на двух заводах РФ. Они работают на установках двух шахт Кузбасса и трёх рудниках Восточной Сибири и Дальнего Востока. Разрабатывается проектно-конструкторская документация на вентиляторы ВО-43К и ВО-50К [4, 5].

В дальнейшем лопатки стали изготавливать методом литья из алюминиевых сплавов, что позволило повысить окружную скорость лопаток до 100...105 м/с. Дальнейшее увеличение скорости вращения рабочего колеса до 140...150 м/с потребует применения более дорогих материалов для изготовления рабочих лопаток, что существенно удорожает стоимость вентилятора.

Институтом горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН предложена конструкция рабочих лопаток с сотовой структурой сердечника, что позволяет повысить окружную скорость рабочего колеса до 140 м/с при использовании алюминиевых сплавов типа АК7 с пределом прочности, равным 294 МПа [6].

Суть модернизации вентилятора ВОД-40, который может обеспечить подачу воздуха не более 350 м<sup>3</sup>/с при давлении не более 2000 Па и выработавший ресурс работы сводится к замене двухступенчатого ротора на одноступенчатый и замене электродвигателя на более скоростной. Экспериментальные исследования показали, что выполнение сердечника лопатки рабочего колеса осевого вентилятора серии ВОД в виде сотовой структуры из алюминиевого сплава АК7 позволяет увеличить скорость вращения ротора в 1,8 раза, т.е. обеспечить подачу воздуха до 500 м<sup>3</sup>/с при 510 об/мин при давлении 2000 Па.

Таким образом, модернизация вентиляторов ВОКД и ВОД, многократно выработавших проектные ресурсы, не только решает организационно-технические проблемы безопасности, получения разрешения на продление

сроков их службы, но и обеспечивает значительный экономический эффект, в том числе за счет снижения энергопотребления на 35...40 %.

Регулирование и возможность форсирования режима проветривания при загазованиях (задымлениях), а также возможности эффективного реверсирования главных вентиляторов после их модернизации позволяют существенно повысить безопасность ведения подземных горных работ, особенно при авариях.

#### Библиографический список

1. Петров Н.Н. Пути модернизации устаревшего парка главных вентиляторов шахт [Текст] / Н.Н. Попов, Н.А. Попов // Безопасность труда в промышленности. 2000, № 11.- С.36-40.
2. Демочко С.И. Неисправности шахтных вентиляторных установок главного проветривания [Текст] / С.И. Демочко, А.В. Кузнецов, В.П. Паршинцев. М.: Недра, 1990.
3. Красюк А.М., Русский Е.Ю. Динамика и прочность сдвоенных листовых лопаток осевых вентиляторов. «Горное оборудование и электромеханика» №7, 2009. с.52-56.
4. Заслов В.Я., Абрамов С.А. Модернизация вентиляторов типа ВОКД и ВОД главных вентиляторных установок шахт и рудников. «Горное оборудование и электромеханика» № 10, 2011. с.51-54.
5. Холодников Ю.В., Таугер В.М., Замараев С.Ю. Совершенствование конструкций осевых вентиляторов главного проветривания шахт. «Горное оборудование и электромеханика» № 9, 2014. с. 28-33.
6. Красюк А.М., Русский Е.Ю., Кутаев В.И., Горшков И.В. Разработка и исследование рабочих лопаток с сотовой структурой сердечника для осевых шахтных вентиляторов. «Уголь» июль, 2016 с.56 – 59.

УДК 622. 831.3

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНТАЖНО- ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ДЛЯ ШАХТ ЮГА КУЗБАССА НА ПРИМЕРЕ ООО «ШАХТА «АЛАРДИНСКАЯ »**

**Микунев В.В., Никитина А.М., Риб С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Предлагается снижение продолжительности выполнения монтажно-демонтажных работ при переходе на отработку очередного выемочного столба на шахтах, работающих по схеме шахта – лава. Техноко-технологические решения по демонтажу механизированного комплекса в

условиях ООО «Шахта «Алардинская» снизят аварийность и повысят эффективность подземной разработки угольных пластов.

Ключевые слова: ремонт механизированного комплекса, демонтаж, монтажно-демонтажные работы, угольный пласт, сокращение времени.

В условиях требований современного рынка стабильной отгрузки и поставки угля, на шахтах, работающих по схеме шахта – лава возникают проблемы простоя шахты по добыче угля при ремонте механизированного комплекса. Решение этих проблем приобретает все большую актуальность и остроту во всех угольных бассейнах России.

На данный момент большинство шахт перешли на схему «шахта-лава». С такой формой организации горных работ, обеспечивающей высокий уровень производительности труда и низкую себестоимость добываемого угля, предприятие наиболее конкурентоспособно в рыночных условиях.

Использование высокопроизводительного очистного оборудования при подземной разработке угольных пластов позволяют достигать высоких нагрузок на очистной забой, до 10000 тонн в сутки.

На «шахтах-лавах» не предусматривается резервный фронт очистных работ. В связи с этим, для таких шахт актуальными являются вопросы, связанные со снижением продолжительности монтажно-демонтажных работ при переходе на отработку очередного выемочного столба. Как показывает практика, продолжительность ремонта механизированного комплекса может возрасти в 1,5-2 раза и более, по сравнению с соответствующим показателем, рассчитанным без учета времени, затрачиваемого на ликвидацию последствий обрушений кровли, вывалов вмещающих пород в рабочее пространство. Так на шахтах Юга Кузбасса разрыв в очистном фронте при ремонте механизированного комплекса составляет 20-100 суток и более. При этом экономический ущерб, связанный с невосполнимыми потерями добычи, достигает 3-7 млн рублей в сутки [1].

Проведенный анализ в области ремонта механизированного комплекса на шахтах пологого падения показал, что на сроки ремонта в основном влияет время демонтажных работ.

Применяемые в настоящее время способы демонтажа не удовлетворяют современным требованиям, как с точки зрения затрат времени, так и безопасности производства работ в демонтажных камерах. Кроме того, с увеличением глубины разработки, вследствие более активного протекания геомеханических процессов усложнился процесс демонтажа механизированного комплекса и возникнет вероятность высокого травматизма рабочих [3].

К числу факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на продолжительность монтажно-демонтажных работ, относятся самопроизвольные обрушения пород кровли в демонтажных камерах, применение морально устаревшего оборудования, трудоемкий процесс поддержания демонтажной камеры, доставка оборудования и материалов.

В связи с вышеизложенным, следует обратить особое внимание на ре-

шение таких проблем, как сроки на демонтаж механизированного комплекса и безопасность рабочих при демонтажных работах.

Для разработки технико - технологических решений по эффективным монтажно демонтажным работам для шахт юга Кузбасса на примере ООО «Шахта «Алардинская », были решены следующие задачи:

1. Проведён анализ производственного опыта выполнения работ по ремонту очистных механизированных комплексов.

2. Проведён анализ ведения монтажно-демонтажных работ на ООО «Шахта «Алардинская».

3 Разработаны технико-технологические решения по проведению монтажно-демонтажных работ на ООО «Шахта «Алардинская».

На основе опыта проведения демонтажных работ распространение получила схема с применением полимерного демонтажного перекрытия и пилотных секций механизированной крепи (рисунок 1).



Рисунок 1 -Схема с совместным применением полимерной сетки и пилотных секций

Для извлечения секций механизированных крепей на протяжении многих десятилетий и по сегодняшний день на многих шахтах Кузбасса используется стандартный набор оборудования и механизмов (лебедки: ЛПК-10Б, ЛМТ-150.01, ЛШМ и др) Технические достижения последних лет привели к развитию технологий, которые способны предоставить огромные возможности при осуществлении монтажно-демонтажных работ в шахте и существенно сократить их сроки.

Первые машины для извлечения тяжелых секций крепи Petitto Mule появились в США около 30 лет назад, и в настоящее время уже несколько сотен таких машин работают на многих угольных шахтах в мире, что подтверждает надежность и качество этих машин. Все машины имеют опцию -

могут разбираться на четыре части для удобства спуска в шахту.

Имеются также машины в дизельном исполнении, взрывозащищенные, предназначенные для извлечения секций крепи массой 50, 60, и 70 т (рисунок 2).

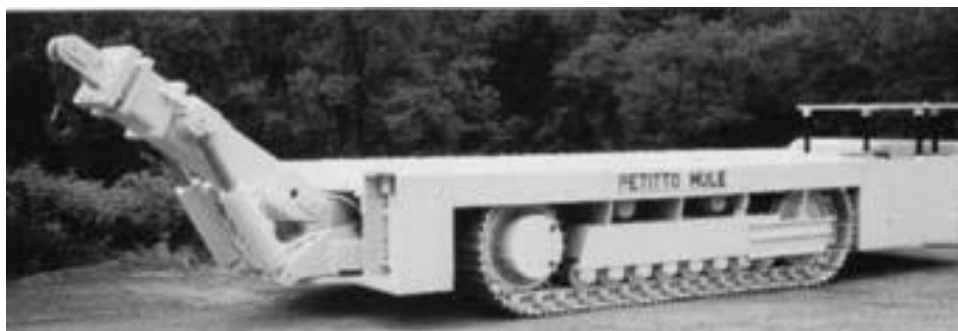


Рисунок 2 - Машина Petitto Mule модель 1550 предназначенная для извлечения секций крепи массой до 36т.

Крепление кровли - один из наиболее ответственных моментов в технологии проведения демонтажных работ. Деревянные костры в угольной промышленности повсеместно используются в основном в качестве элемента, дополняющего крепь выработок в местах повышенного давления горного массива. Однако эффекты, полученные при применении традиционных костров, выполненных обычно из использованных железнодорожных шпал или другого низкокачественного сырья, оставляют желать лучшего - такие костры характеризуются высокой сжимаемостью уже при относительно небольших нагрузках, а кубатура занятого пространства и масса используемого материала несоразмерные полученными результатами.

Эти наблюдения послужили основой для разработки компанией «StrataProducts» (США) системы деревянных крепей нового поколения, к которым, в частности, принадлежит система деревянной костровой крепи LINK-N-LOCK, благодаря соответствующей форме элементов, из которых построена костровая крепь, передача давления происходит на всей их поверхности, а следовательно на удержание перекрытия работает 100 % используемой древесины (рисунок 3).

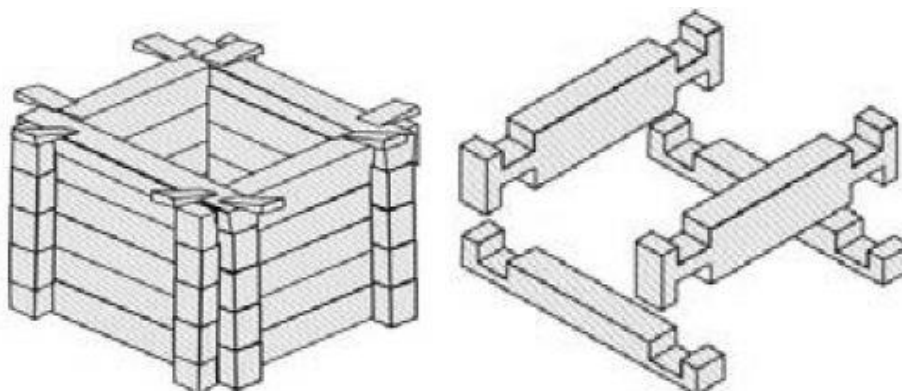


Рисунок 3 - Система деревянной костровой крепи LINK-N-LOCK

Плотный контакт элементов и оригинальный механизм заклинивания отдельных слоев обеспечивают значительную стабильность костра, несмотря на его тонкость, обеспечивают устойчивость к горизонтальному смещению и благоприятно влияют на характеристики установочной сопротивляемости крепи.

Элементы деревянной крепи LINK-N-LOCK выполняются из твердой древесины (обычно бук) в виде элементов стандартных размеров.

Система деревянной костровой крепи LINK-N-LOCK начинает активно использоваться и на шахтах Кузбасса, показывая хорошие показатели.

Монтажно-демонтажные работы на ООО «Шахта «Алардинская» производятся оборудованием, которое применялось для перемонтажа механизированных комплексов, масса секции крепи которых была в пределах 20т. (КМ-142, КМ-130, FAZOS). В данный момент на шахте используется очистной комплекс Glinnik 22/47Poz, масса секции крепи которого составляет 32т. При использовании вышеуказанного оборудования для монтажно-демонтажных работ возникает ряд проблем [2]:

- Выход оборудования из строя вследствие перегрузки.
- Трудоемкие и затратные по времени подготовительно-концевые операции из-за применения системы полиспастов.
- Ежесуточный перемонтаж оборудования, переключение пусковой аппаратуры.
- Выдача секций из демонтажной камеры (волоком) требует много времени из-за ограниченной скорости каната.
- Обслуживание и ремонт пускового оборудования и механизмов.
- Высокий травматизм

На демонтаж и разворот секции крепи уходит 90 минут рабочего времени. Это обусловлено большим количеством подготовительно-концевых операций, (растягивание каната, навеска блоков) которые повторяются 4-5 раз за цикл, отключение демонтируемой секции крепи от общей гидросистемы механизированного комплекса. Передвижка пилотных секций также состоит из множества манипуляций канатом и блоками. Это ведет не только к большой потере времени, но этот процесс еще и очень трудоемкий. Также люди, осуществляющие демонтаж секций крепи, находятся в непосредственной близости с опасными зонами действия каната.

При выдвигании секции крепи из ряда часть пород кровли попадает в рабочее пространство демонтажной камеры, что впоследствии мешает задвиганию пилотных секций крепи. На ООО «Шахта «Алардинская» породы кровли пластов представлены песчаниками с большим шагом обрушения. Вследствии чего, вывалы горных пород представляют собой достаточно крупные блоки песчаника. Зачистка рабочего места осуществляется вручную с использованием малой механизации (отбойного молотка) и отгрузкой горной массы в транспортную емкость, что тоже приводит к большим затратам времени.

Выдача секции по демонтажной камере осуществляется дизелевозом DLZ-110F FERRIT или лебедками ЛШМ волоком по почве демонтажной камеры с применением системы полиспастов (в случае уменьшения раздвижки

гидростоек комплекса вследствие действия горного давления на секции механизированной крепи). Среднее время выдачи секции механизированной крепи по демонтажной камере, составляет 55 мин.

Процесс крепления места демонтажа является одним из самых трудоемких процессов при демонтаже секций крепи механизированного комплекса. Все операции выполняются вручную, что также приводит к большим потерям времени.

Ремонтная смена практически на всем протяжении ведет подготовку к демонтажным работам (передвижка, крепление демонтажных лебедок, переключение электроаппаратуры, перенос средств пожаротушения).

При таком графике организации работ время демонтажа секций механизированного комплекса составит 32- 42 дня.

На основе опыта проведения демонтажных работ предлагается ведение демонтажных работ в условиях ООО «Шахта «Алардинская» под защитой перекрытия кровли сеткой из полимерных материалов (рисунок 4).

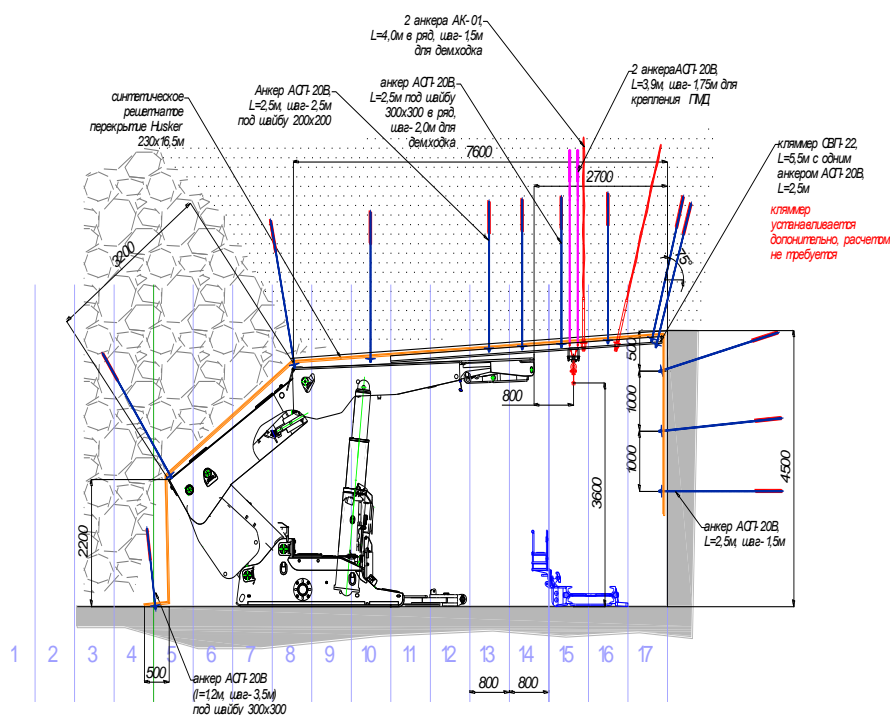


Рисунок 4 - Формирование демонтажной камеры полимерной сеткой «Хьюске»

Применение оборудования для механизированной зачистки места демонтажа и демонтажной камеры подирочно-погрузочной машиной Deilmann-Haniel L513. Демонтаж секций производить машиной Petitto Mule. Выдачу секций механизированной крепи осуществлять гидравлической лебедкой MW-250. Крепление места демонтажа производить системой деревянных костровых крепей LINK-N-LOCK. Использовать для доставки оборудования от демонтажной камеры до монтажной по наклонным выработкам до аккумулирующих разминок, находящихся на вентиляционном штреке

подготавливаемого выемочного столба подвесными дизельными локомотивами DLZ-110F.

Таким образом, в результате сокращения времени на основные операции демонтажа механизированного комплекса позволит получить следующие показатели:

- Демонтаж секции механизированной крепи с 90 минут до 15 минут.
- Крепление места демонтажа с 40 минут до 30 минут.
- Передвижка пилотных секций с 50 минут до 20 минут.
- Зачистка места демонтажа с 50 минут до 15 минут.

Предлагаемые решения позволят сократить срок перемонтажа на 20 дней, что в свою очередь позволит сэкономить до 140 миллионов рублей.

#### Библиографический список

1. Коземаслов В.А. Особенности проведения монтажных камер и производства монтажных работ в сложных горно-геологических условиях на шахтах [Текст] / В.А. Коземаслов, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14–15 мая 2013 г. Вып. 17. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 53-54..

2. Техническая документация ООО «Шахта «Алардинская».

3. 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 университета. Науки о Земле. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2016. - Вып.4. – С. 81 - 89.

УДК 622.6

### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 21.05.04 «ГОРНОЕ ДЕЛО»**

**Черешнева Е.В.**

**Научный руководитель: Риб С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: chereshneva2012@mail.ru*

Обозначен вопрос разработки алгоритма оценивания результатов выполнения компьютерной лабораторной работы с проверкой принимаемых решений как на соответствие требованиям нормативных документов, так и результатам параллельных расчетов технико-экономических показателей для альтернативных вариантов. Реализована итеративная процедура поиска оптимального решения (при ограниченном числе шагов итерации и назначении штрафных санкции за увеличение числа итераций).



Ключевые слова: компьютерная лабораторная работа, тест, алгоритм оценивания, специальные дисциплины, учебный процесс, горное дело, пологий пласт.

На кафедре геотехнологии ФГБОУ ВО «СибГИУ» в 2005-2016 гг. реализована программа разработки тестов для специальных дисциплин [1, 2], в ходе работы над которыми сложился подход к оцениванию ответов по двум типам критериев:

- аддитивному на основе пятибалльной шкалы;
- бинарному (для оценки решения задач).

В ходе разработки компьютерной лабораторной работы по выбору и обоснованию технологической схемы подготовки и отработки пологого пласта выяснилась недостаточность такого подхода, обусловленная необходимостью проверки принимаемых решений как на соответствие требованиям нормативных документов, так и результатам параллельных расчетов технико-экономических показателей для альтернативных вариантов [3-6]. На основе сформулированных выше требований под руководством проф., д.т.н. Домрачева А.Н. разработан алгоритм (рисунок 1).

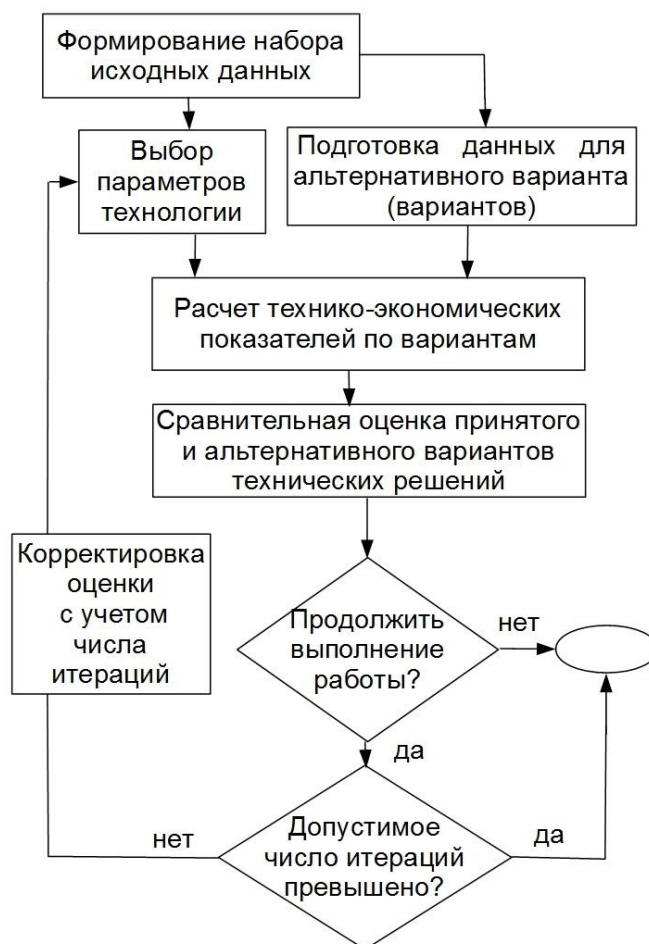


Рисунок 1 – Алгоритм оценки компьютерной лабораторной работы, реализованный в коде [7] оценки лабораторной работы «Выбор технологической схемы подготовки и отработки пологого пласта»

Реализация алгоритма позволила:

1. Выполнить сравнение технико-экономических показателей принятого и двух альтернативных вариантов отработки пологого пласта.

2. Учитывать не только прямые ограничения по требованиям нормативных документов, но и принимать в качестве ограничений промежуточные результаты расчетов (толщина стружки при струговой выемке, нагрузка по газовому фактору и др.).

3. Реализовать итеративную процедуру поиска оптимального решения (при ограниченном числе шагов итерации и назначении штрафных санкции за увеличение числа итераций).

4. Обеспечить проверку (остаточных) знаний по смежным дисциплинам, таким как «Горные машины», «Геомеханика», «Технология строительства горных выработок» и др.

В целом разработка алгоритма оценивания результатов выполнения лабораторной работы по выбору и обоснованию технологической схемы подготовки и отработки пологого пласта является перспективной прикладной задачей, представляющей интерес, в том числе в рамках реализации программ проектной деятельности.

#### Библиографический список

1. 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

2. Домрачев А.Н. Моделирование технологической схемы действующей шахты современного технического уровня/А.Н. Домрачев, Т.М. Кутцар// Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей междунар. науч.-практ. конф. / Сиб. гос. индустр. ун-т; ЗАО «Кузбасская ярмарка»; под ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк : СибГИУ, 2009. - С. 103-107.

3. Домрачев А.Н. Выбор и обоснование параметров комбинированной технологии при различных способах развития шахтного фонда/ А.Н.Домрачев, В.Г. Криволапов – Новокузнецк, 2011. – 209 с.

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 / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцев - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. –№ 3. – С 8-10.

5. Риб С.В. Сравнительная оценка аналитического расчета и результатов имитационного моделирования нагрузки на длинный комплексно-механизированный очистной забой / С.В. Риб, А.М. Никитина, В.И. Любогощев// Вестник Сибирского государственного индустриального универси-

тата / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева -Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. –№ 4. – С 20-23.

6. Домрачев А.Н. Технология и механизация отработки пологих пластов/ А.Н.Домрачев. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – 73 с.

7. Д. Гудман, М. Моррисон. JavaScript. Библия пользователя, 5-е издание.: Пер. с англ.// Гудман Денни, Моррисон Майкл – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1184 с.

УДК 622.831

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗГРУЗОЧНЫХ СКВАЖИН НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

**Обрядин А.А.**

**Научный руководитель: Риб С.В.**

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

Приведены результаты численного моделирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород, в окрестности горной выработки с учётом пробуренных разгрузочных скважин методом конечных элементов на примере горно-геологических условий ООО "Шахта «Алардинская» по пласту 3-3а.

Ключевые слова: массив горных пород, численное моделирование, метод конечных элементов, горная выработка, разгрузочные скважины.

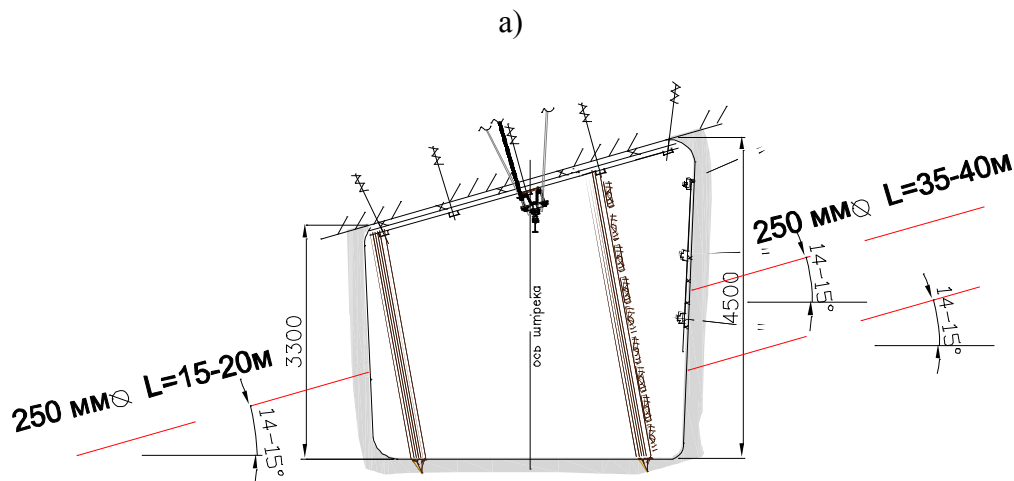
Угольная шахта является опасным производственным объектом. Все горные работы ведутся строго в соответствии с нормативными документами. В этих документах учтены не все условия ведения горных работ, так как недостаточно изучены геомеханические процессы в геомассиве при отработке пластов сложного строения. Из-за отсутствия достаточной информации о структуре, свойствах и состоянии пород часто происходят горные удары, обрушения пород и др.

Обоснованный выбор параметров подземной технологии угледобычи с учётом горно-геологических условий под влиянием горнотехнических факторов для сохранения выработок в рабочем состоянии имеет важное значение.

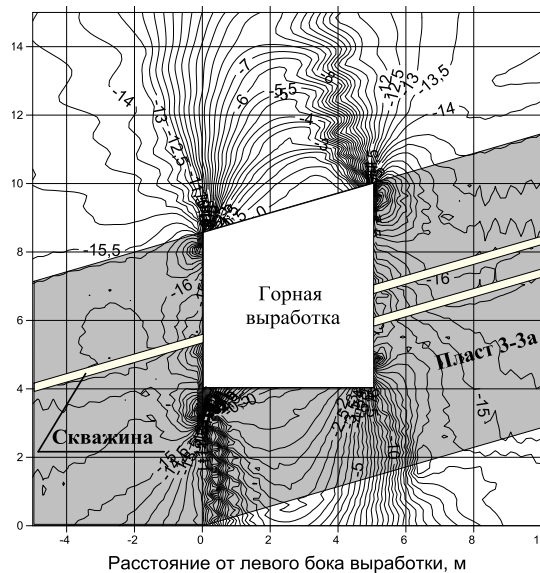
На выемочном участке 3-32 в вентиляционном штреке ООО «Шахта «Алардинская» после горного удара было организовано бурение разгрузочных скважин (рисунок 1,а). Работы по разгрузке угольного массива в вентиляционном штреке 3-32 производились с соблюдением мер безопасности [1].

В данной работе с помощью численного моделирования оценивалось влияние пробуренных разгрузочных скважин на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности горной выработки в условиях ООО

«Шахта «Алардинская».



б)



а - в шахтных условиях; б - изолинии полных вертикальных напряжений, МПа (модель)

Рисунок 1 - Расположение разгрузочных скважин в окрестности горной выработки

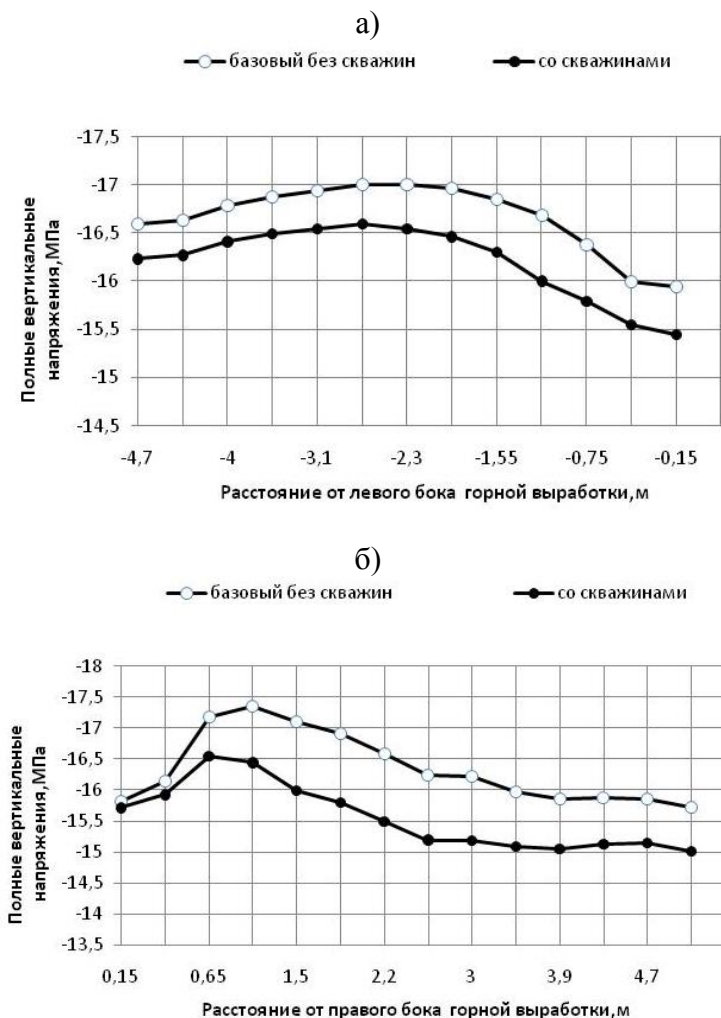
Численное моделирование геомеханического состояния массива горных пород осуществлялось посредством решения дифференциальных уравнений механики сплошной среды методом конечных элементов [2]. Метод реализуется с помощью алгоритма и программного обеспечения, разработанных на кафедре геотехнологии СибГИУ, которые позволяют решать различные геомеханические задачи [3, 4]. Модифицированный к задачам настоящей работы пакет программ CoalPillar [5] предназначен для моделирования процессов изменения смещений, напряжений и деформаций под влиянием природных полей напряжений и горных выработок в углепородном массиве. Авторские компьютерные программы выполнены на языке Фортран - 90 в

среде программирования Microsoft Developer Studio. Визуализация и обработка полученных результатов проводится с помощью программы SURFER.

В модель закладывались следующие параметры: угольный пласт 3-3а мощностью 5 м, предел прочности угля - 15 МПа, глубина от земной поверхности до кровли пласта 600 м. По пласту проведена горная выработка шириной 4,5 м, высотой 4,5 м, которая охраняется угольным целиком шириной 35 м от влияния выработанного пространства длиной 200м. По обе стороны горной выработки пробурены разгрузочные скважины. Принципиальная схема модели представлена на рисунке 1, б.

Скважины в целике закладывались в два ряда в шахматном порядке. Расстояние между скважинами в ряду 0,5 м, диаметр 250 мм. Расстояние между рядами - 0,5 м. Длина скважин в модели составляла 10 м. Изучались закономерности распределения напряжений и деформаций в геомассиве при проведении скважин и без них.

Для оценки процесса распределения напряжений решена плоская задача теории упругости о распределении напряжений вокруг подготовительной горной выработки.



а - в левом боку горной выработки; б - в правом боку горной выработки

Рисунок 2 - Распределение полных вертикальных напряжений, МПа

В результате проведённых вычислительных экспериментов получено:

- разгрузочные скважины влияют на распределение напряжений и деформаций в окрестности горной выработки (рисунок 2);
- показатели полных вертикальных напряжений после проведения разгрузочных скважин в бока выработки уменьшаются примерно на 5-7 %;
- наибольшее влияние на напряжённо-деформированное состояние массива оказывают скважины, пробуренные со стороны правого бока, т.е. в целике.

Таким образом, численное моделирование геомеханических ситуаций в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий позволит:

- вовремя оценить напряжённо-деформированное состояние пород в окрестности горной выработки на стадии разработки и после проведения профилактических мероприятий;
- использовать полученные оценки при инженерном расчёте параметров подземной угледобычи.

#### Библиографический список

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам [Электронный ресурс]: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. – Электрон. версия. – Санкт-Петербург, ВНИМИ, 2013. Режим доступа: <http://www.vnimi.ru/library.php> (дата обращения: 29.03.2017).

2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике [Текст] / А.Б. Фадеев.– М.: Недра, 1987. – 221 с.

3. Риб С.В. Закономерности распределения напряжений в неоднородных угольных целиках/Риб С.В.//Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. ст.-Новокузнецк: 2008. -С. 148-153.

4. Риб С.В. Численное моделирование методом конечных элементов напряжённо-деформированного состояния углепородного массива при переходе очистным забоем передовой выработки / С.В. Риб, В.А. Волошин, В.Н. Фрянов, А.А. Максимов, Д.М. Борзых, А.М. Никитина // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2015. – №3. – С. 414-422.

5. Риб С.В., Фрянов В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженнодеформированного состояния неоднородных угольных целиков//Горный информационно-аналитический бюллетень. -2015. -№ 3. -С. 367-372.

## РЕГИСТРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОТ ПОДЗЕМНОГО МАССОВОГО ВЗРЫВА

**Сёмин А.А., Клишкин М.А.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Статья посвящена сейсмическим колебаниям земной поверхности.

Ключевые слова: массовые взрывы, сейсмические колебания, допустимые скорости колебаний, сейсмоприемники

Сейсмические колебания земной поверхности проявляются на расстояниях до 1500-2000 м от массовых взрывов. Проведена регистрация сейсмических колебаний поверхности в городе Таштагол при проведении подземного массового взрыва 05.02.2017 г. по обрушению слоя №2 блока №12 восточного участка в этаже (-350)...(-280) м на Таштагольской шахте Горно-Шорского филиала АО «Евразруда». Регистрация сейсмических колебаний осуществляется сейсмоприемниками СМ-3КВ на персональный компьютер через аналогово-цифровой преобразователь модели Е-440.

Основной массив слоя № 2 блока № 12 отбивается с помощью нисходящих, восходящих и горизонтальных пучков скважин на зажимающую среду 1 слоя блока № 12 и заполненную компенсационную камеру 2 слоя блока № 12. Балансовые запасы железной руды составило 109 тыс. т. Регистрация сейсмических колебаний проводилась в школе №1. Расстояние от массового взрыва до пункта наблюдения по горизонтальной линии составило 900 м. Высотная отметка в школе №1 составляет 430 м. Разница по высотным отметкам слоя № 2 блока № 12 в этаже (-350)-(-280) м от отметки минус 350 м составляет 780 м. Абсолютное расстояние от пункта наблюдения до массового взрыва составляет соответственно 1190 м.

Общее количество ВВ составило 83000 кг. Инициирование пучков скважин производится с помощью: ДШЭ-12 и ИСКРА-Ш. Инициирование взрывной сети производится электродетонаторами ЭД1-8-Т с нулевым замедлением. Взрывная сеть монтируется по буровым выработкам из двух нитей ДШЭ-12. Взрыв проведен в семи интервалах замедления 50, 75, 100, 125, 150, 175 и 200 мс.

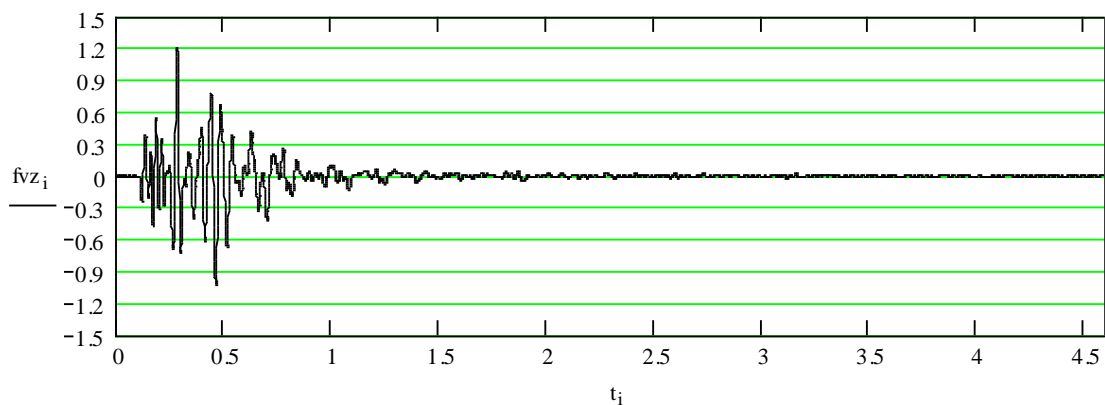
Замеры производились с помощью переносной сейсмостанции, включающей в себя сейсмоприемники модели СМ-3КВ, аналого – цифровой преобразователь Е-440 и персональный компьютер.

Допустимые скорости колебаний грунта для бескаркасных с несущими стенами для социальных зданий г. Таштагол с I классом ответственности по данным РТМ 36.22.91 составляют - 1 см/с.

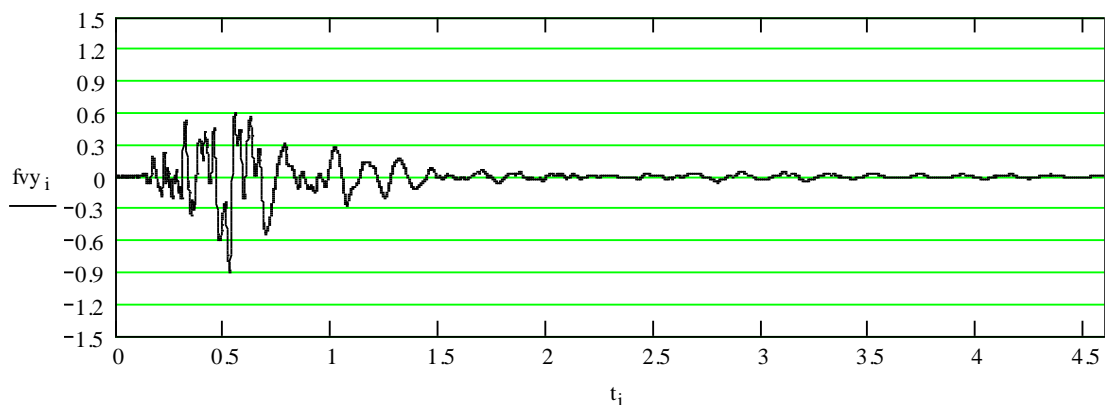
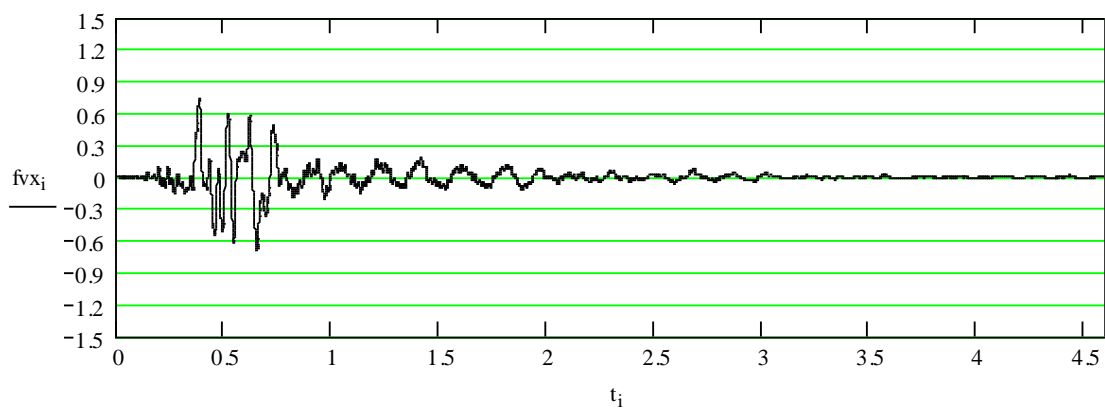
Сейсмограмма сейсмических колебаний приведена на рисунке 1. Вертикальные колебания имеют максимальную величину и составляют 1,2 см/с, горизонтальные в направлении массового взрыва составили 0,75 см/с и горизонтальные в поперечном направлении – 0,9 см/с.

см/с

Вертикальные датчики



Горизонтальные датчики



секунды

Рисунок 1 – Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний поверхности от массового взрыва 05.02.17 г. в пункте наблюдения школа № 1



Вертикальные колебания превысили предельно допустимую величину 1 см/с в 1,2 раза. Для снижения уровня сейсмических колебаний земной поверхности на расстоянии 1190 м от взрыва необходимо разработать мероприятия по их снижению.

*Выводы.*

1. Взрывы с массой ВВ более 83000 кг на расстоянии до 1190 м вызывают опасные колебания школы №1.
2. Необходимо уменьшить величину заряда в массовом взрыве.

УДК 622.235

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

**Сёмин А.А., Климкин М.А.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Сейсмические колебания земной поверхности проявляются на расстояниях до 1500-2000 м от массовых взрывов. ООО «Разрез Степановский» отработывает открытым способом угольное месторождение «Разведчик» на расстоянии 1,5 км от пос. Гавриловка. Регистрация сейсмических колебаний осуществляется сейсмоприемниками СМ-3КВ на персональный компьютер через аналогово-цифровой преобразователь модели Е-440.

Ключевые слова: массовые взрывы, сейсмические колебания, допустимые скорости колебаний, сейсмоприемники

Поселок Гавриловка находится на юге Кузбасса в 20 км от г. Новокузнецка. Вблизи от пос. Гавриловка на расстоянии 1,5 км ООО «Разрез Степановский» отработывает 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 произ-

водстве 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-3КВ, 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 за период с 2014 по 2016 года представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Величина максимальной скорости колебаний грунта

Дата регистрации	Масса ВВ, кг	Расстояние, м	Макс. скорость колебаний, см/с
28.10.2014	44210	1780	0.040
12.11.2014	45351	2200	0.017
19.11.2014	45516	2010	0.021
01.12.2014	45177	2120	0.020
05.12.2014	40243	1790	0.040
16.12.2014	45379	2130	0.120
18.12.2014	40238	1840	0.018
19.01.2015	32192	1850	0.014
22.01.2015	44249	2120	0.024
28.01.2015	40219	1710	0.020
12.02.2015	40214	2230	0.025
06.03.2015	40003	1710	0.018
02.04.2015	26036	1865	0.033
16.04.2015	32234	1670	0.040
29.04.2015	41204	1720	0.054
05.07.2016	42358	1741	0.037
19.07.2016	36229	1888	0.050
22.07.2016	23139	1738	0.024
12.08.2016	45311	1890	0.048
23.08.2016	40199	1727	0.036
08.09.2016	44254	1733	0.061
16.09.2016	45526	1863	0.030
23.09.2016	45515	1850	0.020

Величина максимальной скорости колебаний грунта составляла от 0,02 до 0,12 см/с, что существенно в 17 - 100 раз меньше предельно допустимого значения 2 см/с. Расстояние до массового взрыва составляло от 1670 до 2230 м и масса заряда во взрыве изменялась от 32192 до 45526 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).

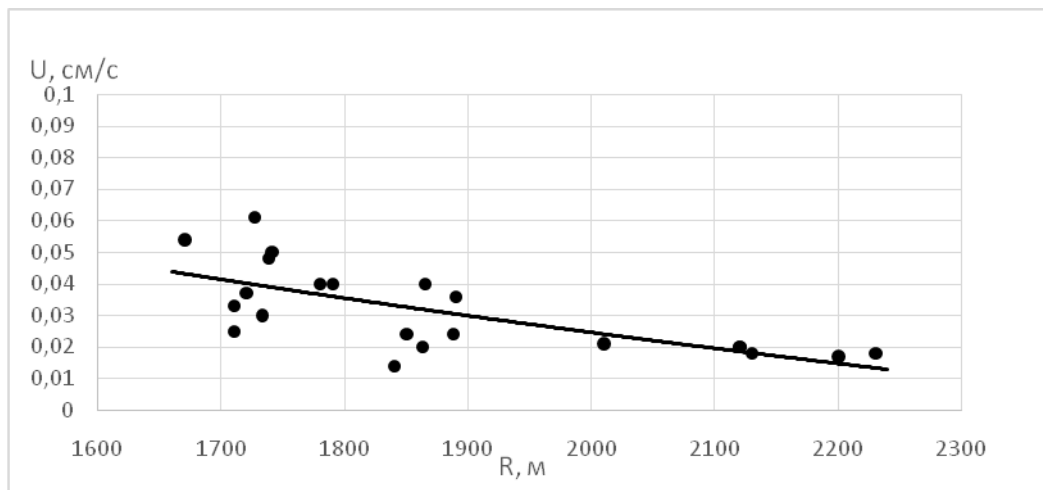


Рисунок 1 – Зависимость максимальной скорости колебаний от расстояния

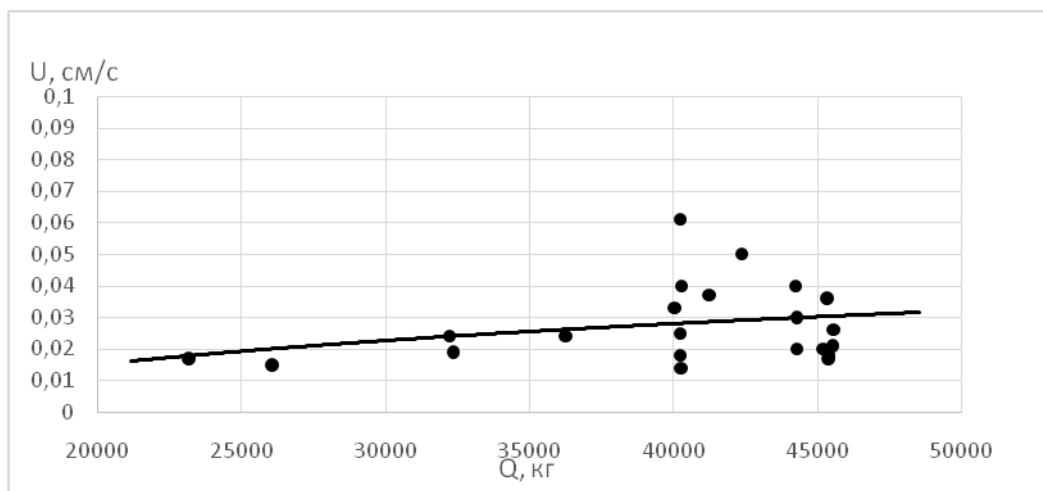


Рисунок 2 – Зависимость скорости сейсмических колебаний от массы ВВ

Приведенное расстояние ( $\bar{r}$ ) и приведенная масса заряда ( $\bar{q}$ ), определяются 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.

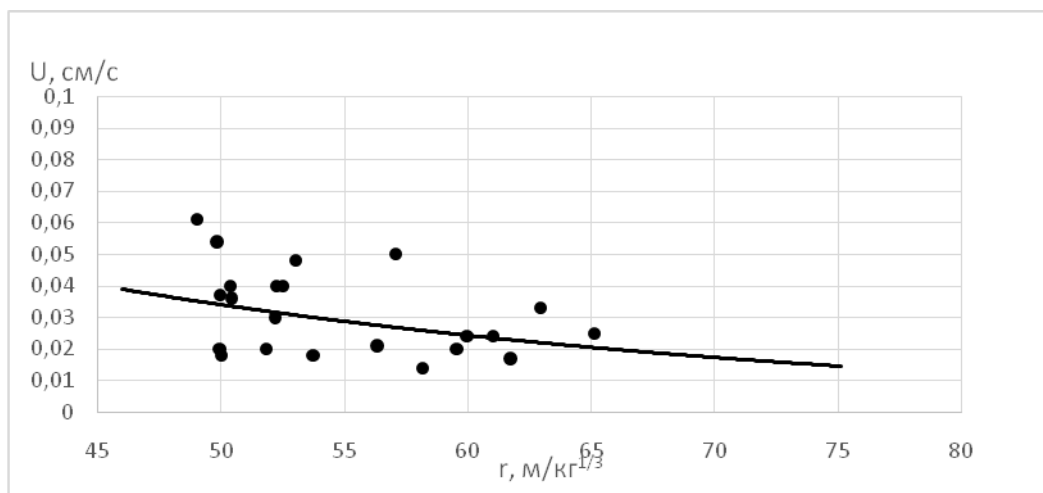


Рисунок 3 – Зависимость скорости сейсмических колебаний от приведенного расстояния

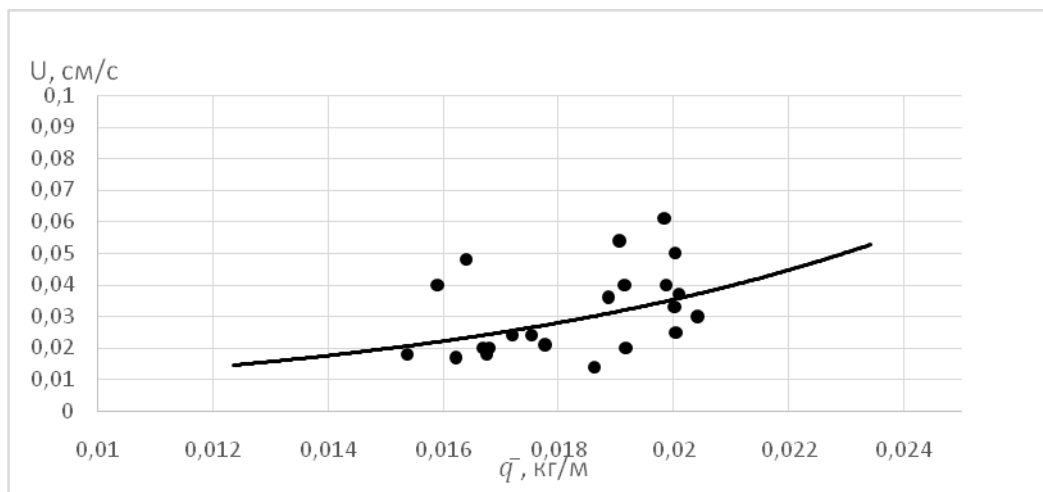


Рисунок 4 - Зависимость скорости сейсмических колебаний от приведенной массы заряда

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.

*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.

## МЕТОДИКА И АППАРАТУРА РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Сёмин А.А., Клишкин М.А.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

При производстве массовых взрывов на угольных разрезах проявляются опасные воздействия на прилегающие территории, которые проявляются в виде сейсмических колебаний земной поверхности. Допустимые скорости колебаний грунта в основании охраняемых сооружений в зависимости от класса ответственности сооружений, категории состояния сооружений и группы грунтов определяются по данным РТМ 36.22.91. Регистрации сейсмических колебаний осуществляется сейсмоприемниками СМ-ЗКВ на персональный компьютер через аналогово-цифровой преобразователь модели Е-440.

Ключевые слова: массовые взрывы, сейсмические колебания, допустимые скорости колебаний, сейсмоприемниками

Методика регистрации сейсмических колебаний горного массива основана 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 шахте Таштагольского филиала ОАО «Евразруда» [1-3] и при оценке уровня сейсмических колебаний поверхности при разработке угольных разрезов Кузбасса [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 ± 270,25
катушки затухания	130 ± 10,95
калибровочной катушки	18 ± 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 ± 0,1
Масса, кг, не более	7,5

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

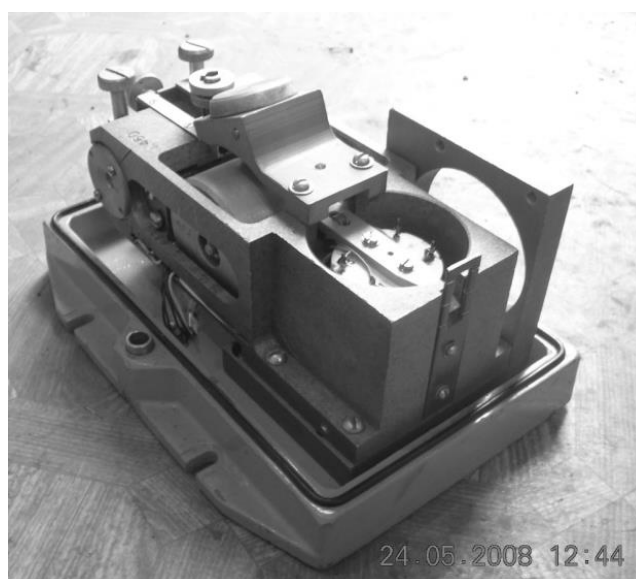
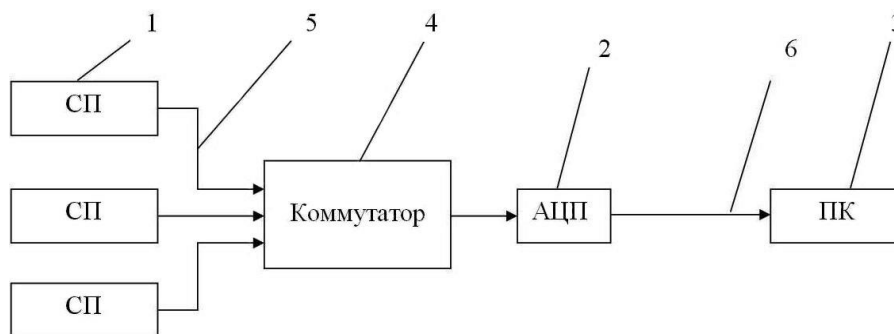


Рисунок 1 – Внешний вид вертикального сейсмоприемника СМ-3КВ

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.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПАТРОНИРОВАННЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВВ**

**Ильина Е.Н.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

В данной статье рассмотрены патронированные эмульсионные взрывчатые вещества. Проанализированы его преимущества и недостатки, состав и область применения нескольких рецептур высокоэффективных патронированных ЭВВ «Нитронит».

Ключевые слова: эмульсионное взрывчатое вещество, эмульсия, сенсibilизаторы, нитронит, взрывание, горное дело, патронированные ЭВВ.

Разрушение пород с помощью энергии взрыва является универсальным и практически единственным высокоэффективным способом подготовки скальных горных пород к выемке.

Наиболее применяемыми в настоящее время являются простейшие ВВ гранулиты, состоящие из аммиачной селитры (АС) и горючих компонентов, таких как жидкие нефтепродукты (НП), угольный порошок (УП). К ним относятся ВВ гранулит-игданит, состоящий из АС и дизельного топлива (ДТ), гранулит УП-1, состоящий из трех компонентов АС, НП и УП. Гранулиты имеют ряд достоинств, таких как низкая чувствительность к механическим воздействиям, низкая стоимость, возможность изготовления на местах применения и в смесительно-зарядных машинах, компоненты не являются взрывчатыми веществами. К недостаткам относится: абсолютная неводоустойчивость, в связи с чем применяются только в сухих скважинах, повышенное количество ядовитых газов окислов азота и оксид углерода, невысокая мощность ВВ, пыление при зарядании.

В последнее время увеличилось применение эмульсионных ВВ (ЭВВ), разработанных в 80-х годах прошлого столетия. Причем объем их применения в России существенно увеличился по причине увеличения обводненных скважин, строительства пунктов изготовления эмульсионных ВВ и существенных преимуществ, к которым относится: абсолютная водоустойчивость, высокая безопасность, низкое выделение ядовитых газов, высокая степень механизации и автоматизации при изготовлении и зарядании, компоненты не являются взрывчатыми веществами.

Эмульсионные ВВ представляют из себя эмульсию из горячего (до 60-80 °С) водного раствора АС, НП и эмульгатора. Эмульсия - система, состоящая из двух несмешивающихся или только частично смешивающихся жидких фаз, одна из которых диспергирована в виде капель в другой. Раздробленная на капли жидкость составляет дисперсную фазу, а жидкость, заполняющая пространство между капельками образует дисперсионную среду.



Две жидкости масло и вода могут образовывать эмульсии двух типов: прямая - масло диспергировано в воде («масло в воде») и обратная - вода диспергирована в масле («вода в масле»). ЭВВ представляют собой обратные эмульсии типа «вода в масле». Дисперсную фазу составляет гидрофильная, полярная жидкость раствор АС, в виде капель (глобул) диаметром порядка 0,1-100 мкм. Непрерывную фазу - иначе дисперсионную среду, в таких эмульсиях составляет гидрофобная, неполярная жидкость, именуемая «маслом». В качестве дисперсной фазы преимущественно используют водные растворы нитрата аммония, а также его смеси с нитратами щелочных и щелочноземельных металлов. Дисперсионную среду ЭВВ образуют преимущественно продукты переработки нефти, минеральные масла, воск, парафины в чистом виде или в виде их смеси. Обратные эмульсии, вследствие присутствия в их составе значительной доли воды (8-15%), имеют большой критический диаметр, вследствие чего не находят практического применения.

Для решения этой проблемы требуется сенсбилизация эмульсии. Это может осуществляться физическими и химическими способами введения в объем ЭВВ газонаполненных микрополостей. Аэрация ЭВВ может осуществляться механическим перемешиванием или вдуванием воздуха, использованием вспенивающих агентов и пористых частиц цеолита, перлита, микросфер из стекла, окиси алюминия, силикатов и т.п.

Основной объем изготовления ЭВВ Сибиритов, эмульсолитов, порэмитов в настоящее время приходится на стационарные пункты изготовления (СПИ), которые находятся вблизи крупных горных предприятий, потребляющих значительный объем эмульсионных ВВ. На этих стационарных пунктах изготавливается эмульсия, которая не является еще взрывчатым веществом, закачивается в теплоизолированную емкость специальной СЗМ и транспортируется на блок. На блоке при зарядании вводится газогенерирующая добавка и в скважине течении 30 мин. эмульсия сенсбиализуется.

Для горных предприятий, находящихся на значительном удалении (более 300 км) от СПИ данная технология не целесообразна. Эмульсионные ВВ Сибириты, эмульсолиты, порэмиты могут применяться только в скважинах диаметром более 160 мм, так как критический диаметр этих ВВ меньше. На подземных горных работах применяются скважины малого диаметра и шпурсы при проведении горных выработок, в которых указанные эмульсионные ВВ не могут применяться. Отсутствуют доставочные и зарядные машины для подземных горных работ. По этой причине стали разрабатывать ЭВВ с уменьшенным критическим диаметром и в патронированном виде.

В связи с расширением области применения ЭВВ и уменьшении диаметров ЗАО «Институт взрыва» разработано несколько рецептов высокоэффективных патронированных ЭВВ «Нитронит» (ТУ 7276-003-58995878-2004). Результаты испытаний приведены в таблице 1.

ЭВВ «Нитронит» успешно прошли испытания и допущены для взрывания в скважинах диаметром более 83 мм при этом скорость детонации при плотности  $(1,11 \pm 0,05)$  г/см<sup>3</sup> составила  $(4400 \pm 100)$  м/с.

Уменьшение критического диаметра детонации было достигнуто за счет введения микросфер вместо химической газификации эмульсии.

Таблица 1 – Характеристики ВВ «Нитронит» марок Э-100 и Э-70

Наименование ВВ	Плотность г/см <sup>3</sup>	Диаметр сква- жин, мм	Скорость детонации, м/с
«Нитронит» марки Э-100	1,16	171	5220
	1,18	216	5570
	1,16	270	5860
«Нитронит» марки Э-70	1,17	171	4420
	1,15	203	5350
	1,18	216	5450
	1,15	250	5430
	1,17-1,18	250	5620

Эмульсионное ВВ «Нитронит» П является пастообразным веществом от белого до кремового цвета, «Нитронит» ПАС - с включениями гранул аммиачной селитры. Показатели технических характеристик патронов «Нитронит» П и ПАС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики патронированных ЭВВ «Нитронит»

Параметры	Патроны «Нитронит» П					Патроны «Нитронит» ПАС		
	Марка «С»			Марка «СА»				
Диаметр выпускаемых патронов, мм	32	45	60	90	120	60	90	120
Масса патронов, кг	0,25	0,8	1,0 и 1,5	3,5	6,0	1,5	3,5	6,0
Плотность эмульсионного ВВ в патроне, г/см <sup>3</sup>	1,10-1,14		1,13-1,25	1,15-1,25		1,15-1,25		
Скорость детонации открытого заряда, км/с	5,2-5,4	5,4-5,9	5,9-6,1	5,4-5,6		4,8-5,0		5,0-5,2
Критический диаметр детонации открытого заряда, мм	14			30		40		
Капсюлечувствительность	чувствителен			чувствителен		Не чувствителен		
Кислородный баланс	Минус 1,7			Минус 0,96		Минус 1,7		
Тропиловый эквивалент по теплоте взрыва	0,74			0,78		0,71		
Водоустойчивость, %	100			100		100		
Объем газообразных продуктов, л/кг	990			985		1017		
Объем ядовитых газов, л/кг	57			50		38		

Разработанные марки патронированных ЭВВ могут применяться в шахтах не опасных по газу или пыли в шпуровых зарядах, скважинах малого диаметра, использоваться в качестве боевиков.

#### Библиографический список

1. Куприн В.П., Коваленко И.Л. О детонационных характеристиках эмульсионных взрывчатых веществ и гранэмитов / Куприн В.П., Коваленко И.Л. Информационный бюллетень УСИВ. – 2010. – № 3.
2. Буллер М.Ф. Промышленные взрывчатые вещества / Буллер М.Ф. - Суммы: СумГУ. - 2009. – 225 с.
3. Носыко Ф.Л. Эмульсионные взрывчатые вещества «Нитронит» / Ф.Л. Носыко, А.Г. Беляев, В.Г. Додух // Горная Промышленность. – 2013.– № 5 (110) – С. 24 – 28.

УДК 622.34 + 622.8 + 622.831.32

## ОТРАБОТКА РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ШЕРЕГЕШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

**Колмаков А.А.**

**Научный руководитель: Шеховцова В.О.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: bladestone007@mail.ru*

Рассмотрены системы разработки, применяемые при отработке участков «Новый Шерегеш», «Подрусловый» Шерегешевского месторождения ОАО «Евразруда». Дана краткая характеристика участка «Подрусловый». Приведено конструктивное исполнение системы разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском в опасных условиях участка «Подрусловый».

Ключевые слова: этажно – камерная система, подэтажное обрушение, торцевой выпуск, удароопасность, динамические проявления.

Эксплуатация Шерегешевского месторождения осуществляется с 1952 года несколькими этапами на основании утвержденных проектов. На современном этапе месторождение отрабатывается на основании «Проекта вскрытия и подготовки горизонтов +185 м и +115 м Шерегешеской шахты ПО «Сибруда» для поддержания мощности», разработанного Сибирским филиалом института ГИПРОРУДА в 1982 г.[2].

Шерегешевское месторождение расположено в сейсмически активном районе Алтае – Саянской складчатой области, отличающимся современным тектоническим движением земной коры. Оно находится в зоне влияния Мартайгино – Шорского разлома, который является одним из наиболее опасных в геодинамическом и сейсмическом отношении участков.

В настоящее время основной объем очистных работ на месторождении производится в этаже +185/+255 м на участках «Главный», «Подрусловый» и

«Новый Шерегеш». Разработка рудных тел производится двумя системами:

- этажного принудительного обрушения с отбойкой руды глубокими скважинами на компенсационные камеры и зажимающую среду;
- этажно-камерной.

В общем объеме годовой добычи удельный вес систем составляет 12 % в первом случае, 88 % - во втором [2].

В соответствии со значительными различиями горно-геологических условий на ряде рудных участков выбор класса систем произведен для каждой из них методом исключения, т.е. из рассмотренных исключены классы систем не соответствующие горно-геологическим условиям, а из оставшихся классов на основе технико-экономического сравнения выбирается наиболее экономичная.

При этих системах разработки рудное тело по падению разделяется откаточными выработками на этажи высотой 70 - 80 м. Этаж в плане разделяется на блоки. В блоке выделяют следующие элементы по высоте - днище (от откаточного горизонта до верха подсыпки), потолочина (от уровня бурового горизонта до обрушения вышележащего блока).

По ширине блок состоит из камеры (15...6 м) и междукамерного целика (панели) (12...21 м). Блоки располагаются длинной стороной вкрест простирания рудной залежи, т.е. длина блока равна мощности рудного тела.

Классический блок имеет размеры 70 x 40 x 27 м. Этажно-камерная система разработки и система этажного обрушения различаются между собой параметрами камер и целика (панели) и некоторыми показателями извлечения руды (таблица 1).

Таблица 1 - Варианты систем разработки

Наименование системы разработки	Потери руды, %	Разубоживание, %	Себестоимость 1 т/ед	Область применения	Решающие факторы
С обрушением руды и вмещающих пород	9-10	23-28	1	уч. «Н.Шерегеш», «Подрусловый» слепые рудные тела	Глубокое залегание от поверхности, устойчивость породы
Этажно - камерная	10,5-11	31-32	1,2	уч. «Болотный»	Угроза прорыва глинистой пульпы

Применяемые системы разработки относятся, с точки зрения экономической оценки, к дешевым системам с обрушением руды и вмещающих пород. Эти системы разработки в основном рассчитаны на высокую производительность даже со значительным разубоживанием руды, а так же выбраны исходя из качества руды.

Важным преимуществом системы этажного обрушения является

небольшая площадь обнажения потолочины над компенсационной камерой (40x6 м) против 40 x 15 м при этажно-камерной системе, а следовательно большая ее устойчивость.

Ниже горизонта +255 м месторождение отнесено к опасным по горным ударам. Отработка запасов блоков производится в сплошном порядке.

На горизонте +115 м этажа (+115...+185) м выполняется основной объем строительства капитальных, подготовительных и нарезных выработок, предназначенных для ввода этажа в эксплуатацию.

Принятая система разработки и ее конструктивное оформление - один из главных факторов в обеспечении производственной мощности рудника в условиях увеличения глубины разработки до 600 метров, осложнения геомеханической обстановки и опасности по горным ударам.

По мере увеличения глубины разработки все труднее сохранять днище выемочных блоков от раздавливания. В процессе выпуска под влиянием динамических ударов при ликвидации завесаний днище и сопряжения выпускных выработок также нарушаются.

Все эти недостатки могут быть устранены путем применения новой конструкции днища и, получившая в последние годы широкое распространение, торцевая схема выпуска. На глубине более 600 м снижение негативного влияния указанных выше факторов, повышение эффективности и безопасности ведения горных работ возможно при применении систем разработки с подэтажным обрушением руды[4].

С целью испытания и отработки параметров технологии системы разработки с подэтажным обрушением выполнен «Проект технического перевооружения и отработки участка «Подрусловый» в этаже гор. +115 м - +185 м «Шерегешевского месторождения».

Участок «Подрусловый» представлен двумя субпослойными рудными зонами. Рудные тела неправильной формы. Вмещающие породы и руды трещиноватые. Третья категория устойчивости.

Этот участок наиболее обводнен. Водоносность проявляется в виде капеза, струйного излияния из бортов, кровли, из отбуренных скважин. Среднегодовой приток по участку – 55-60 м<sup>3</sup>/час.

Система разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды – это система, при которой выемку запасов ведут в нисходящем порядке подэтажами с обрушением руды и вмещающих пород. Каждый подэтаж разбивается на блоки, состоящие из 3 – 4 заходок, располагающихся вкрест или по простиранию. В каждой заходке руду отбивают в зажиме послойно веерами скважин. Выпускают руду под обрушенными налегающими породами непосредственно в подэтажные буродоставочные орты (штреки) через их торцы (рисунок 1).

Эту систему применяют для отработки крутопадающих рудных тел мощностью более 3 м с любым углом падения при неустойчивых и средней устойчивости бедных рудах, залегающих в средней устойчивости, неустойчивых, легко обрушающихся вмещающих породах.

Конструктивные элементы:

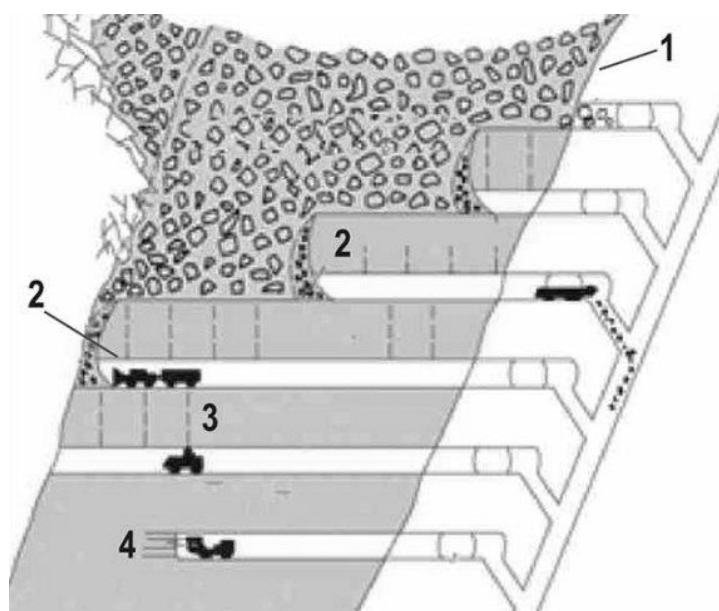
- полевой подэтажный штрек;
- буро-доставочные орты, проводимые по почве заходок из полевого или рудного подэтажного штрека до противоположной границы заходок;
- рудный отрезной штрек, проходимый на каждом подэтаже по руде со стороны висячего бока;
- отрезной восстающий, проходимый на каждом выемочном подэтаже из отрезного рудного штрека на высоту заходки.

Днище в заходках – траншейное.

Факторы, способствующие возникновению удароопасной ситуации на участке «Подрусловый»[3]:

- большая глубина отработки;
- слепое залегание рудных тел;
- блочная тектоническая структура;
- интенсивная трещиноватость;
- неоднородное тектоническое поле напряжений участка в зонах сжатия и сдвига.

При данных условиях ведения горных работ применяют профилактические меры по прогнозированию и предотвращению горных ударов.



1 – верхний подэтаж отработан; 2 – отгрузка отбитой руды из торца выработки; 3 – бурение вееров скважин; 4 – проходка подэтажного штрека

Рисунок 1 – Система разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды на базе самоходного оборудования

Система применяемых мер должна обеспечивать постоянный контроль уровня напряженного состояния массива пород и руд на участках ведения горных работ, снижение количества динамических проявлений горного дав-

ления и их энергетического уровня и сведения до минимума ущерба от последствий возможных ударов [1].

При подэтажной системе разработки снижение динамических проявлений горного давления происходит за счет [3]:

- ориентировки основных горизонтальных выработок в направлении действия максимальной составляющей напряжений в нетронутом массиве горных пород;

- ведения очистных работ сплошным фронтом в полузажатой или зажатой среде без образования целиков;

- проведения выработок и камер специального назначения вне зоны опорного давления от очистных работ, в том числе в лежащем боку, не ближе 40 м от фронта очистных работ;

- образования разгрузочных щелей;

- Выявления в приконтурном массиве выработок категории «Опасно» и последующего их исключения из эксплуатации (для снижения повышенного уровня напряжений в массиве)

- Схемы формирования зажимающей среды, которая позволят отказаться от дополнительного разбуривания и подрыва пород всячего бока.

Анализируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что принятая система разработки на участке «Подрусловый», при современных тенденциях развития систем и технологий подземной разработки рудных месторождений, позволяет значительно сократить сроки подготовки запасов к очистной выемке, обеспечить высокий уровень безопасности горных работ (за счет применения современных технологий крепления горных выработок и исполнения прогнозных технологических и организационных мероприятий), повысить эффективность ведения горных работ, а также обеспечить производительность Горно – Шорского филиала ОАО «Евразруда» более 4,5 млн. тонн в год.

#### Библиографический список

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам, (РД 06-329-99) Москва, ГПНТЦ по безопасности в промышленности Ростехнадзора России, 2000 г.

2. Копытов А.И. Выбор новой технологии отработки Шерегешского месторождения ОАО «Евразруда» / А. И. Копытов, А. А. Вети, А. С. Коротин, А. О. Куркин, И. А. Пикалов //Геотехнология.– 2013 – С. 49 – 53.

3. Копытов А.И. Отработка участка «Подрусловый» Шерегешевского месторождения в условиях удароопасности / А. И. Копытов, В. И. Башков //Вестник Кузбасского государственного технического университета, – 2015. - № 5 – С. 47 – 52.

4. Копытов А.И. Расчет параметров и конструктивное оформление варианта системы разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды / А. И. Копытов, В. И. Башков //Геотехнология, – 2015.– С. 75 – 77.

## **СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НОРИЛЬСКА**

**Назаров В.П.**

**Научный руководитель: Шеховцова В.О.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: vasilij.nazarov.93@mail.ru*

Рассмотрены способы предотвращения опасных выделений природных газов и устройства для их определения и распознавания при подземной добыче рудных месторождений, а также рассмотрен способ, внедрённый на руднике «Заполярный».

Ключевые слова: газовыделение; предотвращение опасных выделений газа, дегазация, рудничная атмосфера, Норильское месторождение.

Выделения природных газов при подземной разработке месторождений, является одной из основных проблем, как на текущий день, так и на момент зарождения горных работ. Существует огромное разнообразие газов, которые скапливаются под землей и вследствие каких либо факторов, в ходе строительства или эксплуатации шахт, могут нанести вред предприятию и человеческим жизням. И не смотря на все трудности и опасности горного производства - спрос на подземные ископаемые с каждым годом возрастает в больших количествах. Поэтому, для эффективной работы и сохранения жизни и здоровья шахтёров, необходимо было разрабатывать и внедрять разнообразные средства и методы для прогнозирования и предотвращения опасных выделений природных газов. В ходе долгих лет, с развитием технологий, развивались и способы обеспечения безопасности рабочих. Были разработаны сложные приборы и устройства, позволяющие не только определять, но и распознавать вредные и опасные газы.

Для определения метана и углекислого газа в шахте применяют следующие приборы (таблица 1) [1].

Так например, Норильское месторождение, обладающее огромными запасами никеля, платиноидов и другими весьма ценными компонентами, так же содержит огромное количество вредных и опасных газов, таких как водород, тяжёлые углеводы, метан и другие газы. Для того что бы обеспечить газобезопасность, необходимо учитывать различные свойства характеризующие данное месторождение, такие как глубину начала выделения газов, геологический возраст залежи, максимальный дебит газа и другие (таблица 2).



Таблица 1 - Газоанализаторы шахтные

Название прибора	Описание прибора
Шахтный интерферометр ШИ-11, ШИ-12	Служит для определения метана и углекислого газа в рудничном воздухе действующих проветриваемых горных выработках шахт, где максимальное содержание углекислого газа или метана (местные скопления) до 6 об. для ШИ-12 до 100 об.. Используется для контроля рудничной атмосферы при ведении горноспасательных работ, в трубопроводах шахтных и дегазационных системах, в колодцах, промышленных котлах и резервуарах.
Газоанализатор-течеискатель Дозор	Предназначен для периодического контроля наличия метана и выдачи светозвуковой сигнализации при превышении установленных норм загазованности.
Газоанализатор DrgerX-am 2000	Прибор для определения от 1 до 4х газов рудничной атмосферы, газоанализатор DrgerX-am 2000 способен определять взрывоопасные газы и пары, кислород, окись углерода и сероводорода.

Таблица 2 - Опасные выделения природных горючих газов при подземной разработки рудных месторождений Норильска [2]

Рудник	Максимальный дебит выделяющегося газа, м <sup>3</sup> /сут.	Состав выделяющегося газа	Число погибших при взрыве газа, чел.
Полиметаллические руды			
"Заполярный" "Комсомольский" "Октябрьский" "Маяк"	10000	CH <sub>4</sub> ; H <sub>2</sub> ; C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ; H <sub>2</sub> S	27

В процессе длительной и интенсивной добычи полезных ископаемых, приходится осваивать новые месторождения с более сложными геологическими условиями залегания. При различных условиях месторождений выбирается максимально эффективный способ предотвращения опасных выделений взрывчатых природных газов. В условиях низкодебитных суфлярных выделениях свободного природного газа из множества мелких трещин в породах, по которым пройдены различные горные выработки, возможен ряд способов для сокращения выделения газов:

- В трещиноватые породы бурят скважины от 5 до 7 метров длинной, и

в дальнейшем нагнетают под большим давлением в массив раствор расширяющегося цемента, что позволяет создать вокруг выработки газоизолирующую «рубашку».

- Для осуществления технологических массовых взрывов в условиях близкого залегания источников природного газа, таких как, угольные пласты, изверженные породы и газоносные осадочные породы, необходимо применять бурение скважин, длиной до 15 - 20 метров и диаметром от 100 до 120 миллиметров, в сторону источника газов. Пробуренные скважины необходимо оставлять открытыми для выхода газов под действием массового взрыва. В процессе разработок газообильных рудников России при массовом взрыве от 50 до 100 тонн взрывчатого вещества, заметно существенное увеличение выделения природного газа в 2 - 3 раза, а это в свою очередь способствует резкому сокращению выделения газов из газонесущих слоёв в горные выработки, на некоторое время. Вредные и токсичные газы, образованные посредством массового взрыва, в период проветривания после взрывных работ выносятся из рудника и нейтрализуются в процессе окисления.

- В случае обнаружения свободных скоплений газа в толще месторождения следует осуществлять бурение разведочных скважин длиной 40 - 50 метров, учитывая геологические сведения в направлении их вероятной локализации. При попадании в место свободного скопления газа, вывод его осуществляется непосредственно по данной скважине по газопроводу или сразу в исходящую струю воздуха.

- Способы активной дегазации следует применять в случае больших источников газа или при значительных объёмах выделения взрывчатых газов из свободных скоплений.

Данный способ был успешно внедрён на руднике «Заполярный» Норильского месторождения, при мощности угольных газоносных пластов до 10 метров, метановыделение в горные выработки составляло от 15 до 23 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. Для обеспечения эффективной дегазации рудника была пройдена система выработок по верхнему угольному пласту, затем данные выработки были загерметизированы и в дальнейшем из них производился отсос газа. За 16 лет в руднике "Заполярный" объём выделенного газа составил 17 млн. м<sup>3</sup> метана, а за 10 лет (1960-1969 гг.) объём извлечённого газа составил 8 млн. м<sup>3</sup> метана, что способствовало значительному повышению газобезопасности рудника.

Представленные способы весьма эффективны и широко используются не только на шахтах и рудниках России, но и зарубежом, так как безопасность ведения горных работ занимает первостепенную роль.

#### Библиографический список

1. Поставщики машин и оборудования [Электронный ресурс]. URL: <http://www.oborudunion.ru>.
2. Горная промышленность [Электронный ресурс]. URL: <http://mining-media.ru>.
3. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mining-enc.ru>.

## ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЕ БРИКЕТНОЕ ТОПЛИВО

**Торопова Н.В.**

**Научные руководители: канд. биол. наук, доцент Игнатова А.Ю.,  
канд. техн. наук, доцент Папин А.В.**

*Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово, e-mail: nadya.toropova.95@mail.ru*

В данной работе описаны преимущества создания обогащенных концентратов на основе коксовой и угольной пыли методом масляной агломерации. Так, данный метод является эффективным и комплексным процессом, при котором выход углекоксового концентрата составляет до 85 %. Представлены характеристики углекоксового концентрата. На основе концентрата получены образцы твердотопливных брикетов, представлены их технические характеристики и описаны преимущества.

Ключевые слова: углеродсодержащие отходы, масляная агломерация, низкочольное топливо, связующий реагент, коксовая пыль, угольная пыль.

Угольная промышленность – это важное звено топливно-энергетического комплекса. По объемам добычи угля Россия занимает пятое место в мире (после Китая, США, Индии и Австралии);  $\frac{3}{4}$  добываемого угля используется в производстве энергии и тепла,  $\frac{1}{4}$  - в металлургии и химической промышленности [1].

Угледобывающее производство технологически сопровождается образованием такого вида отходов как угольная пыль, которая отличается тонкодисперсностью и высокой влажностью. В данную группу отходов можно отнести и коксовую пыль, которая выделяется на УСТК при тушении и во время перегрузки на конвейерах. Значительная масса этих отходов не перерабатывается в дальнейшем, а просто складывается в отвалах, свалках, шламо- и хвостохранилищах. Но рано или поздно встает вопрос об их переработке в товарную продукцию в целях исключения потери денежных средств, вложенных в добычу топлива.

Для решения проблемы утилизации отходов необходимо разработать нетрадиционную технологию их комплексной переработки с получением ряда товарной продукции.

Целью исследований является разработка технологии получения инновационных продуктов – обогащенного концентрата на основе смеси тонкодисперсных углеродсодержащих отходов (коксовой и угольной пыли) и топливных брикетов на его основе.

В данной работе предлагаемое решение проблемы – обогащение тонкодисперсных отходов методом масляной агломерации. Данный метод позволяет отделить полезную (органическую) составляющую отходов от мине-

ральной части с получение низкозольного высококалорийного концентрата, приемлемого для технологии коксования и энергетики.

Исследования проводились на базе лаборатории термодинамики многоазных систем Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. В качестве исходного сырья были взяты образцы коксовой и угольной пыли, являющихся производственными отходами ПАО «Кокс» (г. Кемерово). Был проведен технический анализ образцов.

Сущность метода обогащения углеродсодержащих отходов по методу масляной агломерации заключается в следующем: в водной среде смешивается сырьё (смесь коксовой и угольной пыли) и связующий реагент. При интенсивном перемешивании, постепенно увеличивая частоту вращения мешалки до 4000 оборотов в минуту, происходит турбулизация пульпы. Образуются агломераты сферической формы. Готовый концентрат обезвоживают на специальном аппарате с получением сфер различного диаметра, так как длительность обезвоживания влияет на размер сфер. В качестве связующего реагента было использовано отработанное машинное масло.

В таблице 1 представлены результаты технического анализа углеродсодержащих отходов - коксовой и угольной пыли, а в таблице 2 – углекоксового концентрата.

Таблица 1 - Технический анализ углеродсодержащих отходов

Наименование	$A^d$ , мас. %	$W^a$ , мас. %	$V_t^{daf}$ , мас. %	$S_t^d$ , мас. %	$Q_s^r$ , ккал/кг
Коксовая пыль	14,6	1,7	2,2	0,4	7500
Угольная пыль	23,4	1,8	20,9	0,4	6350

Таблица 2 - Характеристики углекоксового концентрата

$A^d$ , мас. %	$W^a$ , мас. %	$V_t^{daf}$ , мас. %	$Q_s^r$ , ккал/кг	$S_t^d$ , мас. %
5,0	9,5	18,3	8550	0,2

Для большего удобства при транспортировке и использовании углекоксового концентрата возможно изготовление из него брикетов с добавлением связующего. В качестве связующего использовали карбамид в количестве 8-10 % к массе исходного сырья. Выбор в качестве связующего карбамида обусловлен его доступностью и невысокой стоимостью. Карбамид легко доступен вследствие больших его производств в промышленности и низкой стоимости на рынке. Расход связующего (карбамида) определяют потребностью для формирования прочного топливного брикета [2-4].

В таблице 3 приведены технические характеристики углекоксовых топливных брикетов. Механическую прочность при истирании в барабане, сжатии и сбрасывании определяли по ГОСТ 18132-72 и 21289-75.

Таблица 3 - Технические характеристики углекоксовых топливных брикетов

Физические испытания			Топливные характеристики		
сжатие, кг/см <sup>2</sup>	истирание, % содержание кусков разме- ром >25 мм	Сбрасывание, % содержание кусков разме- ром >25 мм	A <sup>d</sup> , мас. % (золь- ность)	Q <sub>s</sub> <sup>r</sup> , ккал/кг (теплота сгорания)	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , мас. % (серни- стость)
70	94	94	5,0	8600	0,2

Рекомендуемый состав позволяют формировать прочные брикеты с низкой себестоимостью, низкой зольностью и сернистостью из тонкодисперсных углеродсодержащих отходов. Полученные топливные брикеты могут использоваться в качестве горючего вещества для бытовых и производственных целей, при этом сжигание топливных брикетов (с добавлением карбамида) экологически безопасно. Так же улучшится экологическая обстановка в углеперерабатывающих регионах в виду сокращения количества неиспользуемых тонкодисперсных отходов.

#### Библиографический список

1. Головин Г.С. Переработка углей – стратегическое направление повышения качества и расширения сфер их использования / Головин Г.С., Крапчин С.С.– М.: НТК «Трек», 2006. – 396 с.
2. Пат. РФ № 2468071 Способ брикетирования коксовой пыли / А.В. Папин, В.С. Солодов, А.Ю. Игнатова А.Ю. // КузГТУ. Заявл. 26.10.2011, опубл. 27.11.2012.
3. Папин А.В. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки / А.В. Папин, А.Ю. Игнатова, А.В. Неведров, Т.Г. Черкасова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 43-49.
4. Popov V., Papin A., Ignatova A., Makarovskikh A. Composite fuel based on residue from type and secondary polymer pyrolysis composite fuel based on residue from type and secondary polymer pyrolysis В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 20. Сер. "XX International Scientific Symposium of Students, Postgraduates and Young Scientists on "Problems of Geology and Subsurface Development"" 2016. С. 012065.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ КОНЦЕНТРАТА ПРИ ПОМОЩИ ФИЛЬТРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ 6ПТК-10**

**Косинова Н.С.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Антипенко Л.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Совершенствование технологии обезвоживания концентрата и шламов является одной из важнейших задач, решение которой позволит значительно сократить, а в ряде случаев полностью исключить, термическую сушку концентрата на обогатительных фабриках.

Ключевые слова: продукты обогащения, обезвоживание, шламы, фильтрование, патронный фильтр.

Одной из особенно острых труднорешаемых для настоящего времени проблем обогащения угля является обезвоживание концентрата и тонких шламов. С одной стороны, добыча ведется высокопроизводительными механизированными комплексами, при этом в отбитом угле растет содержание мелких классов (30-40 %): с другой - поддержание товарной продукции на конкурентоспособном уровне требует особого отношения к содержанию влаги в конечном продукте. Из-за условий смерзаемости материала при транспортировке в зимний период для районов Сибири содержание влаги в каменных углях не должно превышать 8 %. В летний период допускается отгрузка угля с влажностью 9-10 %. Жесткие нормы влажности вынуждают уделять вопросам обезвоживания концентрата особое внимание.

Наиболее сложна технология обезвоживания тонких классов флотационного концентрата и шламов, которые после обогащения остаются в виде относительно устойчивой пульпы с содержанием твердого 100 - 300 г/литр. На первой стадии разделения с целью повышения концентрации твердого в пульпе и удаления основной массы воды производят сгущение с использованием гравитационных сил в аппаратах отстойного типа - радиальных сгустителях.

Во второй стадии обезвоживания наиболее широкое распространение получил способ фильтрования. При этом достигается высокая степень улавливания твердого в обезвоженный продукт и обеспечивается стабильная работа водно-шламовой схемы с замкнутым циклом без использования наружных отстойников.

Исследования отечественных и зарубежных ученых позволили решить многие теоретические и практические вопросы разделения суспензий и существенно повысить эффективность механических способов обезвоживания.

Однако резервы повышения эффективности обезвоживания тонких продуктов обогащения далеко не исчерпаны, особенно при фильтровании с использованием давления.

Устройство для обезвоживания суспензии сжатым воздухом должно обеспечивать в широких пределах регулирование соотношения продолжительности образования осадка к продолжительности его просушки, чтобы вести процесс в оптимальных условиях при переработке суспензий с различными характеристиками.

Исследования «Сибниинуглеобогащения» показали, что проблема повышения эффективности обезвоживания тонких шламов может быть решена. Получены результаты промышленных испытаний, снизившие влажность концентрата на 35-40 %, получен осадок с влажностью 15-16 % против 26-28 % существующих. Суть решения проблемы состоит в использовании сжатого воздуха под давлением 3-6 кг/см<sup>2</sup>, который подается в сосуд и выдавливает внешнюю влагу из пор мелких частиц угля. Кроме этого установлено, что на повышение эффективности работы большое значение оказывает форма самого фильтра: дисковая или цилиндрическая (патронная). Сравнивая результаты фильтрования по удельному расходу воздуха и удельной производительности можно утверждать, что при одинаковой конечной влажности осадка удельный расход воздуха на цилиндрических фильтрах в два раза меньше, а удельная производительность по сухому осадку на 70 % выше.

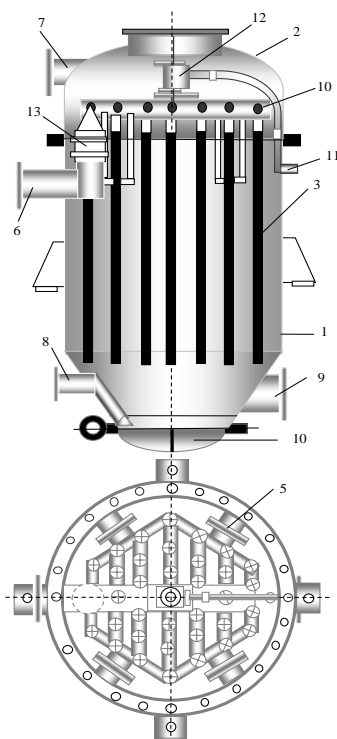
Из зарубежных разработок наиболее прогрессивной установкой для обезвоживания концентрата являются гипербар-фильтры фирмы «Андриц» (Австрия).

Фильтр НВF-S 120/10 с поверхностью фильтрования дискового фильтра 120 м<sup>2</sup> размещается в сосуде объемом ≈135 м<sup>3</sup>. Фильтр НВF-S 48/4 с поверхностью фильтрования 48 м<sup>2</sup> размещается в сосуде объемом ≈85 м<sup>3</sup>.

Эти фильтры не обеспечивают ведения технологического процесса в оптимальных условиях, что обуславливает повышенный расход энергии и большую зависимость конечного продукта от гранулометрического состава и концентрации обрабатываемой суспензии.

Более совершенный патронный фильтр периодического действия для обезвоживания концентрата сжатым воздухом до 6 кгс/см с автоматическим управлением фильтрования и просушки осадка с поверхностью фильтрования 10 м<sup>2</sup>, который размещен в корпусе диаметром 1200 мм, имеет объем 2,5 м<sup>3</sup> и массу 1900 кг (ПТК-10).

Установка состоит из 6 рабочих модулей – фильтров под давлением ПТК 10-ЗК-01, каждый из которых соединен через дистанционно управляемую арматуру с линиями подачи суспензии угольного концентрата, подачи сжатого воздуха на просушку и отдувку осадка, отвода фильтрата и слива суспензии из корпуса фильтров.



- 1- корпус; 2- крышка; 3-фильтровальный патрон; 4- секция; 5-амортизатор;  
 6- штуцер выпуска фильтрата; 7- штуцер подачи сжатого воздуха;  
 8-штуцер выпуска суспензии; 9-штуцер подачи суспензии;  
 10- разгрузочный люк; 11- штуцер к пневмовибратору;  
 12- пневмовибратор; 13- эластичное соединение

Рисунок 1 - Конструкция патронного фильтра

В настоящее время подготавливается инновационный проект по использованию отечественной установки. Предварительная проработка сравнительного анализа параметров фильтров 6ПТК-10 и «Андриц» показала значительную коммерческую привлекательность отечественной установки для потребителя т.к. импортное оборудование:

- занимает в два раза больший объем,
- имеет в пять раз большую удельную металлоемкость,
- в четыре раза большую стоимость,
- практически равную удельную производительность и влажность осадка.

Существенным преимуществом установки 6ПТК-10 является возможность вести ремонтные и профилактические работы на одном из шести модулей, не останавливая технологический процесс на всей фабрике, чего нельзя выполнить на импортном гипербар-фильтре. Кроме этого, отечественный фильтр может быть установлен на любой действующей обогатительной фабрике, в имеющихся помещениях без дополнительной реконструкции зданий, что значительно расширяет объемы внедрения новой отечественной эффективной технологии обезвоживания по сравнению с импортной.



## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ УСТУПОВ КАРЬЕРОВ

**Бурова А.О., Малофеев Д.В.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: MalofeevD.V@ya.ru*

Предлагается метод расчета устойчивости уступа с учетом сейсмической энергии взрывов, производимых при подготовке горных пород к выемке.

Ключевые слова: безопасность взрывных работ, устойчивость уступов, скорость смещения, разупрочнение горных пород взрывом.

Повышение производственной мощности на угольных и железорудных месторождениях ведёт к увеличению объёмов вскрышных работ, что приводит к необходимости рыхления огромных объёмов скальных и полускальных пород за минимально возможное время. Развитие открытого способа разработки месторождений на настоящем этапе, невозможно без интенсификации взрывных работ – наиболее эффективного процесса подготовки горных пород к выемке. Взрыв является одним из самых опасных техногенных процессов (сейсмическое воздействие, действие ударно-воздушной волны, выделение ядовитых газообразных продуктов взрыва, разлёт кусков взрывающей породы), поэтому обеспечение безопасности взрыва является важной научно-технической задачей.

Вопрос учета сейсмического воздействия на здания и сооружения в дальней зоне при взрыве крупных блоков на карьерах, изучен достаточно широко и существуют методики, позволяющие достоверно определить интенсивность этого воздействия при проектировании взрывов на карьерах [1-3]. Проблема сейсмического действия на уступы и борта карьера на котором взрыв производится изучена менее полно и нуждается в рассмотрении.

Среди существующих методик учета действия взрыва на устойчивость уступов, осложнённых дизъюнктивами, метод разработанный в КИЦРАН В.А. Фокиным наиболее полно учитывает направление и интенсивность сейсмического воздействия [4]. Сущность решения заключается в определении направлений и величин векторов скорости сейсмического воздействия на контактной плоскости и оценке устойчивости призмы возможного обрушения. В данной методике детально рассмотрен учет взрывных работ в уступах с кососекущей поверхностью ослабления, но не рассмотрен достаточно опасный случай деформации оседания со сдвигом, результатом которой является образование призматической поверхности скольжения с дополнительной поверхностью скола. В тех случаях, когда в массиве пород, слагающих откос, имеется ряд поверхностей ослабления, по которым сопротивле-

ние сдвигу значительно меньше, чем по другим направлениям, поверхность скольжения может частично или полностью проходить по этим поверхностям ослабления. Если поверхности ослабления пересекаются между собой в пределах призмы возможного обрушения, то применение метода алгебраического сложения сил для оценки устойчивости не позволит учесть реакции между блоками. В таком случае необходимо производить расчеты по методу многоугольника сил [5].

Метод многоугольника сил позволяет производить расчеты устойчивости откосов как в однородных, так и в слоистых трещиноватых породах при любой форме поверхности скольжения. В данном методе в расчет принимаются следующие силы: реакции со стороны верхнего и нижнего смежных блоков, являющиеся равнодействующими сил трения и сцепления, действующих по боковым поверхностям блоков; вес рассматриваемого блока; силы сцепления, возникающие в основании блока, направленные параллельно основанию; реакция со стороны основания блока, являющаяся равнодействующей сил трения и нормальной составляющей веса блока. Все вышеперечисленные силы обусловлены весом призмы возможного обрушения, но на карьерах ведущих подготовку горных пород к выемке буровзрывным способом, на устойчивость откоса будет оказывать влияние воздействие сеймовзрывных волн. В связи с этим учет напряжений создаваемых взрывом в откосах сложной структуры с применением метода многоугольника сил является актуальной задачей, последовательность расчёта предлагается осуществлять в следующем порядке:

- 1 этап – построение поверхностей скольжения на профиле уступа;
- 2 этап – определение направления и величины результирующего вектора смещения от взрыва на всех участках поверхности скольжения;
- 3 этап – построение многоугольника сил с учетом участков поверхностей скольжения с потерей сцепления в результате взрывных работ.

Ниже будет рассмотрен вариант оценки устойчивости уступа из слоистых пород, подсеченного пологопадающим разрывным нарушением

Первый этап начинается с построения в выбранном масштабе профиля уступа карьера высотой  $H$  и углом откоса  $\alpha$  (рисунок 1). Далее из нижней бровки откоса (точка  $O$ ) проводится линия  $ON$ , параллельная нарушению с углом падения  $\beta$ . Контур призмы возможного обрушения будет определяться в верхней части падением слоёв (линия  $BM$ ), а в нижней разрывным нарушением (линия  $ON$ ). Методом перебора вариантов находится наиболее вероятная поверхность скольжения, состоящая из линий  $BM$  и  $ON$  пересекающихся в точке  $C$ , где поверхность скольжения претерпевает излом под углом  $\theta$ . При сдвиге призмы обрушения по двум поверхностям скольжения сдвиг возможен при её разделении призму активного давления и призму упора. Положение призмы активного давления находится проведением из точки  $C$  под углом  $\varphi_{1,2}$  к горизонту линии  $CD$ , величина угла находится по формуле 1 [6].

$$i_{1,2} = \frac{1}{2} \left( 135^\circ + \frac{3}{2} \rho'_n - \theta - \beta \right). \quad (1)$$

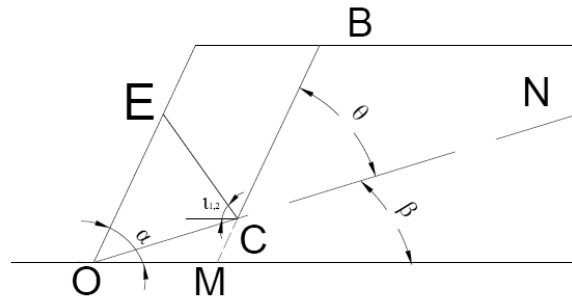


Рисунок 1- Профиль уступа карьера высотой  $H$  и углом откоса  $\alpha$

На втором этапе для учёта воздействия взрыва необходимо рассчитать протяженность зон на поверхностях ослабления, в которых под действием сейсмозрывной волны происходит потеря сцепления. Основным параметром, характеризующим интенсивность динамического нагружения от взрыва принимается скорость смещения массива горных пород. Необходимо определить направление и величину результирующего вектора скорости смещения  $v_R$  на всех участках поверхностей скольжения, через каждый 1 м протяжения этой неоднородности по высоте. Влияние дневной поверхности учитывается путём использования мнимого заряда – зеркального отражения реального заряда скважины. Схема определения направления и величины смещения в точке G, лежащей на поверхности скольжения первого порядка представлена на рисунке 2.

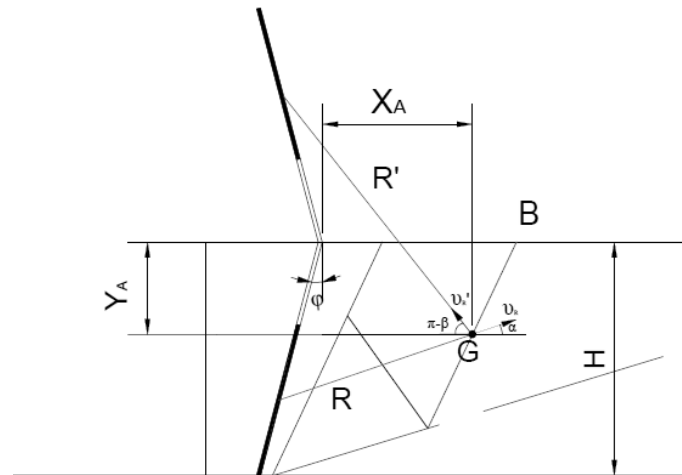


Рисунок 2 - Схема определения направления и величины смещения в точке G, лежащей на поверхности скольжения первого порядка

В результате расчета на профиле уступа изображаются результирующие вектора скорости смещения. Далее в порядке, изложенном в [4] вычисляют зоны потери сцепления от динамического действия взрыва  $l_{ni}$ .

На третьем этапе выполняется построение многоугольника сил с уче-



**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ,  
ПРИНИМАЕМЫХ ЗНАЧЕНИЙ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВВ  
И КУСКОВАТОСТИ ВЗОРВАННЫХ ПОРОД**

**Малофеев Д.В., Черемных Т.В., Матвеев А.В.,**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассмотрен анализ современных методик расчета параметров БВР и принимаемых значений удельного расхода ВВ и кусковатости взорванных пород.

Ключевые слова: расчет, параметры, буровзрывные работы.

При исследовании гранулометрического состава или кусковатости пород используется, как правило, экспериментальный метод, который связан с необходимостью выполнения большого объёма довольно трудоемких измерений. Полученные экспериментальные данные предоставляются обычно в форме таблицы или графиков. Оба эти способа представления гранулометрического состава обладают тем недостатком, что они крайне ограничивают возможности аналитического исследования кусковатости пород и выявления связей между числовыми характеристиками используемыми при различных методах измерения кусковатости.

Известные в технической литературе аналитические выражения гранулометрического состава получены путем аппроксимации экспериментальных кривых подходящим уравнением. Однако такой подход является искусственным не позволяющим отразить эти закономерности, которым подчиняется кусковатость горных пород, а структура горного массива сформировавшиеся в процессе эволюции земной коры под действием многочисленных случайных факторов характеризуется параметрами которые следует рассматривать как случайной величины. В подобных условиях наиболее плодотворным естественным подходом к степени кусковатости горных пород является применение вероятностных и статистических методов, которые в последние годы находят все более распространение при решении самых разнообразных инженерных задач. При гранулометрическом анализе данных совокупность кусков или кусковатую смесь делят на классы крупности – фракции. Крупность одного куска можно охарактеризовать одним из следующих показателей: это линейный размер; длиной, шириной, диаметром и так далее; площадью проекции куска на какую-либо плоскость; полной поверхностью и объемом. Каждая из этих характеристик находят применение в задачах гранулометрии. Однако на практике, крупность кусков чаще всего оценивается линейным размером, по которому определяют принадлежность к той или иной фракции, вместе с тем, одной из основных задач грануломет-

рического анализа является определение объемного или весового содержания различных фракций в данной совокупности кусков. Здесь, в качестве основной характеристики используется уже его объём, поэтому возникает необходимость установления взаимосвязи между линейным размером и объёмом кусков. Экспериментальными исследованиями установлено, что для большинства встречающихся на практике задач, такой объём куска с достаточной степенью точности можно рассчитать пропорционально кубу его линейного размера с постоянным для данной совокупности коэффициентом пропорциональности. Другими словами, в пределах одной и той же кусковатой смеси являются геометрически подобными линейный размер куска, который является непрерывной положительной случайной величиной и подчиняется закону, учитывающему соотношения закономерности объёма куска от его линейных размеров. Необходимо отметить, что в статистических расчетах генеральную совокупность обычно заменяют представительной выборкой, а генеральные значения параметров распределения выборочными значениями.

В экспериментальной гранулометрии истинное объемное или весовое содержание различных фракций определяет ситовым анализом. Этот метод обладает большой трудоемкостью даже при небольших объемах кусковатых смесей и не больших размеров кусков. Естественно, что для гранулометрического анализа горных пород в массиве или во взорванной горной массе, где объемы исчисляются десятками и сотнями тысяч кубических метров породы, а куски достигают по весу нескольких тонн, ситовый анализ непригоден. Приближённую оценку гранулометрического состава породы горной массы в производственных условиях получают обычно на основе данных линейного и планиметрического методов измерений. При линейном методе измерений, содержание фракции приближенно характеризуется отношением суммы линейных размеров кусков этой фракции к сумме линейных размеров всех измеренных кусков.

При разработке взорванных скальных пород основным элементом цикла, продолжительность которого непосредственно зависит от качества подготовки пород, является время черпания. Существующие формулы несправедливы, так как применимы для конкретных моделей экскаваторов. За время черпания принята продолжительность цикла от момента касания ковша с поверхностью развала породы в забое до момента разгрузки в кузов автосамосвала. Значение времени черпания характеризуется некоторым рассеянием около одного среднего значения. Это обусловлено рядом причин, такими как гранулометрический состав разрабатываемых пород, типом и мощностью оборудования, параметрами системы разработки, квалификацией машинистов и так далее. В связи с этим вопросом о количестве наблюдений с целью установления зависимости времени цикла приобретает важное значение. Анализ результатов хронометражных наблюдений показывает, что между кусковатостью разрабатываемых пород и временем черпания экскаватора существует тесная корреляционная связь. Причём степень влияния кусковатости и времени черпания существенно зависит от типа и мощности экскава-

тора: чем больше емкость ковша, меньшее влияние оказывает кусковатость на продолжительность работ при одинаковой емкости ковша. Время черпания для драглайна изменяется сильнее чем для мехлопаты, улучшение качества дробления, начиная с некоторого значения диаметра среднего комка и время черпания определяется в основном конструктивно возможностями данного типа экскаватора. Отличные особенности зависимости времени черпани от кусковатости пород и емкости ковша экскаватора учитываются при выборе уравнения и приближения регрессии. Предпринятой технологией ведения работ использование экскаватора во времени зависит главным образом от организации и качества поставленной задачи работы и затрат времени на текущий ремонт экскаватора. Однако в настоящее время объемы одновременно взрывааемых облаков достигают нескольких сот тысяч кубических метров, организация взрывных работ не оказывают заметного влияния на коэффициент использования экскаватора. В то же время опыт показывает, что с ухудшением качества дробления пород возрастают затраты времени на их ремонт, а также увеличивается затраты времени, связанные с низким качеством дробления, всё это приводит к снижению коэффициента использования экскаватора, а, следовательно, снижению его производительности. Таким образом можно считать, что в равных условиях использования экскаватора во времени определяется качеством взрывной подготовки горных пород.

#### Библиографический список

1. Технологические процессы открытых горных работ. Е.В. Курехин, В.Г. Проноза., Кемерово 2002 г.
2. Управление качеством взрывной подготовки пород на разрезах. А.С.Ташкинов, В.И.Кузнецов, Кемерово, 1994г.

УДК 622.235

### **МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА, СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ БВР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЗОРВАННЫХ ПОРОД**

**Малофеев Д.В., Черемных Т.В., Матвеев А.В.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассмотрены методическая основа, современные способы расчета параметров БВР и определение гранулометрического состава взорванных пород.

Ключевые слова: расчет, параметры, буровзрывные работы.

Качество взрывной подготовки пород характеризуется плотностью и равномерностью дробления. Если крупность дробления регулируется в основном удельным расходом взрывчатых веществ, равномерность дробления зависит от размерности насыщения породного массива энергией взрыва. Существует несколько способов, с помощью которых достигается равномерное распределение энергии взрыва в массиве, к ним относится применение зарядов с рассредоточением, использование специальных схем короткозамедленного взрывания и так далее. Однако, не меньшую роль в этом вопросе играет оптимальное расположение скважин на уступе. В настоящее время, в практике взрывных работ в качестве основного параметра, характеризующего сетку скважин, широко используют относительный показатель расположения скважинных зарядов - это коэффициент сближения.

При разработке месторождений полезных ископаемых и важным звеном многих технологических процессов является дробление пород либо взрывным либо механическим путем, при этом исходные материалы продуктов дробления представляет собой кусковатый массив. Работа дробления определяется соотношением гранулометрического состава этой смеси до и после дробления. По гипотезы Рэттингера, работа, затрачиваемая на непосредственное разрушение пропорциональна вновь образованной поверхности. Опытным путем установлено, что если в качестве линейного размера куска использовать его диаметр, то наблюдаемые на практике значения коэффициентов степени дробления укладываются в диапазон от 0,85 до 0,9. При разрушении горных пород взрывом, работа, затрачиваемая на дробление естественных отдельностей, пропорциональна величине заряда. Коэффициент пропорциональности является в определенном смысле коэффициентом взрыва и зависит в первую очередь от параметров взрывной отбойки. При малых значениях диаметра средней естественной отдельности, увеличение удельного расхода взрывчатых веществ оказывает слабое влияние на степень дробления. На основе статистической обработки результатов крупных промышленных взрывов установлено, что на коэффициент степени дробления наибольшее влияние оказывает высота взрываемого уступа и диаметр скважинного заряда.

На эффективность работы экскаваторного оборудования определённое влияние оказывает качество взрывной подготовки горной массы, которая включает качество дробления пород, коэффициент разрыхления и параметры развала. Установлено, что при экскавации горных пород коэффициент разрыхления в развале оказывает существенное влияние на выбор места установки экскаватора. При взрывах на рыхление так и при взрывах на сброс дальность перемещения породы с увеличением удельного расхода взрывчатых веществ приводит к значительному увеличению ширины развала породы. Ширина развала зависит от удельного расхода взрывчатых веществ и свойств пород. В легко взрываемых породах, с увеличением удельного расхода взрывчатых веществ ширина развала растёт быстрее при одинаковой длине скважины и существенно меньшее влияние на дальность перемещения



породы при взрыве оказывают угол наклона скважины при относительно сближенных скважинах. Начальное направление движения взорванных пород почти перпендикулярно к плоскости расположения зарядов поэтому увеличению угла наклона скважины на способствует увеличению дальности перемещения породы, таким образом основными факторами которые определяют эффект перемещения пород взрывом является взрываемость пород, удельный расход, угол наклона скважины, высота и ширина формы развала взорванной породы. В наибольшей степени форма развала зависит от угла наклона скважины, удельного расхода взрывчатых веществ и увеличение их приводит к снижению высотных отметок внутренней части развала, расположения заходки и увеличения высоты его внешней части. Наибольшая высотная отметка развала смещается при этом в сторону выработанного пространства. Имеющиеся в литературе данные показывают, что коэффициент разрыхления породы в развале связан с технологией ведения и параметрами буровзрывных работ, а также физико-механическими и структурными свойствами пород.

Производительность автосамосвала при разработке скальных пород, в значительной степени зависит от качества подготовки взрыва. Качество подготовки пород определяет эффективность процесса экскавации, время погрузки автосамосвала и длительность рейса, а также коэффициент разрыхления пород в кузове и коэффициент его заполнения, что прямо влияет на использование грузоподъемности автосамосвала. Однако существующие методики определения производительности карьерного транспорта в должной мере не учитывают качества подготовки пород, что приводит к ошибкам в нормировании работы автотранспорта и определении потребности автотранспорта.

#### Библиографический список

1. Технологические процессы открытых горных работ. Е.В. Курехин, В.Г. Проноза., Кемерово 2002 г.
2. Управление качеством взрывной подготовки пород на разрезах. А.С.Ташкинов, В.И.Кузнецов, Кемерово, 1994г.

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

УДК 669.054.8:519.87

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В УСЛОВИЯХ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ОКУСКОВАНИЯ КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАМОВ**

**Кузнецов С.Н., Неунывахина Д.Т.**

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Протопопов Е.В.,  
д-р техн. наук, профессор Темлянец М.В.,  
канд. техн. наук, доцент Рыбенко И.А.**

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

В работе с использованием программного комплекса «Терра» проведено термодинамическое моделирование восстановления железа при производстве железокоса с применением адсорбционного обезвоживания и термохимического окускования конвертерных шламов.

Ключевые слова: восстановление железа, адсорбционное обезвоживание, термохимическое окускование конвертерные шламы.

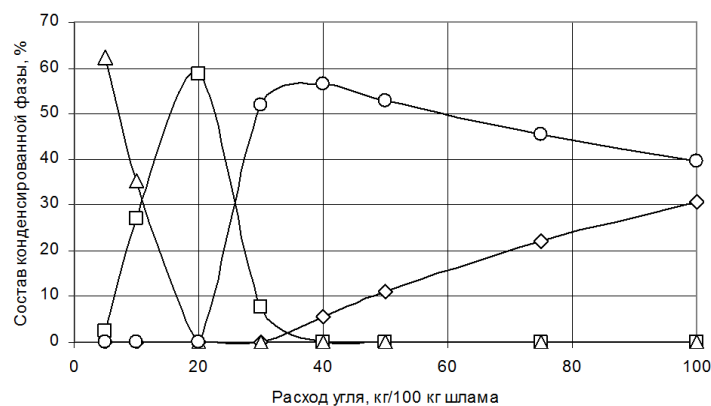
В настоящее время в сталеплавильном производстве широкое применение при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах и конвертерах получили подготовленные шихтовых материалы, характерными представителями которых являются синтиком и оксидно-угольные брикеты [1]. Подготовленные шихтовые материалы представляют собой композиции из Fe-C-O содержащих природных и техногенных материалов, в том числе окалины, шламов, плавильной пыли, коксовой мелочи и т.п. [2, 3].

К одной из разновидностей подготовленных или композиционных шихтовых материалов можно отнести железокос и железокосовые брикеты [4, 5]. Концепция производства железокоса разработана еще в 30-х годах прошлого века и была ориентирована на спекание железорудной пыли, не пригодной для плавки в доменных печах, с жирным или битуминизированным углем в коксовых батареях. Железокос можно классифицировать как Fe-C композицию, прошедшую тепловую обработку вне плавильного агрегата. Железокос композиционный материал, содержащий в основном восстановленное железо и углерод. В работе [6] представлены результаты разработки основ технологии производства железокоса с применением адсорбционного обезвоживания и термохимического окускования конвертерных шламов. Финальной стадией производства железокоса по такой технологии является термохимический способ окускования шлама в процессе его коксо-

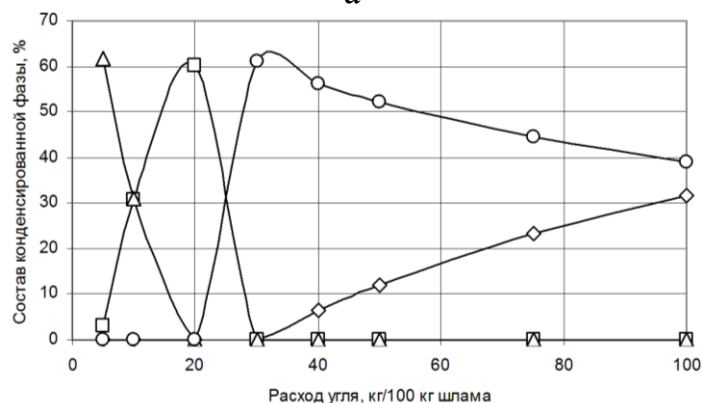
вания в смеси со спекающимися углями, который обеспечивает восстановление железа из его оксидов. При этом практический интерес представляет определение термодинамических условий, необходимых для восстановления железа и границ концентрационных областей, позволяющих рационализировать состав сырьевой смеси и температурный режим процесса.

В данной работе с использованием программного комплекса «Терра», созданного в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана [7], проведено математическое моделирование термодинамики процессов восстановления железа из конвертерных шламов.

В работе проведено исследование процесса восстановления железа из конвертерного шлама различными восстановителями, составы которых представлены в работе [6, 8]. Исследование влияния расхода восстановителя на параметры процесса проводили в модельной системе, представленной 100 кг конвертерного шлама. Количество угольного концентрата варьировали в диапазоне значений 5 – 100 кг. При температуре 1100 °С рассчитывали равновесные составы. Результаты расчетов для процесса восстановления концентратами ЦОФ «Кузнецкая» ГЖ+Ж и марки Ж Межэгейского месторождения приведены на рисунках 1 а, б соответственно.



а



б

Рисунок 1 – Зависимость состава конденсированной фазы процесса восстановления конвертерного шлама от расхода концентрата углей марок ГЖ+Ж Кузнецкой ЦОФ (а), Ж Межэгейского месторождения (б) (◇ – С, □ – Fe, Δ – FeO, ○ – Fe<sub>3</sub>C)

Результаты математического моделирования показали, что исследуемые концентраты как восстановители имеют аналогичные свойства, которые определяются их составом, полное восстановление железа происходит при расходе угольного концентрата 20 кг / 100 кг шлама. При этом значении содержание восстановленного железа максимально и для концентрата ЦОФ «Кузнецкая» ГЖ+Ж составляет 58,5 %, а марки Ж Межэгейского месторождения – 60,1 %. Оксид железа отсутствует. При увеличении расхода восстановителя концентрация железа снижается и растет содержание его карбида. При расходе концентрата ЦОФ «Кузнецкая» ГЖ+Ж 40 кг / 100 кг шлама, концентрация карбида железа максимальна и составляет 56,4 %. Для концентрата марки Ж Межэгейского месторождения максимальное содержание карбида кремния составляет 61 % при его расходе 30 кг / 100 кг шлама. Затем, при дальнейшем увеличении расхода восстановителя содержание карбида снижается за счет разбавления конденсированной фазы из-за избытка углерода в системе. Газовая фаза состоит преимущественно из СО. Таким образом, для полного восстановления железа необходимы температуры не ниже 900 °С, минимальный расход угольных концентратов из углей марок ГЖ и Ж Кузнецкой ЦОФ и Ж Межэгейского месторождения аналогичен и составляет 20 кг / 100 кг конвертерного шлама.

При необходимости получения железокоса с регламентированным содержанием углерода С, % удельные расходы М, кг / 100 кг шлама угольных концентратов могут быть определены по соотношениям:

– для смеси углей марок ГЖ и Ж Кузнецкой ЦОФ

$$M = 21,94 + 1,68C + 0,02C^2 \quad (1)$$

– Ж Межэгейского месторождения

$$M = 21,62 + 1,52C + 0,02C^2. \quad (2)$$

*Выводы:* Установлено, что при использовании в качестве восстановителей концентратов ЦОФ «Кузнецкая» (состоящего из углей марок: газовый жирный (ГЖ) 50 % и жирный (Ж) 50 %) и угля марки Ж Межэгейского месторождения полное восстановление железа происходит при их расходе 20 кг / 100 кг шлама и температурах не ниже 900 °С.

#### Библиографический список

1. Шахпазов Е.Х., Дорофеев Г.А. Новые синтетические композиционные материалы и технология выплавки стали с их использованием. – М.: Интерконтакт Наука, 2008. – 272 с.
2. Черепанов К.А., Абрамович С.М., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н. Рециклинг твердых отходов в металлургии. – М.: Флинта: Наука, 2004. – 212 с.
3. Кузнецов С.Н., Волынкина Е.П., Протопопов Е.В., Зоря В.Н. Металлургические технологии переработки техногенных месторождений, промышленных и бытовых отходов. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – 294 с.

4. Ульянов В.П., Булавин В.И., Бутенко А.Н. Термическая переработка нефть- и железосодержащих промышленных отходов с получением товарной продукции // Интегрированные технологии и энергосбережение.– 2004.– № 3.– С. 48 – 53.

5. Тайц Е.М. Кокс и железокс на основе брикетирования. – М.: Металлургия, 1965. – 173 с.

6. Разработка основ технологии адсорбционного обезвоживания и термохимического окускования конвертерных шламов / М.Б. Школлер, Е.В. Протопопов, С.Н. Кузнецов, М.В. Темлянец, В.П. Иванов // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. – 2016. Вып. 37. – С. 46 – 53.

7. Трусов Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // III межд. симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы : Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.

8. Кузнецов С.Н., Рыбенко И.А., Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Фейлер С.В. Термодинамическое моделирование процессов восстановления железа при термохимическом окусковании конвертерных шламов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 1. – С. 25 – 28.

УДК 669.18.046

## **РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕПЛОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНДОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗОГРЕВА ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

**Запольская Е.М.**

**Научные руководители: д-р техн. наук, доцент Феоктистов А.В.,  
д-р техн. наук, профессор Темлянец М.В.**

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

В работе получен новый показатель – удельный расход условного топлива, затрачиваемого на тепловую обработку тонны стали, характеризующий тепловую эффективность работы стендов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей.

Ключевые слова: стенды разогрева, тепловая эффективность.

В настоящее время на металлургических предприятиях для высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей перед приемом расплава в основном применяют стенды, отапливаемые газом. В соответствии с классификационными признаками стенды высокотемпературного разогрева представляют собой тепловые аппараты, входящие многообразие

тепловых устройств. От тепловой эффективности стэнда во многом зависит экономичность его работы и себестоимость производимой стали. В связи с этим решение проблемы повышения тепловой эффективности стэндов является актуальной задачей, имеющей важное практическое значение.

Мировые тенденции повышения тепловой эффективности показывают, что конструкции стэндов в основном развиваются в направлении снижения различного вида потерь (с уходящими продуктами сгорания; теплопроводностью через стенку, дно, крышку; с выбиваниями и излучением через технологические отверстия) тепла, применения эффективных горелочных устройств, обеспечивающих полное сжигание топлива и высокоинтенсивную циркуляцию продуктов сгорания в полости ковша, обогащения дутья кислородом (с учетом экономического фактора) и применения энергосберегающих режимов разогрева, минимизирующих расходы топлива (рисунок 1).

При оценке тепловой эффективности работы стэндов для разогрева ковшей различной емкости, с футеровкой разной конструкции и применяемых для ее выполнения огнеупоров и теплоизоляции, отапливаемых газом различной калорийности возникают определенные трудности, так как часовой расход или суммарный объем газа на разогрев не являются информативными величинами. В связи с этим возникает необходимость в показателе, характеризующем экономичность работы стэнда и отражающем удельные затраты топлива на разогрев, отнесенные к единице массы стали, транспортируемой в ковше.

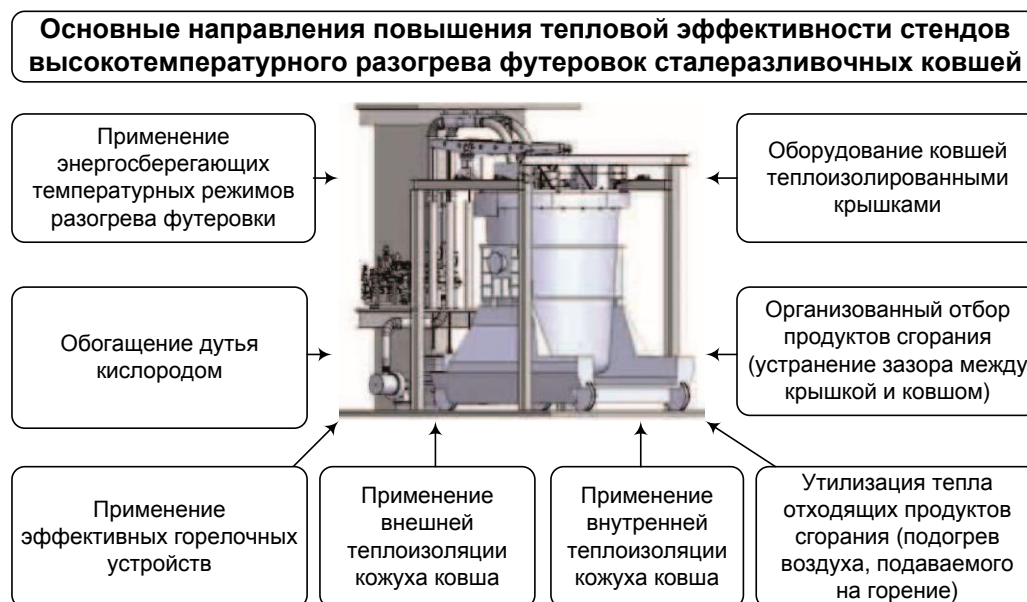


Рисунок 1 – Основные направления развития конструкций стэндов и технологий высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей

Перспективным является использование в качестве такого показателя удельного расхода условного топлива, затрачиваемого на тепловую обработку тонны стали. Для стэндов разогрева в общем случае эта величина может

быть определен по соотношению

$$B_{уд} = \frac{Q_p^H}{29,3} \frac{Q}{(E - M_{ш})}, \quad (1)$$

где  $Q_p^H$  – теплота сгорания топлива (природного газа), МДж/м<sup>3</sup>;

$Q$  – суммарный объем газа, затрачиваемого на разогрев, м<sup>3</sup>;

$E$  – емкость ковша, т;

$M_{ш}$  – масса шлака, т.

Если разогрев производится при постоянном расходе топлива, то расчет можно производить по следующему уравнению:

$$B_{уд} = \frac{Q_p^H}{29,3} \frac{B\tau}{(E - M_{ш})}, \quad (2)$$

где  $B$  – средний расход топлива за период разогрева, м<sup>3</sup>/ч;

$\tau$  – время разогрева, ч.

Анализ результатов многовариантных расчетов с применением математической модели [5], проведенных в работе [2] показывает, что для стенов разогрева ковшей различной емкости, оборудованных теплоизолированной крышкой, с системой рекуперации тепла и без нее удельный расход условного топлива колеблется в интервале 38,9 до 16,5 кг у.т./т транспортируемой стали. Теоретически необходимый (без различных потерь) для разогрева ковша параметр  $B_{уд}$  составляет примерно 5 кг у.т./т. Разделим полученный интервал на три условных области 1 – 5 – 20 кг у.т./т (область стенов, характеризующихся высокой тепловой эффективностью), 2 – 20 – 35 кг у.т./т (область стенов, характеризующихся средней тепловой эффективностью) и 3 более 35 кг у.т./т (область стенов, характеризующихся низкой тепловой эффективностью). На рисунке 2 представлены полученные области тепловой эффективности.

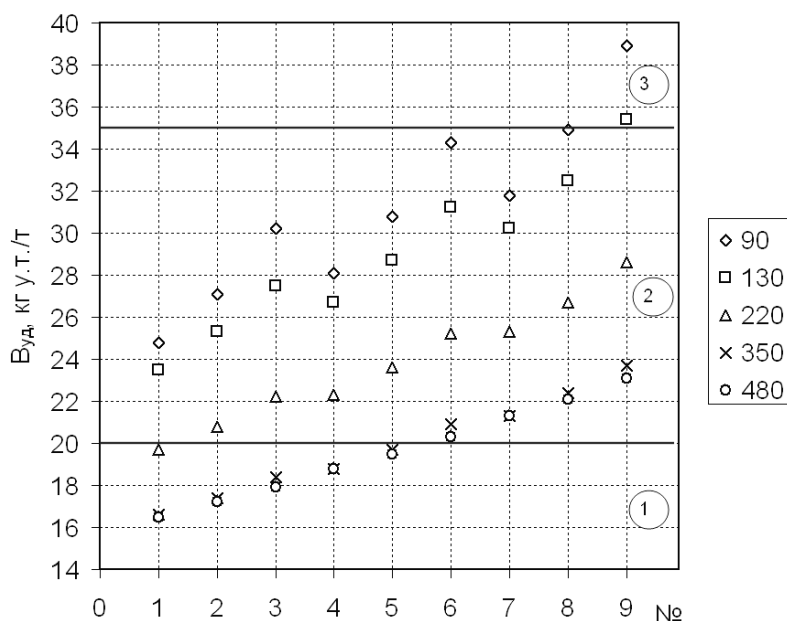


Рисунок 2 – Удельные расходы условного топлива для стенов разогрева ковшей различной емкости и различной конструкции

## Библиографический список

1. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е. Анализ основных направлений повышения энерготехнологической эффективности стенов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). 2013. Вып. 15. С. 128 – 134.
2. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е. Влияние геометрических размеров и емкости сталеразливочных ковшей на тепловую эффективность стенов высокотемпературного разогрева// Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013. № 2(4). С. 28 – 32.
3. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е., Матвеев М.В. Исследование эффективности использования кислорода при отоплении стенов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 6. С. 3–7.
4. Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Стерлигов В.В., Темлянцева Е.Н., Дегтярь В.А. Повышение энерготехнологической эффективности стенов высокотемпературного разогрева футеровок металлургических ковшей // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2014. № 33. С. 38 – 44.
5. Матвеев М.В., Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Костюченко К.Е. Разработка математической модели тепловой работы стенов разогрева футеровок сталеразливочных ковшей// Сб. на-уч. тр. Вестник Горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. 2013.-Вып. 31.-С. 31–44.

УДК 621.783.22.019

### **ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК НА УГАР МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ С МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ПОДОМ**

**Кузнецова О.В., Коноз К.С.**

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Темлянцев М.В.,  
канд. техн. наук, доцент Темлянцев Н.В.**

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

В работе проведено исследование влияния неравномерности нагрева заготовок по длине на угар металла в методических печах с механизированным подом.

Ключевые слова: методические печи, неравномерность нагрева, угар стали.

Для нагрева заготовок перед прокаткой широкое распространение получили методические печи с механизированным подом. Одним из важных показателей качества нагрева металла [1] в печах, наряду с отсутствием трещин от температурных напряжений [2], является равномерность распределе-



ния температур по толщине, длине и периметру заготовок. В ряде публикаций [3, 4] отмечено, что для методических печей с механизированным подом характерна достаточно высокая неравномерность нагрева металла по длине заготовок, причиной которой являются зазоры между элементами шагающего пода или водоохлаждаемые шагающие балки.

В настоящей работе проведено исследование влияния неравномерности нагрева поверхности заготовки на угар металла. На основе экспериментальных данных замеров тепловизором температур поверхности заготовок, нагретых в печи с шагающим подом одного из российских металлургических предприятий проведен статистический анализ и с помощью метода наименьших квадратов получено уравнение регрессии распределения температуры  $t$  по длине  $l$  заготовки:

$$t = t^0 + A \cdot \cos(B \cdot l) \quad (1)$$

где  $t^0$  – средняя температура поверхности заготовки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A$  и  $B$  – эмпирические коэффициенты зависящие от режима нагрева и количества зазоров между элементами пода (участков теплоотвода).

Для примера на рисунке представлены результаты одного из вариантов статистической обработки данных. В уравнении (1)  $t^0 = 1214$   $^{\circ}\text{C}$ ;  $A=60$ ;  $B=3,76$ . Максимальное значение температуры поверхности  $1274$   $^{\circ}\text{C}$ , минимальное  $1154$   $^{\circ}\text{C}$ , перепад температур  $\Delta t$  соответственно  $120$   $^{\circ}\text{C}$ . Зависимость имеет вид косинусоиды. Торцы заготовок характеризуются более высокой температурой нагрева, а количество температурных минимумов (темных пятен) соответствует количеству и месту расположения зазоров между элементами пода, оказывающими охлаждающий эффект.

Используя уравнение (1) и данные по кинетике окисления кремнистых рессорно-пружинных сталей [5 – 10] провели оценку влияния неравномерности нагрева на угар металла. Сравнительные расчеты вели на примере выдержки стали марки 60С2ХА при соответствующей температуре по длине заготовки в течение 1 мин.

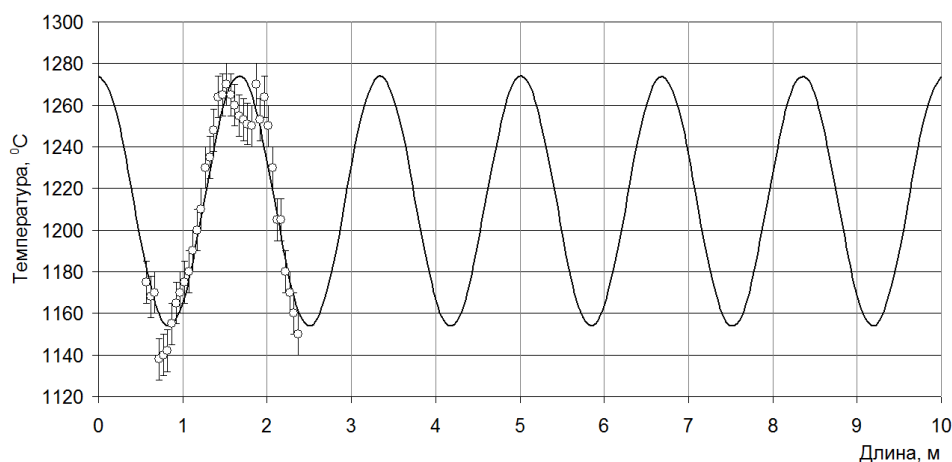


Рисунок 1 – Распределение температуры по длине заготовки (точки – экспериментальные данные, сплошная линия – расчетные)

На рисунке 2 показаны результаты исследования. Установлено что

повышение неравномерности нагрева поверхности заготовки приводит к росту угара, причем эта зависимость имеет нелинейный характер. При одинаковой средней по длине температуре 1214 °С и перепаде температур 100 °С угар возрастает на почти 2 % по сравнению с равномерным нагревом, а при перепаде в 200 °С – на 7 %.

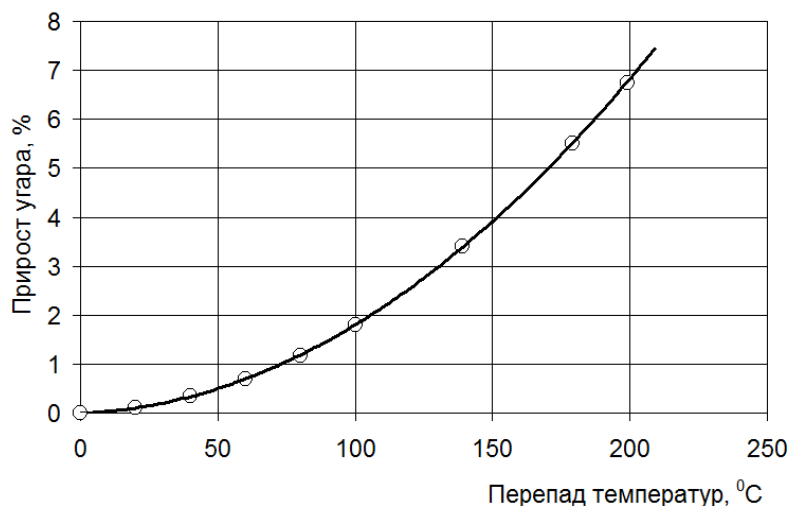


Рисунок 2 – Зависимость прироста угара от неравномерности нагрева поверхности заготовки

#### Библиографический список

1. Нагрев под прокатку непрерывнолитых заготовок рельсовой электростали / М.В. Темлянцев, В.В. Гаврилов, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин, Н.В. Темлянцев // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 69, 70.
2. Темлянцев М.В., Стариков В.С. Исследование разрушения заготовок из конструкционных рессорно-пружинных сталей с катаной и литой структурой при комбинированных тепловых обработках // Изв. вузов. Черная металлургия. 2003. № 4. С. 56-58.
3. Освоение печей с шагающим подом и снижение расхода топлива / А.А. Кугушин, Б.И. Сельский, Б.Н. Серебренников и др. // Сталь. 1980.-№10. С. 881–884.
4. Освоение и исследование нагревательных печей с шагающими балками / В.Л. Гусовский, Л.А. Пинес, Э.И. Спивак и др. // Сталь. 1970. №9 С. 849 – 853.
5. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание кремнистых пружинных сталей // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 3. С. 50–52.
6. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Исследование химического состава окалины пружинной стали 60С2 // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 2. – С. 75–76.
7. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание рессорно-пружинной стали марки 60С2ХА / М.В. Темлянцев, К.С. Слажнева, А.Ю. Дзюба, А.А. Уманский, Н.В. Темлянцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014.– Вып. 33.– С. 55–63.

8. Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. – М.: Теплотехник, 2006.– 200 с.
9. Нагрев стальных слябов / В.Н. Перетяцько, Н.В. Темлянцев, М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.
10. Филиппова М.В., Перетяцько В.Н., Темлянцев М.В. Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.

УДК 621.746.5:669.18:519.6

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОПРОФИЛЬНЫХ ПЕРЕГОРОДОК**

**Числавлев В.В.**

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

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

Проведено физическое моделирование гидродинамических процессов в промежуточном ковше четырехручьевого блюмовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) для условий АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Выполнена качественная оценка моделирования процессов перемешивания расплава с использованием физической модели промежуточного ковша. Дана оценка эффективности рафинирования металла от неметаллических включений в промежуточном ковше при использовании полнопрофильных перегородок различной конфигурации.

Ключевые слова: качество стали, неметаллические включения, физическое моделирование, промежуточный ковш, непрерывная разливка стали.

Одним из факторов, влияющих на качество стали является содержание неметаллических включений, присутствие которых в готовой металлопродукции резко снижает механические свойства и долговечность эксплуатации [1], что является особенно актуальным для металла ответственного назначения. Несмотря на то, что рафинирование металлического расплава реализуется на этапах выпечной обработки, для обеспечения чистоты стали необходимо производить рафинирование металла от неметаллических включений и на завершающей стадии – при непрерывной разливке, технологические аспекты которой непосредственным образом влияют на качество металлопродукции.

На АО «ЕВРАЗ ЗСМК» разливка рельсовой стали осуществляется на четырехручьевого блюмовой МНЛЗ. Для производства высококачественных заготовок сечением 300×360 мм МНЛЗ оборудована системами электромагнитного перемешивания и мягкого обжатия. Тем не менее, задача обеспечения чистоты непрерывнолитых заготовок по неметаллическим включениям



использовании перегородок варианта Б (рисунок 1, б). При этом минимальное время пребывания порции жидкости в объеме промежуточного ковша составило 72 и 76 секунд для центрального и периферийного ручьев, соответственно, что подтверждается анализом данных, полученных кондуктометрическим методом (рисунок 2).

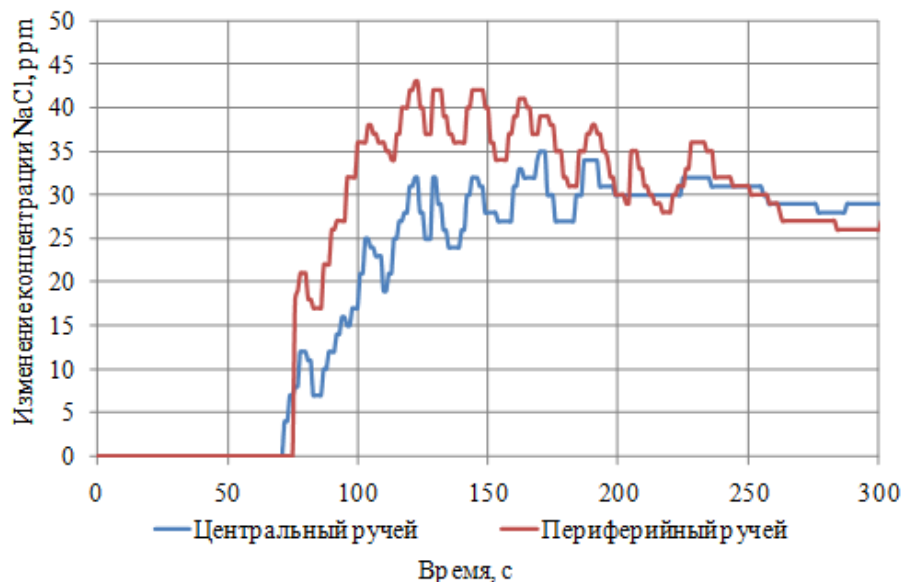


Рисунок 2 – Изменение концентрации NaCl по ходу процесса при использовании в промежуточном ковше полнопрофильных перегородок конструкции варианта Б

Анализ экспериментальных данных, полученных кондуктометрическим методом, показал, что при использовании полнопрофильных перегородок конструкции варианта Б не только увеличивается время пребывания порции металла в объеме промежуточного ковша, но и уменьшается объем застойных зон с 27,9 % до 18 %.

Результаты проведенных исследований показали, что для обеспечения гомогенизации металлического расплава в промежуточном ковше необходимо создание гидродинамических условий, за счет изменения размера переливных отверстий в полнопрофильных перегородках. Применение перегородок в промежуточном ковше позволит максимально использовать рафинировочную способность шлака и обеспечить условия коагуляции и переноса неметаллических включений к рафинировочному шлаку и их ассимиляции, что позволит улучшить качество металлопродукции, повысить её эксплуатационные свойства и конкурентоспособность.

*Работа выполнена в СибГИУ по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МК-1191.2017.8*

#### Библиографический список

1. Числавлев В.В., Фейлер С.В. Лабораторно-экспериментальный комплекс для изучения процессов гидродинамики при непрерывной разливке

стали. // Современные вопросы теории и практики обучения в вузе: сборник научных трудов. 2015. Вып. 18. С. 60-72.

2. Симачёв А.С., Осколкова Т.Н. Влияние неметаллических включений непрерывнолитой заготовки рельсовой стали Э76Ф на высокотемпературную пластичность / *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции*. Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 156-159.

УДК 669.187: 621.771.014

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э78ХСФ НА ОБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Думова Л.В., Уманский А.А.**

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

Для условий электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено, что повышение концентрации меди и серы в рельсовой стали марки Э78ХСФ в рамках интервала, установленного нормативной документацией, способствует увеличению отбраковки готовых рельсов по дефектам поверхности.

Ключевые слова: химический состав, рельсовая сталь, красноломкость, легирование стали, рельсы, поверхностные дефекты.

Известно, что изменение содержания химических элементов в стали, даже в рамках интервала, оговоренного в стандартах, оказывает значительное влияние на качество готовых стальных изделий [1-3]. В особенности данный тезис актуален применительно к изделиям ответственного назначения и изделий из сложнолегированных сталей.

С целью определения характера и степени влияния содержания примесных и легирующих элементов в рельсовой стали Э78ХСФ на отбраковку готовых рельсов по поверхностным дефектам проведены исследования в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК». С использованием методики множественного регрессионного анализа исследовали влияние изменения концентрации следующих химических элементов в готовой стали вышеуказанной марки: углерод, марганец, кремний, сера, фосфор, хром, медь, никель, титан, ванадий, алюминий, азот.

В результате установлено, что повышение содержания меди в интервале от 0,07 % до 0,15 % и серы – от 0,005 % до 0,013 % приводит к увеличению отбраковки готовых рельсов (рисунки 1, 2). Механизм отрицательного влияния меди на качество стальных изделий заключается в следующем. При кристаллизации медь, как и другие примеси цветных металлов,

имеет свойство концентрироваться в межзеренном пространстве. Низкая температура плавления меди ( $1083^{\circ}\text{C}$ ), вызывает красноломкость стали при горячей деформации. Ситуация усугубляется склонностью меди к диффузии, что приводит к значительному увеличению ее концентрации в приповерхностных слоях [4], тем самым увеличивая риск образования рванин на поверхности заготовок при прокатке.

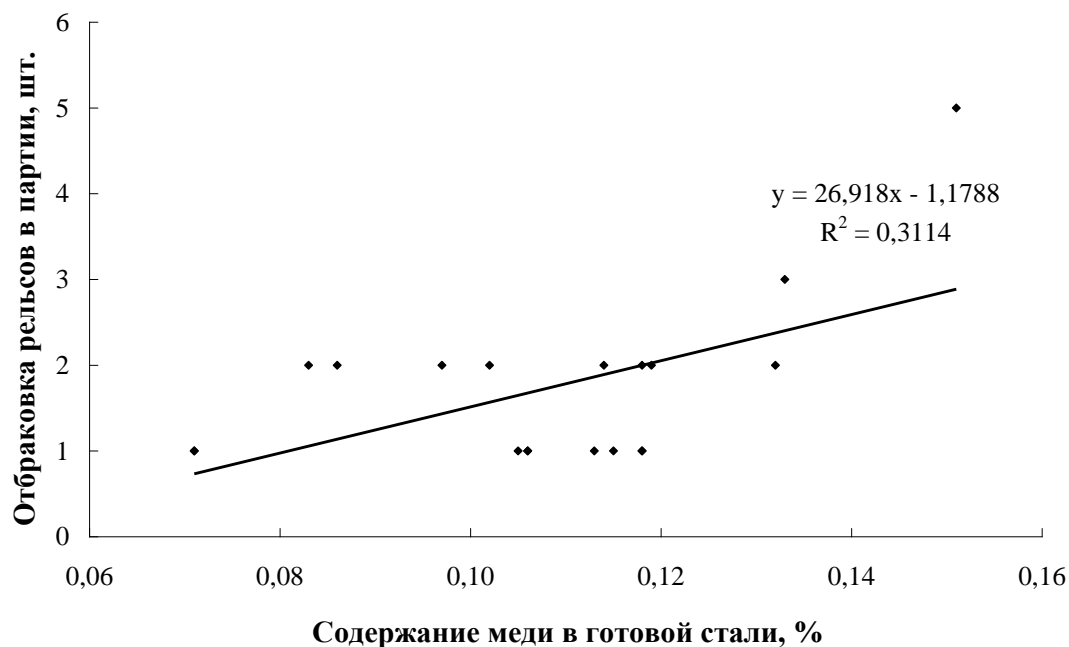


Рисунок 1 – Влияние содержания меди в стали марки Э78ХСФ на отбраковку готовых рельсов по дефектами поверхности

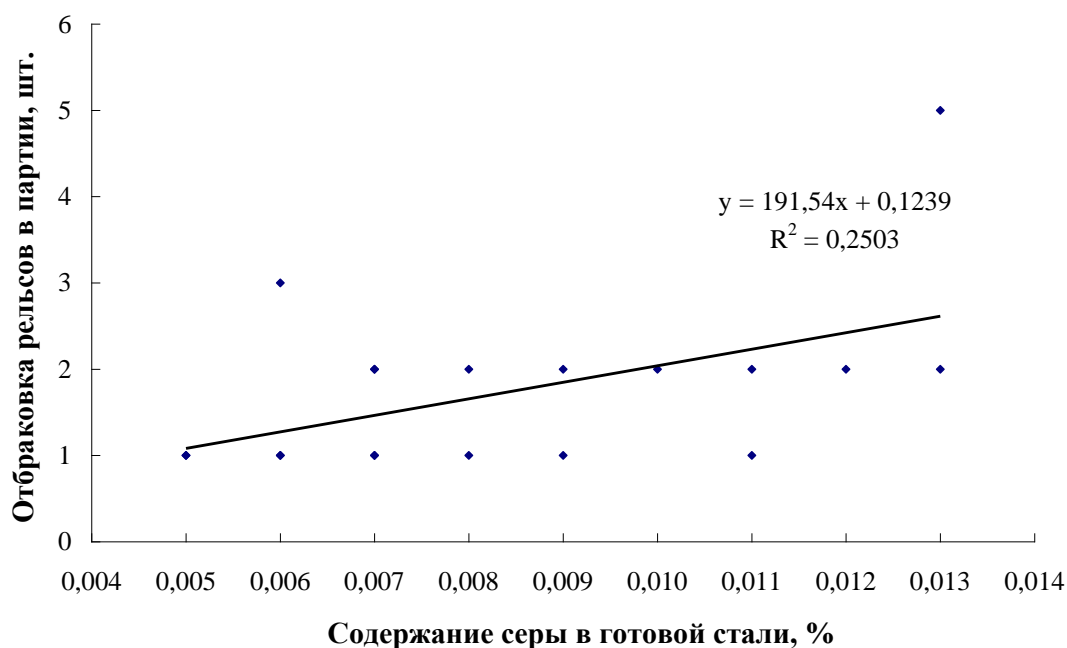


Рисунок 2 – Влияние содержания серы в стали марки Э78ХСФ на отбраковку готовых рельсов по дефектам поверхности

Отрицательное влияние серы на качество стали обусловлено свойством образуемых ею соединений концентрироваться в межзеренном пространстве в процессе кристаллизации слитков. Так превышение концентрации серы в областях по границам дендритов над среднеплавочным значением может достигать 15...2000 раз [5]. Выпадение по границам зерен сульфидов связано со значительным снижением растворимости серы в процессе кристаллизации стали. В процессе затвердевания стали железо и его сульфид (FeS) образуют эвтектику, которая обволакивая дендриты, располагается цепочкой вокруг них. Температура плавления такой эвтектики составляет 988 °С, что ниже температурного интервала последующей прокатки слитков. В результате при дальнейшей деформации возникает красноломкость – хрупкость стали в горячем состоянии.

На основании полученных данных разработаны рекомендации по совершенствованию технологии производства рельсовой стали, в частности: увеличить долю оборотного лома в металлозавалке взамен амортизационного лома; увеличить отношение Mn/S в готовой стали путем дополнительного легирования марганцем.

#### Библиографический список

1. Кузнецов И.С. Влияние технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных сталей / И.С. Кузнецов, А.Е. Прахов, А.А. Уманский, Ю.Т. Рубцов// Сталь. 2008. №4. С. 43-45.
2. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков/ В.Н. Кадыков, А.А. Уманский// Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. №6. С. 20-22.
3. Кадыков В.Н. Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных марок сталей / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Новокузнецк, 2007. Вып. 18. С. 40-48.
4. Гинцбург Я.С. Прокатка качественной стали/ Я.С. Гинцбург, К. К. Андрацкий.– М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1953. 464 с.
5. Suzuki H. // Testu to hagane. J.I.S.I. Japan, 1981. V. 67. №4. P. 166.



## **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В КОНВЕРТЕРЕ**

**Сафонов С.О.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru*

Приведен анализ различных конструкций дутьевых устройств для продувки металлического расплава в конвертере в зависимости от параметров технологического процесса.

Ключевые слова: фурма, конструкция, расплав, охлаждение, кислород, сопло.

В современном кислородно-конвертерном производстве особое внимание уделяется не только совершенствованию конструкции агрегата для выплавки стали, но и устройствам для подачи газообразного окислителя в жидкий расплав, так называемым кислородным фурмам. От конструкции кислородной фурмы зависит её срок службы, давление и объем подаваемого кислорода в единицу времени в конвертер на окисление примесей чугуна. В настоящее время в конвертерном производстве применяют кислородные фурмы с водяным охлаждением для продления срока службы.

Если углубиться в историю конвертерного процесса, то в 1856 году Генри Бессемер получил патент на способ получения стали при продувке металлического расплава атмосферным воздухом через днище конвертера. Содержащийся в воздухе азот уносил заметную часть полезного тепла реакции, не позволяя вносить в плавку большие количества металлического лома, и частично переходил примесью в получаемую сталь. Основным недостатком процесса являлось невысокое качество металла из-за не удалённых при продувке вредных примесей.

Позже, в 1968 году, конвертерный процесс повлёк за собой значительные изменения и продувка металлического расплава стала осуществляться технически чистым кислородом через верхнюю водоохлаждаемую фурму, что положительно сказывается и по сей день на качестве стали, получаемой в кислородных конвертерах.

На рисунке 1 приведена конструкция односопловой кислородной водоохлаждаемой фурмы с центральной подачей кислорода.

Рассматриваемый способ подачи кислорода и воды наиболее предпочтителен из-за того, что обеспечивается достаточное охлаждение фурмы, в связи с тем, что вода контактирует через разделительную стенку трубы с наружной стальной трубой и медной головкой фурмы и, в дополнение к этому, при цен-

тральной подаче кислорода, меньшая величина суммарных местных сопротивлений, что приводит к меньшим потерям давления кислорода в фурме.

На рисунке 1 приведена конструкция односопловой фурмы, которые в настоящее время нецелесообразно применять в связи с тем, что при использовании устройств с такими параметрами, было установлено много выбросов жидкого шлака и металлического расплава из конвертера. В настоящее время применяются фурмы с числом сопел от 4 и более, вследствие этого обеспечивается уменьшение расхода кислорода на одно сопло.

Количество и диаметр сопел влияет на интенсивность перемешивания металлической ванны и окисления примесей чугуна. При меньшем количестве сопел в головке фурмы необходимо увеличивать диаметр сопел и наоборот. В многосопловых фурмах, все сопла расположены под углом относительно центральной оси потока газа [1].

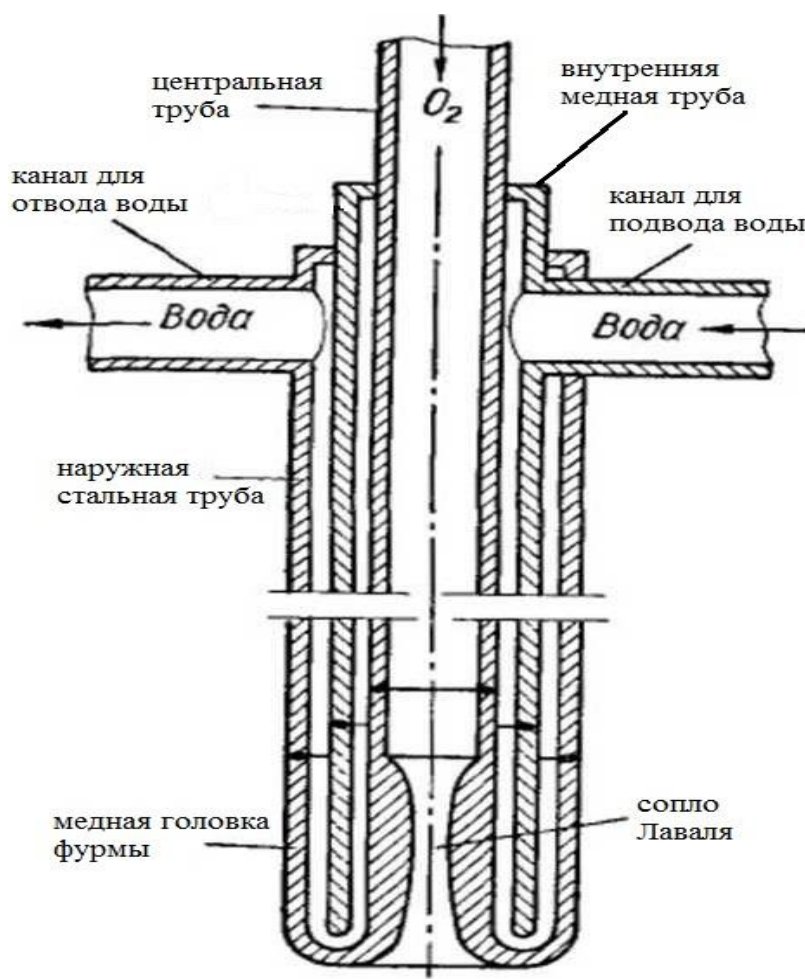
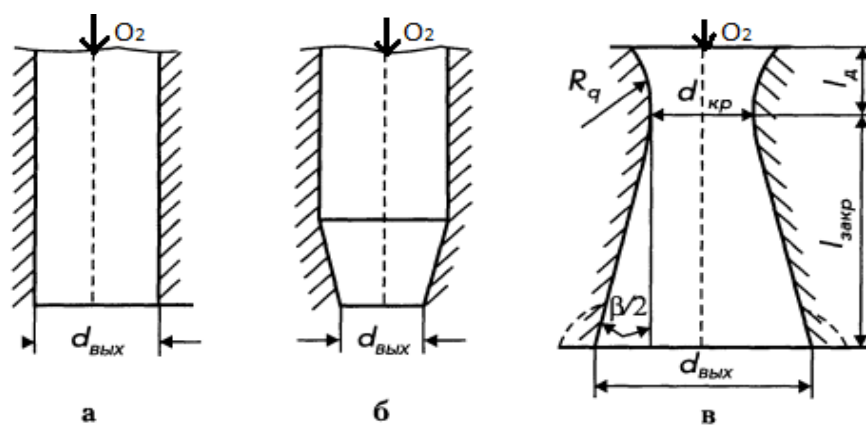


Рисунок 1 – Односопловая кислородная водоохлаждаемая фурма с центральной подачей кислорода

На рисунке 2 приведены примеры различных выходных отверстий через которые подают кислород под давлением, в примере (а) и (б) при сверхкритическом давлении скорость кислорода на выходе из сопла – звуковая, а в примере (в) – сверхзвуковая.



а - цилиндрическое сопло, б - модифицированное сопло, в - сопло Лаваля

Рисунок 2 – Конструктивные особенности сопел

Конструкция сопла Лаваля на сегодняшний день является самой эффективной и долговечной из-за того, что позволяет достичь подаваемому кислороду под высоким давлением на выходе из сопла сверхзвуковой скорости [2].

Развитие и совершенствование конструкции кислородных фурм продолжается и сегодня, модернизируется конфигурация сопел и система охлаждения фурм, например, в конвертерном цехе ПАО «Азовсталь» была разработана и опробована такая конструктивная особенность как пятисопловая фурма с дополнительным центральным сопловым модулем для дожигания CO.

Такая фурма работает по принципу завихрения кислорода, проходящего через тангенциальный завихритель и, взаимодействуя с CO на выходе из сопла, способствует его дожиганию в пространстве агрегата. Фурмы с такими конструктивными особенностями позволяют улучшить процесс шлакообразования, уменьшить угар металла за счет улучшения теплового баланса плавки, уменьшить удельный расход чугуна в шихте, а также увеличить степень дожигания CO до CO<sub>2</sub> [3].

Таким образом, конструктивные особенности кислородных фурм, такие как количество сопел и их конфигурация влияют на ход технологического процесса и его технико-экономические показатели.

#### Библиографический список

1. Эволюция конвертерных процессов получения стали, перспективы развития / С.П. Пантейков // Труды восьмого конгресса сталеплавателей. - М.: ОАО «Черметинформация», 2014. - С. 64 - 73.
2. Бойченко Б.М. Конструкция дутьевых устройств. В кн.: Конвертерное производство стали. - Днепропетровск: Металлургия, 2006. - С. 7 - 19.
3. Совершенствование конструкции кислородной фурмы и дутьевого режима конвертерной плавки в ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» / А.В. Сущенко, А.А. Ситало, А.С. Гриценко и др. // Труды седьмого конгресса сталеплавателей - М.: ОАО «Черметинформация», 2013. - С.61 - 69.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В ККЦ № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

**Горшенева О.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ганзер Л.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: oksana-020676@mail.ru*

Для улучшения условий внепечной обработки стали открытую поверхность металла в сталеразливочных ковшах защищают покровными шлаками. С точки зрения теплоизоляции зеркала металла, ассимиляции всплывающих неметаллических включений и десульфурации к шлакообразующим смесям предъявляются определенные требования. В работе представлены результаты использования флюса СШУ-1Г для обработки различных марок стали на выпуске из 350-т конвертера и агрегате ковш-печь.

Ключевые слова: внепечная обработка, сталеразливочный ковш, рафинировочный шлак, шлакообразующие смеси, известь, плавиковый шпат, десульфурация.

Основным фактором, определяющим эффективность процесса внепечной обработки металла, является состав шлакообразующей смеси для формирования рафинировочного шлака в сталеразливочном ковше, который должен отвечать следующим требованиям [1, 2]:

- иметь высокую сульфидную емкость;
- обладать повышенными адгезионными свойствами по отношению к имеющимся в стали неметаллическим включениям;
- иметь относительно низкую температуру плавления и теплоемкость;
- не быть агрессивным по отношению к футеровке ковша;
- иметь минимальную газопроницаемость.

В соответствии с развиваемыми положениями при выплавке стали в 350-т конвертерах в кислородно-конвертерном цехе № 2 для формирования рафинировочного шлака в сталеразливочном ковше используют известь с добавками плавикового шпата и/или  $Al_2O_3$ –содержащего флюса. Необходимо отметить, что при использовании системы отсечки конвертерного шлака фирмы Monoson, требуется увеличение расхода шлакообразующих материалов, для обеспечения оптимальной толщины рафинировочного шлака. Дополнительный расход плавикового шпата, как правило, сопровождается повышенным износом футеровки шлакового пояса сталеразливочного ковша, поэтому предпочтение отдается  $Al_2O_3$ –содержащим флюсам, в частности СШУ-1Г производства ООО «Уралтрубкомплект». Химический состав флюса СШУ-1Г определяется псевдотройной оксидной системой  $Al_2O_3$ –(CaO+MgO)–( $SiO_2$ -TiO<sub>2</sub>) (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав флюса СШУ-1Г

Материал	Химический состав, %										
	Не менее		Не более								
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	Na(K)O	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
СШУ-1Г	55,0	5,0	25,0	15,0	10,0	5,0	2,0	0,02	0,02	0,1	0,1

Для исследования эффективности внепечной обработки металла с использованием флюса СШУ-1Г провели серию опытных плавов при обработке кремнистых марок стали с содержанием кремния 0,05 – 0,35 % и низкокремнистых марок стали с содержанием кремния менее 0,03 %: 57 плавов с подачей флюса на выпуске из конвертера и агрегате ковш-печь (АКП) и 19 плавов только на АКП. На выпуске флюс подавали совместно с известью в соотношении 1:2 – 1:3 с расходом 1000 кг на плавку (3,3 кг/т), на АКП расход флюса составил 80 – 420 кг на плавку (0,25 – 1,42 кг/т). На опытных плавках проводили отсечку конвертерного шлака с использованием системы фирмы Monosop.

Результаты плавов с использованием флюса сравнили с результатами плавов тех же марок стали, проведенных в этот же период времени без использования флюса.

Химический состав шлака с применением флюса на выпуске отличается от шлака сравнительных плавов повышенным содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> после выпуска металла (на кремнистом металле 29,3 и 26,7%, на низкокремнистом металле 31,4 и 29,3 %, соответственно) и на АКП (в целом по всем плавкам на кремнистом металле 29,3 и 28,2 %, на низкокремнистом – 32,2 и 29,0 %, соответственно). На плавках на низкокремнистом металле с вводом флюса на АКП и без ввода содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> соответственно составило 34,1 и 30,9 %. Повышенное содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в шлаке при обработке низкокремнистого металла обусловлено, по видимому, повышенным угаром алюминия при раскислении металла.

Химический анализ рафинировочного шлака на кремнистом и низкокремнистом металле на АКП на опытных плавках характеризуется также пониженным (до 1,51 %) содержанием CaF<sub>2</sub>, что положительно влияет на условия эксплуатации шлакового пояса футеровки сталеразливочного ковша.

При этом наблюдается значительное снижение содержания серы на опытных плавках: степень десульфурации на АКП на низкокремнистом металле составила 52,3 %, в то время как на сравнительных плавках в этот же период только 39,7 %.

Таким образом использование флюса СШУ-1Г вместо плавикового шпата обеспечивает требуемые характеристики рафинировочного шлака и высокую эффективность внепечной обработки металла.

#### Библиографический список

1. Дюдкин Д.А. Производство стали на агрегате ковш-печь / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Н. Гринберг, С.Н. Маринцев. Под науч. ред. докт. техн. наук, проф. Дюдкина Д.А. – Донецк: ООО «Юго-восток, Лтд», 2003. – 300 с.

2. Протопопов Е.В. Внепечная обработка металла на агрегате ковш-печь: учеб. пособие / Е.В. Протопопов, Л.А. Ганзер; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – 132 с.

УДК 669.2/8: 620.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОПОРОШКА Тi НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АК12**

**Башев В.С.<sup>1</sup>, Чумаевский А.В.<sup>2</sup>, Зыкова А.П.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Мартюшев Н.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Томский политехнический университет, г. Томск,*

<sup>2</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
г. Томск, e-mail: bashevvassilly@gmail.com*

В современном машиностроении силумины достаточно широко распространены не смотря на появление большого количества новых перспективных материалов. Основные недостатки силуминов ограничивающие их применение – сравнительно низкие прочностные характеристики. В статье представлены результаты исследований модифицирования силуминов нанопорошком Ti. Показано влияние малых добавок нанопорошка Ti на структуру и механические свойства силумина марки АК12.

Ключевые слова: титан, нанодисперстный порошок, микроструктура, механические свойства, силумин АК12.

На сегодняшний день силумины занимают прочные позиции в автомобильной и авиационной промышленности. Это связано с их относительно низкой стоимостью. Основными недостатками силуминов являются сравнительно низкие прочностные характеристики в частности довольно низкая пластичность. Низкая пластичность обусловлена присутствием в сплавах  $\alpha$ -Al твердого раствора и скоплением эвтектических фаз. Для улучшения механических свойств силуминов регулируют режимы плавки, литья и условий кристаллизации. Но наиболее плодотворное влияние на структуру и механические характеристики оказывает модифицирование ультра и нанодисперстными порошками различного химического состава, то есть введение в расплав перед его заливкой небольших добавок модификаторов. На сегодняшний день основная часть работ посвящена влиянию добавок порошков оксидов и карбидов различных металлов на структуру и свойства силуминов [1-4]. Частицы этих порошков не растворяются в расплаве, из-за их высокой температуры плавления относительно температуры плавления силуминов, и служат центрами кристаллизации. Сходным образом будут работать и частицы тугоплавких элементов (Ti, W, Mo), но работ посвященных модифицированию частицами чистых металлов мало.

В ходе эксперимента изучалось влияние добавок порошка титана на микроструктуру и механические свойства силумина. Для исследования был выбран силумин марки АК12 (ГОСТ 1583-93). В качестве модификатора применялся порошок титана (ТУ 1791-003-36280340-2008). Порошок получен методом электрического взрыва проводника в атмосфере аргона и затем смочен гексаном, со среднеарифметическим размер частиц 80-110 нм и площадью удельной поверхности 13,8 м<sup>2</sup>/г. Перед добавлением титана в плавку производилась сушка порошка в муфельной печи при температуре 50-55 °С для удаления из него гексана.

Плавка осуществлялась в муфельной печи при температуре 800-820 °С. Масса одной плавки составляла 450 гр. Масса модификатора и металла измерялась с помощью аналитических весов *Shinko HJR-620CE* с точностью до 0.01г. После расплавления силумина, тигель вынимался из печи и производилась очистка зеркала расплава от шлака далее производилось введение в расплав нанопорошка Ti, масса модификатора составляла: 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 % (масс.). Расплав с нанопорошком Ti помещался обратно в печь и выдерживался 10 минут при температуре 800-820 °С. Отливка полученного расплава производилась в чугунную литейную форму со скоростью 0,06-0,1 л/с. Соотношение массы отливки к массе формы – 1:10. Температура литейной формы перед отливкой 20-30 °С. Скорость охлаждения в момент кристаллизации составляла примерно 80-90 °С/с.

Для проведения испытания на растяжение ( $\sigma_b$ ) и относительное удлинение ( $\delta$ ) использовалась испытательная машина МИРИ-100К с компьютерным управлением и расчетом механических характеристик. Прочностные характеристики определяли по ГОСТ 1497-84 на цилиндрических образцах с галтелями типа типа III с диаметром рабочей части 6 мм. Испытание на ударную вязкость проводились на маятниковых копрах марок МК-30А и 2130КМ-0.3 с максимальным запасом энергии маятника 300 J. Объектами исследований служили стандартные образцы Шарпи размерами 55×10×10 мм без надреза по ГОСТ 9454-78. Количество образцов составляло 3 образца для каждой серии испытаний.

Проделанная работа показала, что внедрение частиц нанопорошка титана в расплав силумина марки АК12 значительным образом влияет на структуру и свойства. В таблице 1 приведены данные по влиянию порошка титана на механические свойства отливок из силумина АК12.

Таблица 1 – Механические свойства силумина марки АК12.

Содержание Ti, масс. %	0	0,01	0,05	0,1	0,5
Предел прочности, МПа	135	173	176,9	187,5	183,7
Относительное удлинение, %	1,7	1,2	0,83	0,9	0,8
Ударная вязкость Дж/см <sup>2</sup>	13,4	14,4	19,8	15,4	14,4
Твердость НВ	50	73,8	77,9	80,4	80,4

Добавление порошка титана неоднозначно влияет на свойства отливки. Модифицирование титаном благотворно влияет на предел прочности. При добавлении малого количества (0,01 масс.%) наблюдается прирост предела прочности в размере 28% от исходного немодифицированного значения, а максимальный прирост наблюдается при добавлении нанопорошка в размере 0,1 масс.% и составляет 38%. Так же наблюдается увеличение ударной вязкости и твердости силумина. Максимальное увеличение ударной вязкости наблюдается при введении в расплав 0,05 масс.% и составляет 19,8 Дж/см<sup>2</sup> что на 47% больше исходного значения, дальнейшее увеличение содержания оказывает не такое влияние. Пиковое значение твердости наблюдается при добавлении 0,1 масс.% и составляет 80,4НВ, что на 60% больше исходного значения. Стоит отметить что добавление нанопорошка титана отрицательно влияет на относительное удлинение, наблюдается уменьшение показателей с ростом содержания титана в отливке. Изменение механических свойств обуславливается изменением микроструктуры сплава. Отливки, полученные без модификатора имеют развитые дендриты с осями 3-го порядка. Добавление нанопорошка Ti уменьшает расстояние между осями 2-го порядка и уменьшению длины осей 1-го порядка, так же оказывает влияние на количество и размеры пластин кремния. Добавка модификатора в количестве 0.01% (масс.) не значительно изменяет микроструктуру сплава. Аналогично исходному сплаву характеризуется развитыми дендритами  $\alpha$ -Al с осями 2-го порядка. Но при этом оси третьего порядка практически отсутствуют, а расстояние между осями 2-го порядка кристаллов уменьшается. В отливках также наблюдаются скопления эвтектики ( $\alpha$ -Al+Si) и наличие грубодисперсных пластин кремния, по границам которых располагаются мелкие частицы Si. Введение в расплав 0.05 -0.5 % (масс.) приводит к равномерному распределению эвтектики ( $\alpha$ -Al+Si) по сечению отливки. Так же снижается расстояние между осями 2-го порядка. Происходит изменение морфологии эвтектического кремния: форма грубых пластин меняется на тонкую волокнистую форму. Подобные изменения в структуре и приводят к изменению механических свойств.

#### Библиографический список

1. Qinglin Li, Tiandong Xia, Yefeng Lan, Wenjun Zhao, Lu Fan, Pengfei Li. Effect of in situ  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles on the microstructure of hypereutectic Al-20%Si alloy / Journal of alloys and compounds. 577 (2013) 232–236
2. Iman S. El-Mahallawi, Ahmed YehiaShash, AmerEid Amer. Nanoreinforced cast Al-Si alloys with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> nanoparticles / Metals. 2015. № 5. 802-821. doi:10.3390/met5020802.
3. Molina C.M., Valdes A.F., Valdez R.M., Torres J.T., Rosales N.R., Estrada R.G. Modification of Al–Si alloys by metallothermic reduction using submerged SrO powders injection // Mater. Lett. 2009. Vol. 63. P. 815
4. A.P. Zykova, L.A. Kazantseva, I.A. Kurzina. The effect of ultrafine powders on the structural formation processes and mechanical properties of Al–7%Si alloy / AIP Conference Proceedings. 2016. – V. 1772. P. 030020-1–0300207.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУВКИ АЗОТОМ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА УСТАНОВКАХ ДОВОДКИ МЕТАЛЛА НА ЕГО КОНЦЕНТРАЦИЮ В ГОТОВОЙ СТАЛИ И КАЧЕСТВО СЛИТКОВ**

**Думова Л.В., канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.**

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

Проведенными исследованиями в условиях кислородно-конвертерного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено, что при продувке конструкционной качественной стали азотом в процессе обработки на установках доводки металла происходит насыщение расплава данным элементом, что способствует ухудшению качества поверхности готовых слитков.

Ключевые слова: продувка расплава, внепечная обработка, поверхностные дефекты, растворимость, насыщение азотом

Отрицательное влияние азота на качество поверхности слитков связано с таким явлением, как охрупчивание стали. При этом механизм данного явления зависит от формы существования азота в стали. При отсутствии в стали в значительном количестве нитридообразующих элементов (Ti, Al, Zr, V), азот присутствует в виде твердого раствора. В процессе затвердевания стали после образования  $\alpha$ -Fe начинается выделение азота из раствора в виде включений нитридов железа ( $Fe_2N$ ,  $Fe_4N$ ,  $Fe_8N$ ). Это выделение может продолжаться длительное время после охлаждения и, так как оно происходит в основном при низкой температуре, выделившиеся дисперсные включения нитридов железа располагаются по кристаллографическим плоскостям и, препятствуя перемещению дислокаций, вызывают охрупчивание металла.

Содержание азота в готовой стали определяется его концентрацией в исходной металлошихте и приростом его содержания по ходу процессов выплавки, внепечной обработки и разливки стали. По данным множества исследований наиболее значительный прирост содержания азота наблюдается при использовании азота для продувки металла в сталеразливочном ковше на установках внепечной обработки.

С целью определения количественного влияния параметров продувки азотом при внепечной обработке стали на содержание данного элемента в готовой стали и качество поверхности слитков проведено статистическое исследование на выборке плавов конструкционной качественной стали марки 10кп текущего производства кислородно-конвертерного цеха №1 (ККЦ-1) АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Технологическая схема производства слитков конструкционной кипящей стали в ККЦ-1 включает в себя выплавку стали в трех кислородных конвертерах емкостью 160 т каждый с последующей внепечной обработкой

стали на установках доводки металла (УДМ) и разливкой в изложницы.

В результате проведенного исследования установлено, что при увеличении времени продувки и расхода азота происходит повышение его концентрации в металле, а повышение температуры расплава приводит к снижению содержания азота в стали. Влияние температуры на прирост содержания азота в металле связано с тем, что растворимость азота зависит от температуры расплава. Процесс растворения азота в железе является эндотермическим, поэтому при снижении температуры растворимость уменьшается.

В соответствии с уравнением изобары Вант-Гоффа зависимость растворимости газа  $S$  от температуры может определяться следующим уравнением:

$$S = C \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_s}{2RT}\right), \quad (1)$$

где  $C$  – постоянная интегрированная;

$\Delta H_s$  – изменение энтальпии при растворении и образовании раствора данного газа;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура.

Эндотермичность процесса объясняется тем, что расходуется энергия на разрыв связи между атомами в молекуле газа. Температурная зависимость константы растворения газов в жидком железе изучена многими исследователями. Наиболее новые данные удовлетворительно описываются уравнением:

$$\lg N_2 = (-770/T) - 0,95, \quad (2)$$

где  $T$  – температура расплава, К.

Таким образом, можно констатировать, что интенсивность насыщения металла азотом и, как следствие, его концентрация в готовой стали, в значительной степени определяется параметрами продувки (временем продувки и расходом газа), а также температурой обрабатываемого расплава. Следует отметить, что полученные результаты согласуются с данными других исследователей [1].

Анализ влияния концентрации азота в стали на качество поверхности слитков позволил установить, что повышение содержания азота в стали в интервале 0,003-0,007% приводит к увеличению отбраковки полученных из слитков заготовок (рисунок 1). Воспроизводимость указанной зависимости подтверждается результатами ранее проведенных исследований [2-5].

На основании полученных данных для улучшения качества конструкционной стали рекомендовано изменить состав дутья, используемого при внепечной обработке на УДМ: перейти на продувку аргоном взамен продувки азотом.

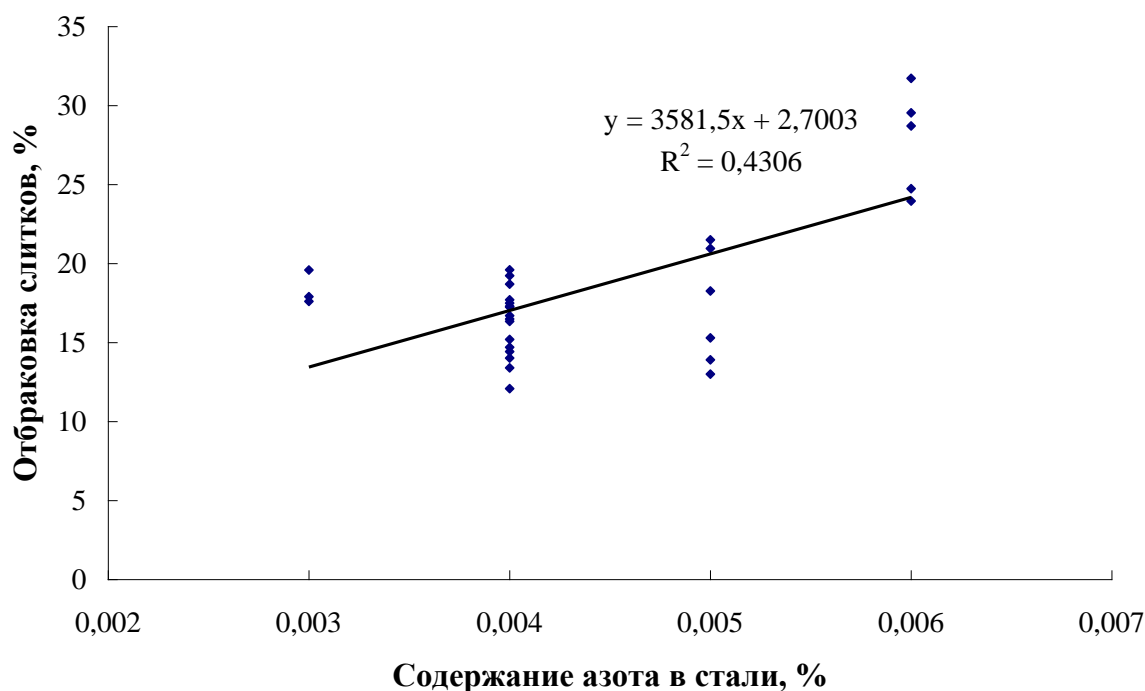


Рисунок 1 – Зависимость отбраковки слитков по дефектам поверхности от содержания азота в готовой стали

#### Библиографический список

1. Гизатулин Р.А. Освоение технологии перемешивания стали в ковше газом через пористые пробки / Р.А. Гизатулин, П.Е. Сычев, Н.А. Козырев, О.В. Путилова // Труды шестого Конгресса сталеплавильщиков. М.: Черметинформация. 2001. С. 323-325.
2. Уманский А.А. Исследование влияния состава исходной металлической шихты на качество конвертерной стали / А.А. Уманский, Н.А. Чернышева // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Москва-Новокузнецк, 2010. Вып. 25. С. 42-47.
3. Кузнецов И.С. Влияние технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных сталей / И.С. Кузнецов, А.Е. Прахов, А.А. Уманский, Ю.Т. Рубцов // Сталь. 2008. №4. С. 43-45.
4. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. №6. С. 20-22.
5. Кадыков В.Н. Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных марок сталей / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Новокузнецк, 2007. Вып. 18. С. 40-48.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА В 350-Т КОНВЕРТЕРАХ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНОГО  
ФЛЮСА ФОМИ**

**Ишин Д.Е.**

**Научный руководитель: Калиногорский А.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Dishin\_1388@gmail.com*

В современных условиях сталеплавильного производства для повышения стойкости футеровки агрегатов широко используются высокомагнезиальные флюсы для шлакообразования и повышения эффективности нанесения огнеупорных покрытий. В соответствии с развиваемыми положениями изучены технология выплавки стали в большегрузных конвертерах, изменение химического и фазово-минералогического состава конвертерного шлака по периодам продувки металла.

Конвертер, футеровка, шлак, высокомагнезиальный флюс, химический состав, фазовый состав, минералогия.

В настоящее время при выплавке стали в конвертерах широко используются высокомагнезиальные флюсы для увеличения стойкости футеровки агрегатов и снижения расхода огнеупоров на выплавку стали. Вместе с тем некоторыми исследователями отмечается ухудшение показателей шлакообразования и снижение рафинирующей способности конвертерных магнезиальных шлаков [1].

Стойкость футеровки 350-т конвертеров АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с применением высокомагнезиального флюса ФОМИ для выплавки стали и нанесения огнеупорных покрытий составляет в среднем 4,5 тысячи плавов, а расход конвертерных огнеупоров – 3,5 – 4,0 кг/т стали. Однако формирование огнеупорного покрытия на основе конечного конвертерного шлака не всегда обеспечивает устойчивые результаты. Часто приходится использовать специальные технологические приемы формирования гарнисажа для обеспечения его стойкости [2–7].

Для исследования технологических параметров продувки металла в большегрузных агрегатах рассмотрели особенности шлакообразования и изменения химического состава шлака по периодам конвертерной плавки. С этой целью были проанализированы данные [6, 7] опытно-промышленных плавов с дополнительными повалками агрегата в характерные периоды продувки металла.

На опытных плавках формирование шлака обеспечивали за счет присадки извести, алюминиевой выбойки и высокомагнезиального флюса ФОМИ, содержащего не менее 66 % MgO. Присадку флюса в конвертер

(15–18 кг/т) выполняли вместе с известью в завалку на металлический лом до его нагрева для ускорения процесса шлакообразования.

Химический анализ отобранных проб шлака показал, что при использовании флюса растворение извести протекает медленнее: содержание CaO в течение всей продувки на 5–10 % ниже обычных значений, при этом наблюдается быстрое увеличение содержания MgO в шлаке при его повышенной окисленности. При этом в конце продувки в шлаке содержится 12,3 % MgO; его основность – 3,11; а коэффициенты распределения фосфора и серы – 146 и 4,25, соответственно.

Выполненный ранее теоретический анализ фазовых превращений в шлаке по ходу продувки конвертерной ванны на основе диаграммы четырехкомпонентной оксидной системы CaO'-MgO'-FeO'-SiO<sub>2</sub>' показал, что оксидные системы, соответствующие шлакам начала продувки, содержащие большое количество SiO<sub>2</sub>, как правило, кристаллизуются с образованием различных силикатов, вюститита и незначительного количества периклаза. В оксидных системах, соответствующих шлакам середины продувки, возрастает содержание периклаза [8, 9]. В заключительный период продувки «шлаки» кристаллизуются с образованием двухкальциевого силиката, извести и твердого раствора магнезиовюститита. При этом для «шлаков» начала продувки характерна высокая концентрация насыщения MgO (20 – 25 %) и, таким образом, соответствующие оксидные системы способны дополнительно растворить еще 8 – 14 % оксида магния. В середине продувки обеспечивается формирование «шлаков» с концентрацией MgO близкой к области насыщения, а в конце продувки – в области пересыщения магнезиовюститом (до 9 %).

При проведении экспериментального исследования изменения минерального состава, текстурно-структурных, кристаллохимических и кристаллофизических характеристик шлака по периодам конвертерной плавки установлено, что выделения реликтового периклаза и извести фиксируются во всех опытных образцах. Таким образом, конвертерный шлак в течение продувки имеет гетерогенный состав, где тугоплавкие частицы периклаза и извести находятся в расплаве более легкоплавких составляющих.

При этом микроструктура гарнисажного шлака имеет значительно больше крупных тугоплавких кристаллов двухкальциевого силиката и периклазидов, которые вместе с нерастворившимися зернами периклаза и извести образуют каркасную структуру и формируют гарнисаж за счет затвердевания шлакового расплава на поверхности футеровки вследствие отвода тепла через нее.

Анализ полученных результатов показал, что при использовании высокомагнезиального флюса ФОМИ необходима корректировка шлакового режима конвертерной плавки для обеспечения требуемого качества металлопродукции.

#### Библиографический список

1. Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Витущенко М.Ф. и др. Комплекс технологических приемов повышения стойкости футеровки конвертеров при пере-

деле фосфористых чугунов // Черная металлургия.– 2015.– № 2.– С. 78– 82.

2. Фейлер С.В., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г. и др. Изучение особенностей применения вихревых течений для нанесения огнеупорных покрытий на футеровку конвертеров // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 8. С. 28 – 33.

3. Калиногорский А.Н., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Фейлер С.В., Багрянцев В.И. Исследование особенностей применения вихревых технологий для нанесения огнеупорных покрытий на футеровку конвертеров. Сообщение 1. Особенности дробления жидкого шлака при раздувке вихревой фурмой// Изв. вуз. Черная металлургия.– 2015.– Т. 58– № 10.– С. 756– 760.

4. Калиногорский А.Н., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Фейлер С.В., Багрянцев В.И. Исследование особенностей применения вихревых технологий для нанесения огнеупорных покрытий на футеровку конвертеров. Сообщение 2. Характеристики и параметры движения капель шлака // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2015. – Т. 58 – № 12. – С. 896 – 900.

5. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Фейлер С.В., Калиногорский А.Н. Тепловая работа торкрет-гарнисажной фурмы для горячих ремонтов футеровки кислородных-конвертеров // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2014. – № 4. С. 21 – 25.

6. Протопопов Е.В., Пермяков А.А., Калиногорский А.Н. Исследование особенностей формирования гарнисажа на футеровке большегрузных конвертеров при использовании высокомагнезиальных флюсов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2013. – №4. – С. 32 – 35.

7. Амелин А.В., Протопопов, Е.В., Калиногорский А.Н., Фейлер С.В. Формирование гарнисажа магнезиальных шлаков на футеровке большегрузных конвертеров // Сталь. – 2014. – № 7. – С. 22 – 25.

8. Протопопов, Е.В., Якушевич Н.Ф., Калиногорский А.Н. Исследование фазовых равновесий в сложных оксидных системах для оптимизации формирования конвертерных магнезиальных шлаков рационального состава // Литье. Металлургия. 2015: Материалы XI Международной научно-практической конференции. – Запорожье : ЗТПП. – 2015. – С. 377 – 378.

9. Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н. Теоретический анализ фазовых превращений в шлаковом расплаве по периодам продувки конвертерной плавки // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы Инновационного конвента. – Кемерово. – 2016. – С. 445 – 448.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ В ЭСПЦ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Подаруев С.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ганзер Л.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: podaruev2010@yandex.ru*

Перспективным направлением повышения эффективности непрерывной разливки рельсовой стали является совершенствование конструкции погружных стаканов для увеличения их стойкости. Представлены результаты исследования эксплуатационной стойкости различных погружных стаканов для непрерывной разливки рельсовой электростали

Ключевые слова: непрерывная разливка, рельсовая сталь, погружной стакан, износ, кварц, корундографит, стойкость.

Большое значение в создании новых технологий непрерывной разливки стали имеют гидродинамические процессы перемещения потоков жидкого металла, особенно в кристаллизаторе МНЛЗ [1]. Подача рельсовой стали в кристаллизатор обычно осуществляется с использованием монолитных стопоров и погружных стаканов (рисунок 1).

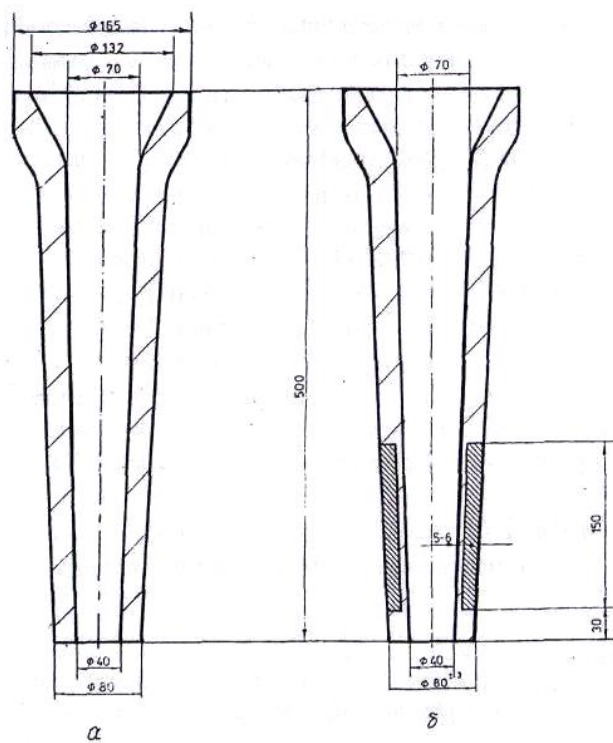


Рисунок 1 – Общий вид погружного стакана для непрерывной разливки стали (плотной штриховкой обозначены область из диоксида циркония с повышенной эрозионной стойкостью)

Погружные стаканы, как правило, работают в режиме непрерывной разливки методом «плавка на плавку». Основными требованиями, которые предъявляются к погружным стаканам, являются высокая прочность при высокой температуре и стойкость против эрозии и коррозии под действием металла и шлакообразующих смесей. Основные причины выхода погружных стаканов из эксплуатации: эрозионный износ в зоне шлакового пояса, истечение струи, зарастание внутренней полости неметаллическими включениями в зоне выходного отверстия, растрескивание верхней части изделия, связанное с подсосом холодного воздуха в стык между разливочным и погружным стаканами, а также образование продольных сквозных трещин при недостаточном подогреве стакана перед разливкой. Замена погружных стаканов не просто нарушает технологический ритм разливки, но также снижает выход годного на 1 – 2 %.

Для производства кварцевых погружных стаканов применяют плавленый (или аморфный) кремнезем. Исходным материалом является кварц высокой чистоты (более 99 %  $\text{SiO}_2$ ), который плавят, а затем быстро охлаждают для предотвращения образования кристаллической структуры. Спекание осуществляют при температуре, достаточной для образования связей между отдельными зёрнами. Существует также опыт изготовления погружных стаканов из корундографитовой массы, а также составных стаканов, изготовленных из композитных материалов, состоящих из периклазографитовых, графитоциркониевых и графитокорундовых участков [1, 2].

Опыт эксплуатации кварцевых погружных стаканов для непрерывной разливки рельсовой стали Э76Ф в ЭСПЦ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» показал, что для четырехручьевого МНЛЗ с 28-т промежуточным ковшом ресурс стаканов позволяет вести разливку только короткими сериями (до 6 плавов), а на рядовом сортаменте – до 5 плавов, вследствие более высокой температуры разливаемого металла.

Более высокую эксплуатационную стойкость при непрерывной разливке рельсовой стали обеспечили корундографитовые стаканы – 10-12 плавов. Для увеличения серийности разливки рельсовой стали было предложено использовать корундографитовый стакан с утолщенной вставкой в зоне контакта со шлакообразующей смесью. Результаты исследования эксплуатации погружных стаканов с утолщенной вставкой показали, что максимально достигнутая продолжительность разливки, при которой ресурс стакана выработан полностью, составляет 20 – 21 плавку при двукратном позиционировании промежуточного ковша.

Далее исследовали особенности износа корундографитовых глуходонных погружных стаканов. Глуходонный корундографитовый стакан с утолщенной вставкой в зоне контакта со шлакообразующей смесью с боковыми отверстиями показал высокую стойкость. Средняя скорость износа при разливке рельсовой стали составила 0,46 мм/пл. Расчетный ресурс разливки составил 22 плавки. При этом обеспечивается удовлетворительное качество рельсов по регламентированным показателям.



## Библиографический список

1. Процессы непрерывной разливки / Смирнов А.Н., Плющенко В.Л., Минаев А.А. и др. – Донецк: ДонДТУ, 2002. – 536 с.
2. Протопопов Е.В., Ганзер Л.А. Непрерывная разливка стали и формирование навыков управления МНЛЗ: Учеб. пособие / СибГИУ. – Новокузнецк, 2006. – 132 с.

УДК 622.6

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКИ В АММИАЧНО-ХЛОРИДНЫХ СИСТЕМАХ**

**Костина Д.А., Топоркова Ю.И.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Мамяченков С.В.**

*Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, e-mail: dar.kostina2013@yandex.ru*

В работе исследовали процесс выщелачивания пыли, образующейся в процессе электродуговой плавки стали, в аммиачно-хлоридных растворах с целью извлечения цинка. Определено влияние трех факторов (температура, отношение Ж:Т, концентрации раствора) на показатели процесса.

Ключевые слова: пыль ЭДП, комплексная переработка, аммиачное выщелачивание, извлечение цинка.

В процессе электродуговой плавки (ЭДП) образуется большое количество пыли (шлама), которую, в основном, складировуют. Так, при производстве 1 т стали может образовываться около 15,5 кг пыли. Высокие температуры обуславливают высокое содержание в пылях цветных металлов, таких как цинк, свинец, олово и кадмий. Обычно пыль содержит около 25 % железа и 20-25 % цинка [1, С. 387-397]. Складирование прогрессивно растущих объемов пылей ЭДП приводит к загрязнению почвы, водоемов, грунтовых вод. Поэтому на сегодняшний день переработка отвалов подобных промышленных отходов становится одной из насущных задач с точки зрения экологической безопасности [2, С. 60-62]. Кроме того, пыль ЭДП из-за высокого содержания цинка и железа являются богатым вторичным ресурсом этих металлов, что обуславливает актуальность их переработки.

В настоящий момент существуют две основные группы технологий по переработке пыли ЭДП – пирометаллургические и гидromеталлургические. Пиропроецессы являются высокзатратными из-за использования дорогостоящего топлива, а также по причине большой энергоемкости процессов.

Гидрометаллургические процессы в качестве головной операции ис-

пользуют кислотное, щелочное и аммиачное выщелачивание. Серная кислота является доступным и недорогим реагентом, а также имеет высокую вскрывающую способность, однако характеризуется низкой селективностью. Применение щелочей более перспективно, но при этом возникают проблемы получения компактного цинка электролизом и регенерация растворителя. Аммиачное выщелачивание является практически полностью селективным, предполагает экологическую безопасность, имеет достаточно высокие показатели извлечения. Из-за присутствия в пыли ЭДП значительного количества (около 10 %) хлора наиболее подходящим для выщелачивания являются растворы хлорида аммония. Основной химической реакцией процесса аммиачного выщелачивания является [3, С. 111]:



#### *Методика исследований.*

Состав исходной пыли ЭДП: 23 % цинка, 26,4 % железа. Процесс проводили в термостате при механическом перемешивании в течение 2 часов. После окончания процесса пульпу фильтровали через бумажный фильтр, кек тщательно промывали, сушили и взвешивали. Полученный фильтрат и промывную воду анализировали методом трилонометрического титрования на содержание цинка и рассчитывали показатель извлечения.

Было проведено 27 опытов. Изменяли 3 основных параметра – температуру (20 °С, 50 °С, 80 °С), отношение Ж:Т (20:1, 14:1, 8:1), концентрацию хлорида аммония (3 моль/л, 5 моль/л, 7 моль/л). Отмечено, что при комнатной температуре 20 °С не может быть приготовлен раствор хлорида аммония с концентрацией 7 моль/л, поскольку реагент полностью не растворяется, но при более высокой температуре 50 °С хлорид аммония в количестве 37,45 г (что соответствует 7М концентрации) полностью переходит в раствор.

#### *Результаты и обсуждение.*

После проведения всех испытаний были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты опытов

3 моль/л			5 моль/л			7 моль/л		
Ж:Т	t, °С	Извл.,%	Ж:Т	t, °С	Извл.,%	Ж:Т	t, °С	Извл.,%
20:1	20	53,91	20:1	20	70,87	20:1	20	Хлорид аммония растворяется не полностью
14:1	20	42,26	14:1	20	59,21	14:1	20	
8:1	20	41,5	8:1	20	48,69	8:1	20	
20:1	50	65,71	20:1	50	74,26	20:1	50	80,35
14:1	50	62,82	14:1	50	70,71	14:1	50	78,75
8:1	50	54,26	8:1	50	61,12	8:1	50	75,41
20:1	80	83,13	20:1	80	87,10	20:1	80	98,32
14:1	80	75,01	14:1	80	86,96	14:1	80	92,72
8:1	80	70,26	8:1	80	70,61	8:1	80	86,50

В ходе исследований удалось установить, что на показатели извлечения цинка в раствор оказывают влияние все 3 фактора – с повышением температуры, отношения Ж:Т и концентрации хлорида аммония повышается и степень извлечения цинка. Наибольшее влияние на извлечение оказывает температура. При температуре 80 °С, отношении Ж:Т 20:1 и 7М концентрации  $\text{NH}_4\text{Cl}$  был достигнут максимальный показатель перехода цинка в раствор – 98,32 %. Образующийся аммиачно-хлоридный комплекс цинка устойчив и растворим в широком диапазоне рН. Для получения металлического цинка растворы предполагается перерабатывать методом электроэкстракции.

#### Библиографический список

1. Худяков И.Ф. *Металлургия вторичных тяжелых цветных металлов* [Текст]: учеб. для вузов / И.Ф. Худяков, А.П. Дорошкевич, С.В. Карелов. – М.: *Металлургия* - М, 1987. – 528 с.
2. Стовпченко А.П., Пройдак Ю.С., Камкина Л.В. Современное состояние проблемы переработки пыли дуговой сталеплавильной печи. // III Международная конференция "Сотрудничество для решения проблемы отходов". Харьков, 2009. - с. 60-64.
3. Тарасов А.В. *Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья* [Текст]: учеб. пособие / А.В. Тарасов, А.Д. Бессер, В.И. Мальцев. – М.: *Гинцветмет* - М, 2004. – 219 с.

УДК 669.187: 621.771.014

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДНЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ**

**Думова Л.В., Уманский А.А.**

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

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что увеличение длительности продувки рельсовой стали инертным газом в процессе внепечной обработки до 100 мин. и более позволяет снизить содержание кислорода, связанного в хрупкоразрушенные неметаллические включения, в рельсах на 2 ppm.

Ключевые слова: железнодорожные рельсы, дефекты, неметаллические включения, продувка инертным газом, внепечная обработка стали.

Имеющиеся научные и производственные данные [1, 2] свидетельствуют, что основной причиной преждевременного вывода из эксплуатации железнодорожных рельсов является образование контактно-усталостных де-

фектов, возникновение которых связано со скоплением хрупкоразрушенных оксидных включений.

Хрупкоразрушенные оксидные включения по степени пластичности при деформации занимают промежуточное положение между так называемыми «пластичными» включениями, которые изменяют свою форму и вытягиваются в строчки при прокатке (сульфидные включения, пластичные силикаты), и «хрупкими» включениями, которые при аналогичной обработке не вытягиваются, а дробятся (глинозём, кремнезём). Хрупкоразрушенные оксидные включения, представляющие собой в основном сложные окислы (алюминаты, силикаты, шпинели), при деформации способны вытягиваться в строчки, однако при достижении некоторого предельного значения степени деформации разрушаются. Основная масса хрупкоразрушенных оксидных включений в рельсовой стали (в частности алюминаты кальция) образуется при ее раскислении. Причем данный факт имеет место, несмотря на отказ от использования алюминия в качестве раскислителя для рельсовых сталей – алюминий в качестве побочного продукта вносится ферросплавами (феррованадий, силикомарганец и т.д.).

С целью определения характера и степени влияния технологических параметров раскисления и внепечной обработки стали на содержание общего кислорода в рельсовом прокате в условиях электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» выполнено исследование [3, 4], объектом которого явилась случайная выборка из 190 плавок рельсовой стали марки Э76Ф текущего производства.

При проведении исследования анализировали влияние следующих технологических параметров на содержание общего кислорода в рельсовом прокате:

- содержание углерода в стали перед выпуском из печи;
- содержание кремния в стали в первой пробе на агрегате «ковш-печь» (АКП);
- расход коксовой мелочи при раскислении стали на выпуске из печи;
- расход силикомарганца при раскислении стали на выпуске;
- продолжительность продувки инертным газом при обработке на АКП;
- продолжительность обработки стали на вакууматоре.

Использовали методику парного регрессионного анализа.

Проведенным анализом установлено значимое влияние на содержание общего кислорода в металле длительности продувки металла инертным газом на АКП. По полученным данным при увеличении длительности продувки стали в интервале 40-128 мин. наблюдается снижение концентрации общего кислорода в металле (рисунок 1).

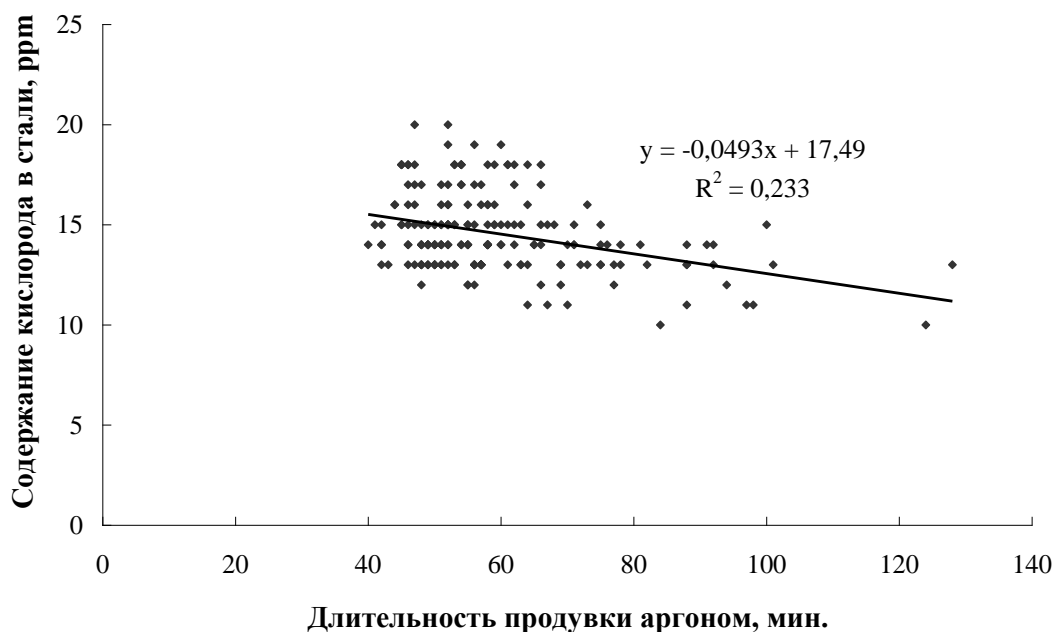


Рисунок 1 – Влияние длительности продувки аргоном при внепечной обработке стали на содержание кислорода в рельсах

Полученная зависимость объясняется известным явлением интенсификации процессов переноса неметаллических включений в шлак при увеличении длительности продувки. Поскольку процесс переноса включений пузырьками газа обусловлен общим свойством не смачиваемых жидкостью твердых частиц прилипать к находящимся в жидкости пузырькам газа – флотацией, то значительное влияние на степень рафинирования расплава оказывают силы адгезии, которые в свою очередь определяются размерами неметаллических включений и их составом. Таким образом, выбор оптимальной длительности продувки зависит от параметров, оказывающих влияние на состав образующихся неметаллических включений, в частности от марки стали, используемых раскислителей и легирующих добавок. Так применительно к условиям производства рельсовой стали марки Э76Ф в электросталеплавильном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК» значительное уменьшение концентрации хрупкоразрушенных оксидных включений наблюдается при увеличении длительности продувки более 100 мин.

Для анализа изменения концентрации хрупкоразрушенных оксидных включений в рельсовой стали при использовании технологии внепечной обработки с увеличенной продолжительностью продувки стали инертным газом проведена серия из 15 опытных плавов, на которых длительность продувки составляла не менее 100 мин. В качестве базы для сравнительного анализа использованы 19 плавов текущего производства, произведенных в этот же период. В результате установлено, что содержание общего кислорода и кислорода, связанного в хрупкоразрушенные неметаллические включения, в рельсах, полученных из стали опытных плавов, ниже на 2 ppm по сравнению с рельсами от плавов текущего производства. Длина строчек не-

металлических включений на рельсах, полученных из стали опытных плавок, ниже на 0,004 мм.

#### Библиографический список

1. Дерябин А.А., Добужская А.В. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали // Сталь. 2000. №11. С. 38–43.
2. Дерябин А.А., Рабовский В.А., Шур Е.А. Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте // Сталь. 2000. № 11. С. 82–85.
3. Козырев Н.А., Уманский А.А., Бойков Д.В. Разработка технологии внепечной обработки рельсовой электростали, обеспечивающей повышение эксплуатационной стойкости рельсов // Черные металлы. 2015. №4. С. 29-33.
4. Козырев Н.А., Протопопов Е.В., Уманский А.А., Бойков Д.В. Совершенствование технологии раскисления и внепечной обработки рельсовой электростали с целью повышения качества рельсового проката // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Т.58. №10. С. 721-727.

УДК 669.15.017

### **ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА**

**Садыкина Р.А.**

**Научный руководитель: доцент Чернышева Н.А.**

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

Произведены расчеты материального баланса кислородно-конвертерной плавки стали марки 35Г2С. Установлено, что использование в конвертерном производстве низкокремнистого и маломарганцовистого жидкого чугуна, повышает технико-экономическую эффективность производства.

Ключевые слова: конвертерное производство, производительность, материальный баланс, маломарганцовистый и низкокремнистый чугун.

Конвертерное производство России характеризуется достаточно высоким техническим уровнем и технологической оснащенностью, перерабатывает чугуны различного состава с различной долей твердой шихты и обеспечивает возможность выплавки высококачественных сталей самых сложных марок.

В последние два десятилетия рост объёма производства стали достиг уровня 1,6 млрд. т и это означает, что сталь сохранит свои позиции как основной конструкционный материал XXI века.

Производительность конвертера и цеха в целом зависит от достаточно большого количества факторов и, в общем случае, определяется по следую-

щему выражению:

$$P = T \cdot m \cdot \frac{365 \cdot 24 \cdot (1 - k)}{t \cdot 100},$$

где  $T$  – садка конвертера, т. Садка или емкость конвертера – это масса чугуна или скрапа, загружаемых в конвертер;

$m$  – выход годного (годных слитков при разливке в изложницы или годных литых заготовок при разливке на МНЛЗ). Выход годных слитков и литых заготовок из 100 % металлозавалки определяется потерями металла в процессе выплавки и в процессе разливки металла. Выход жидкой стали обычно составляет  $m_{ж} = 88 - 93\%$ ;

$t$  – продолжительность плавки, ч. Продолжительность плавки зависит от большого количества факторов и в целом определяется продолжительностью продувки и продолжительностью вспомогательных операций;

$k$  – доля простоев.

Одним из важнейших вопросов в организации рациональной технологии сталеплавильного производства и увеличении объема производства (выхода годного) является проблема выбора состава шихты.

Эффективной с точки зрения улучшения технико-экономических показателей конвертерного процесса является переработка низкокремнистого и маломарганцовистого чугунов.

В целях решения проблемы выполнен расчёт материального баланса плавки стали марки 35Г2С при использовании чугунов различного химического состава (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 - Сравнительные технико-экономические показатели конвертерного передела чугунов с различным содержанием марганца

Показатели	Содержание марганца в чугуне, %									
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80
Расход $O_2$ , $м^3/т$	50,9	51,0	51,2	51,3	51,4	1,5	51,6	51,9	52,1	52,4
Количество шлака, %	13,3	13,3	13,4	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9
Выход жидкого металла, %	93,6	93,6	93,5	93,5	93,4	93,4	93,3	93,2	93,1	93,0
Выход годного металла, %	92,1	92,1	92,0	92,0	91,9	91,9	91,8	91,7	91,6	91,5
Расход металло-шихты, кг/т	1111	1112	1112	1113	1113	1114	1114	1115	1116	1117

Результаты проведенных расчётов показывают, что переход на использование в конвертерном производстве низкокремнистого и маломарганцовистого жидкого чугуна в конвертерах повышает технико-экономическую эффективность производства в результате уменьшения расхода флюса (извести) и кислорода, увеличения выхода годного металла.

Разработка предложенной технологии конвертерного передела чугунов различного химического состава также позволяет улучшить показатели доменного процесса (снизить расход кокса на 3-5 %, увеличить производительность доменных печей на 3-4 %).

Таблица 2 – Сравнительные технико-экономические показатели конвертерного передела чугунов с различным содержанием кремния

Показатели	Содержание кремния в чугуне, %									
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80
Количество шлака, %	7,6	8,2	8,7	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9
Расход $O_2$ , м <sup>3</sup> /т	44,3	45	51,2	51,3	51,4	51,5	51,6	51,9	52,1	52,4
Расход извести, кг/т	43,4	47,5	50,8	54,4	58,1	61,7	65,4	72,7	79,1	87,3
Выход жидкого металла, %	94,8	94,7	94,5	93,5	93,4	93,4	93,3	93,2	93,1	93,0
Выход годного металла, %	93,3	93,2	92,0	92,0	91,9	91,9	91,8	91,7	91,6	91,5
Расход металлоспихты, кг/т	1111	1111	1112	1113	1113	1114	1114	1115	1116	1117

УДК 669.187 : 621.771.014

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ФЕРРОСПЛАВОВ ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ**

**Думова Л.В., Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, e-mail: dumova@bk.ru*

С целью снижения концентрации алюминия в рельсовом металле проведено опытно-промышленное опробование технологии раскисления стали



марки Э76Ф новыми видами ферросплавов. Комплексным анализом показана технико-экономическая эффективность использования силикомарганца марки FeMnSi30HP взамен традиционно используемого силикомарганца марки MnC18.

Ключевые слова: рельсовая сталь, раскисление, ферросплавы, алюминий, механические свойства.

Согласно действующего ГОСТ Р 51685-2013 содержание алюминия в рельсовой стали не должно превышать 0,004 % с допуском отклонением в готовых рельсах + 0,001 %. Данное ограничение связано с крайне отрицательным влиянием алюминатов на эксплуатационные характеристики железнодорожных рельсов [1, 2]. Практический опыт производства рельсовой стали показывает, что отказ от использования алюминия в качестве раскислителя не всегда позволяет выполнить вышеприведенное требование ГОСТ, так как алюминий в качестве побочного элемента вносится ферросплавами. В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка технологии раскисления ферросплавами с пониженным содержанием алюминия.

В рамках указанного направления проведена серия опытно-промышленных плавов, при раскислении которых использовался силикомарганец марки FeMnSi30HP взамен традиционно используемого силикомарганца марки MnC18 [3, 4]. Фактическое содержание алюминия в силикомарганце марки FeMnSi30HP, определенное при входном контроле, составило 0,20 %.

По результатам проведенного промышленного эксперимента установлено следующее:

1. Среднее содержание алюминия в металле опытных и сравнительных плавов текущего производства составило 0,0022 % и 0,0029 % соответственно.
2. Среднее содержание кремния в металле опытных плавов перед обработкой на вакууматоре составило 0,319 % против 0,316 % на плавках сравнения;
3. Степень сквозного усвоения углерода и кремния в среднем увеличилась на 4 % и 13 % соответственно, что достигнуто за счет более глубокого раскисления металла в процессе выпуска из печи, обусловленного введением большего количества кремния. Так, на выпуске металла из печи усвоение углерода возросло почти в два раза и составило 49,67 % на опытных плавках против 24,60 % на плавках сравнения. Усвоение кремния увеличилось в 1,1 раза (93,60 % против 88,09 %).

Оценка механических свойств рельсов после прокатки (до закалки), полученных при использовании опытной технологии, показала, что служебные характеристики металла соответствуют требованиям ГОСТ и находятся на уровне плавов текущего производства (таблица 1).

Расчет экономической эффективности провели исходя из фактически полученного расхода ферросплавов на опытных плавках при текущем уровне цен. Расход ферросплавов при использовании опытной и существующей технологии раскисления рельсовой стали представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Механические свойства горячекатаных рельсов (до закалки)

Параметр	Механические свойства при растяжении горячекатаных рельсов				Твёрдость на поверхности головки, НВ
	$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\delta$	$\Psi$	
	Н/мм <sup>2</sup>		%		
Средние значения на опытных плавках (категория Т1)	601,4	1085,0	11,26	17,04	326,9
Среднегодовые значения (категория Т1)	628,5	1086,8	10,72	17,79	328,3
Средние значения на опытных плавках (категория НЭ)	665,0	1095,0	11,50	17,00	317,0
Среднегодовые значения (категория НЭ)	691,4	1128,6	9,82	15,87	336,8
Требования ГОСТ (не менее)	-	900	5,0	-	-

Пониженный расход ферросилиция на опытных плавках получен в связи с тем, что содержание кремния в ферросплаве марки FeMnSi30HP выше по сравнению с силикомарганцем MnC18. Также следует отметить, что применение незначительного количества силикомарганца марки MnC18 на опытных плавках (0,10-0,11 кг/т) было вызвано необходимостью корректировки массовой доли марганца в металле в процессе обработки на установке вакуумирования.

Таблица 2 – Расход ферросплавов при производстве стали Э76Ф

Наименование ферросплава	Расход ферросплавов, кг/т		Отклонение, кг/т
	опытная технология	существующая технология	
<i>категория Т1</i>			
Силикомарганец MnC18	0,11	10,13	- 10,02
Ферросилиций ФС65	0,30	2,55	- 2,25
Силикомарганец FeMnSi30HP	12,16	0	+ 12,16
<i>категория НЭ</i>			
Силикомарганец MnC18	0,10	10,28	- 10,18
Ферросилиций ФС65	0,29	2,48	- 2,19
Силикомарганец FeMnSi30HP	11,76	0	+ 11,76

По полученным расчетным данным экономическая эффективность от использования нового ферросплава марки FeMnSi30HP для раскисления

рельсовой стали Э76Ф составила: для категории рельсов Т1 – 13,99 руб/т стали; для категории рельсов НЭ – 32,64 руб/ т стали.

#### Библиографический список

1. Дерябин А.А., Рабовский В.А., Шур Е.А. Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте // Сталь. 2000. № 11. С. 82–85.
2. Дерябин А.А., Добужская А.В. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали // Сталь. 2000. №11. С. 38–43.
3. Козырев Н.А., Уманский А.А., Бойков Д.В. Исследование и оптимизация технологии производства рельсовой электростали с целью повышения качества рельсового проката и технико-экономических показателей его производства // Вестник СибГИУ. 2014. №3 (9) С. 11-16.
4. Козырев Н.А., Уманский А.А., Бойков Д.В. Разработка эффективных технологий раскисления и внепечной обработки рельсовой электростали, обеспечивающих повышение качества рельсов // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. С. 238-243.

УДК 669.187 : 621.771.014

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВ**

**Денисов Я.В., Уманский А.А.**

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

Разработан новый режим прокатки железнодорожных рельсов на универсальном рельсобалочном стане АО «ЕВРАЗ ЗСМК», позволяющий предотвратить переход внутренних дефектов непрерывнолитых заготовок в наиболее ответственный элемент готовых рельсов. Отличительной особенностью нового режима прокатки является использование резки заготовки в подготовительном калибре.

Ключевые слова: железнодорожный рельс, непрерывнолитая заготовка, схема прокатки, внутренние дефекты, форма калибра

Условия эксплуатации железнодорожных рельсов делают недопустимыми наличие в головке рельсов внутренних дефектов. Поэтому одной из основных задач при использовании для производства рельсовых профилей исходных непрерывнолитых заготовок со значительной осевой пористостью и центральной ликвацией является предотвращение перехода указанных

внутренних дефектов заготовок в головку рельса после прокатки. Имеющиеся данные различных исследователей [1-4] свидетельствуют о возможности управления процессом формоизменения внутренних дефектов за счет корректировки режимов прокатки.

Для условий нового, запущенного в эксплуатацию в 2013 г., универсального рельсобалочного стана АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено, что при использовании стандартной схемы прокатки происходит значительное смещение осевой пористости к головке рельса (рисунок 1 а).

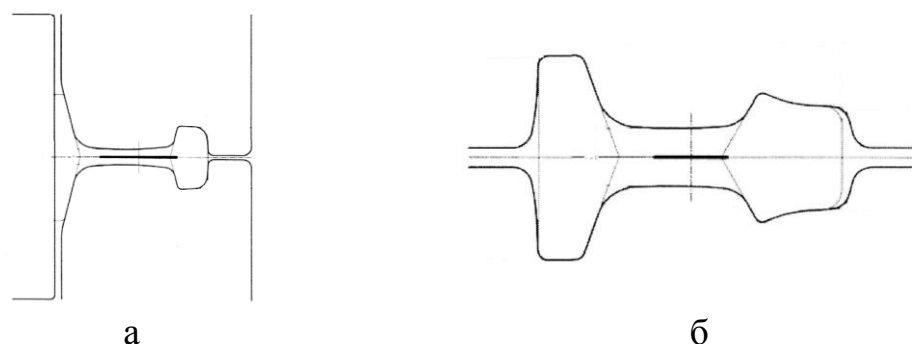


Рисунок 1 – Расположение осевой пористости при прокатке:  
а – в готовом рельсе; б – в подготовительном калибре

Данный факт обусловлен тем, что при формировании чернового профиля в подготовительных калибрах центральная часть заготовки располагается значительно ближе к внутренним поверхностям головки рельса по сравнению с внутренними поверхностями подошвы (рисунок 1 б), а при дальнейшей прокатке в чистовых универсальных калибрах обжатие головки вертикальными валками превышает обжатие подошвы практически в 2 раза.

С целью устранения указанного недостатка на основании имеющихся научных и производственных данных [5] разработан новый режим прокатки рельсовых профилей с разрезкой заготовки в трапецевидном калибре (рисунок 2).

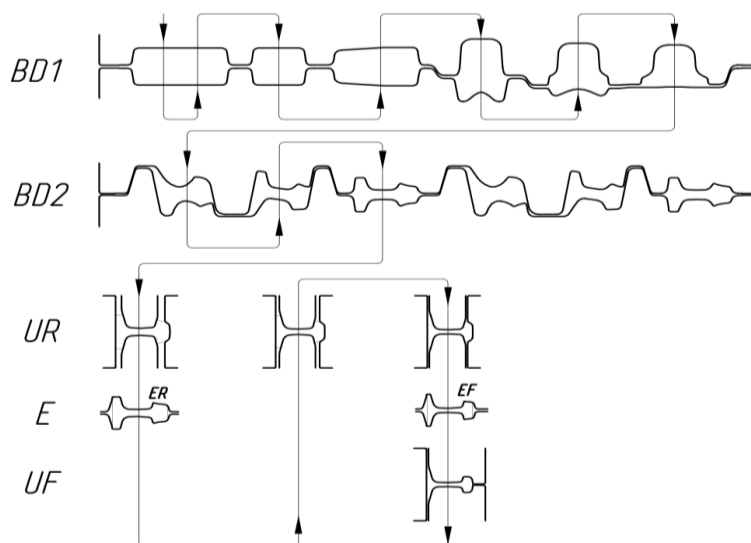


Рисунок 2 – Схема прокатки рельсов с разрезкой заготовки в трапецевидном калибре

Разработанный режим прокатки позволяет предотвратить смещение внутренних дефектов в головку рельса, что подтверждено данными опытно-промышленной прокатки заготовок со значительной осевой пористостью [6] – после прокатки в разрезном калибре происходит перемещение внутренних дефектов в сторону формируемой подошвы рельса (рисунок 3 а), в результате чего в готовом профиле осевая пористость не выходит за пределы шейки (рисунок 3 б). Полученные данные свидетельствуют, что схема прокатки с резкой заготовки в трапециевидном калибре является оптимальной при использовании исходных непрерывнолитых заготовок со значительной осевой пористостью и центральной ликвацией.

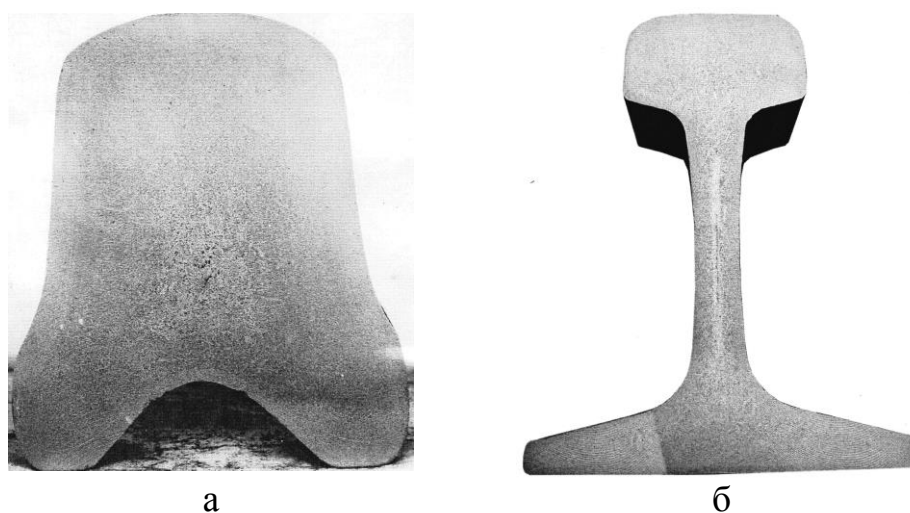


Рисунок 3 – Макроструктура рельсового профиля при прокатке из заготовок со значительной осевой пористостью: а – в разрезном калибре; б – в чистовом калибре

#### Библиографический список

1. Логинов Ю.Н. Поведение при прокатке дефекта типа поры, примыкающей к поверхности полосы / Ю.Н. Логинов, К.В. Еремеева // Производство проката. 2008. №10. С. 2-6.
2. Dyja H. The influence of rolling process parameters and lengthening grooves shape on closing internal material discontinuities / H. Dyja, K. Sobczak // 7th International Conference Mechatronic Systems And Materials. Kaunas: Kaunas University of technology, 2011. P. 192.
3. Логинов Ю.Н. Прокатка заготовки с одиночно расположенной в объеме порой / Ю.Н. Логинов, К.В. Еремеева // Заготовительное производство в машиностроении. 2009. №11. С. 33-37.
4. Tripathy P.K. Migration of slab defects during hot rolling / P.K. Tripathy, S. Das, M.K. Jha // Iron and making and Steelmaking. 2006. №6. pp. 447-483.
5. Дорофеев В.В. Анализ формоизменения осевой пористости при универсальной прокатке рельсов в зависимости от схемы деформации в черновых калибрах / В.В. Дорофеев, А.В. Добрянский, А.Ю. Каретников, В.В. Ерастов, В.Н. Перетяtko // Сталь. – 2012. – №11. – С. 32-35.

6. Головатенко А.В. Разработка и совершенствование режимов прокатки длинномерных железнодорожных рельсов на универсальном рельсобалочном стане / А.В. Головатенко, А.А. Уманский, В.Н. Кадыков // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Москва-Новокузнецк, 2015. Вып. 35. С. 43-51.

УДК 669.041.47

## **СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА НА НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»**

**Гальчун А.Г.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.,  
канд. техн. наук Сюсюкин А.Ю.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»,  
г. Новокузнецк, e-mail: nasgal7574@mail.ru*

Разработаны мероприятия по снижению расхода топлива на нагревательной печи с шагающими балками шаропрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» на основе аналитического обзора современных технических решений по экономии топлива в нагревательных устройствах черной металлургии. Проведены теплотехнические расчеты, подтверждающие эффективность предлагаемых мероприятий.

Ключевые слова: шаропрокатный стан, камерная печь с шагающими балками, расход топлива, кладка печи, волокнистая теплоизоляция, опорные трубы, металлический петлевой рекуператор, оребренный пластинчатый теплообменник, тепловой баланс.

Выбранная тема особенно актуальна в настоящее время в связи со сложным экономическим положением в металлургической отрасли. Повышение цен на топливо, ограничение рынка сбыта заставляет потребителей и производителей печного оборудования и теплотехников принимать решительные меры, направленные на экономию энергоресурсов в нагревательных печах.

Шаропрокатное производство на АО "ЕВРАЗ ЗСМК" оборудовано двумя шаропрокатными станами общей производительностью до 120 тысяч тонн в год. Объектом исследования в настоящей работе была камерная печь с шагающими балками с торцевой посадкой и выдачей заготовок, расположенная на печном участке шаропрокатного стана №2 (ШПС -2). В печи производится нагрев под прокатку заготовок из углеродистых марок сталей. Печи отапливаются природным газом с теплотой сгорания 34769 кДж/ч, который сжигается в газовых плоскопламенных горелках (ГР-1500П). Максимальный расход газа на печи составляет 1300 м<sup>3</sup>/час, а рабочий расход - 1100 м<sup>3</sup>/час [1].

Анализ эффективности тепловой работы печи проводился на базе расчета теплового баланса. Балансовые испытания нагревательных печей проводятся с периодичностью один раз в два года с целью оценки основных технико-экономических показателей работы печи (коэффициент полезного действия КПД и коэффициент использования топлива КИТ) и поиска путей их повышения.

Печь ШПС -2 является печью периодического действия, нагрев в ней осуществляется по циклу: посадка – нагрев – выдача. В работе для расчетов принимались данные практического опыта [2].

КПД действующей печи составляет 21,79 %, а КИТ - 56,96 %.

Расчет теплового баланса и сравнение его со средними показателями работы печей такого же типа позволяет сделать вывод, что анализируемая печь имеет высокие потери тепла с охлаждающей водой, теплопроводностью через кладку и с уходящими продуктами сгорания. Высокие потери тепла этих статей теплового баланса, в свою очередь, ведут к увеличению расхода топлива, снижению КПД и КИТ печи.

Для повышения эффективности работы печи с шагающими балками ШПС-2 предлагается осуществить ряд мероприятий:

1. Установить теплоутилизирующее устройство - рекуператор.
2. Применить эффективные огнеупорные и теплоизоляционные материалы в кладке свода и стен.
3. Применить волокнистую изоляцию на опорных трубах.

Для футеровки нагревательных печей широко применяются жароупорные бетоны, пластичные и набивные массы, волокнистые и легковесные огнеупоры. Большой эффект дает выполнение подвесного свода из жароупорного бетона. Проанализировав актуальную в настоящее время информацию, можно сделать вывод, что применение таких материалов снизит расход топлива примерно на 3-5 %.

Что же касается изоляции опорных труб, эта статья потерь тепла является наиболее существенной, и наилучшие результаты показывает двухслойная изоляция с наружным слоем из жароупорного бетона и внутренним – из керамического материала. Уменьшение потерь тепла на водоохлаждаемые элементы может составить примерно 10-15 %.

Нагревательные печи, как правило, оборудуются рекуператорами – теплообменниками непрерывного действия, в которых за счет тепла уходящего дыма подогревается воздух (реже газ) для горения [3].

Исходными данными для выбора и расчета рекуператора являются требуемая температура подогрева воздуха, температура уходящего дыма и конкретные условия работы рекуператора. Для рассматриваемой нами печи уместно использование металлического трубчатого петлевого рекуператора [4], расчет которого позволил определить необходимую поверхность нагрева рекуператора и др. конструктивные показатели его работы.

Обзор последних достижений в области утилизации тепла в черной металлургии показал, что в настоящее время альтернативой металлическому

рекуператору стали отечественные оребренные пластинчатые теплообменники (ОПТ), характеристики которых превышают практически все показатели зарубежных аналогов. Особенностью и специфичностью рекуператоров ОПТ является фактор равномерного распределения входящих потоков (как по дымовой, так и по воздушной сторонам). Был сделан сравнительный анализ трубчатого рекуператора и ОПТ, из которого можно сделать вывод, что самый главный плюс рекуператора ОПТ по сравнению с металлическим рекуператором - это низкие масса и объем конструкции. Еще одним важным преимуществом ОПТ является его достаточно низкая цена.

В работе также был сделан расчет и анализ теплового баланса после установки рекуператора [5]. В результате количественного перераспределения потерь тепла по статьям теплового баланса коэффициент полезного действия печи (КПД) увеличился и составил 27,9 %, а коэффициент использования топлива (КИТ) составил 64,4 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что установка рекуператора на печь ШПС-2 позволит повысить КПД на 6,1%, а КИТ – на 7,4 %.

Сравнение показателей расхода топлива до и после установки рекуператора показало возможность экономии топлива на 23,3 %.

Основные результаты, полученные в работе, следующие:

– проанализированы возможные пути экономии топлива при действующей технологии нагрева,

– обоснованы и выбраны модернизирующие конструктивные элементы (волоконистая изоляция на опорных трубах, более эффективные огнеупорные и теплоизоляционные материалы в кладке стен и свода, теплоутилизирующее устройство),

– представлено расчетное подтверждение эффективности установки рекуператора, а именно, на базе составления теплового баланса показано повышение основных технико-экономических показателей работы печи (КПД, КИТ, расхода топлива).

#### Библиографический список

Камерная печь с шагающими балками ШПС-2: технический паспорт / Ф.И. Медведев, Е.А. Нюняев, Е.А. Колотов; ОАО "Новокузнецкий металлургический комбинат" – Новокузнецк: 2004. – 21 с.

2. Проведение тепловых испытаний печи с шагающими балками ШПС-2: отчёт / Е.А. Колотов, Е.В. Могильный, А.Ю. Сюсюкин; ОАО "ЕВРАЗ ЗСМК" – Новокузнецк: 2008. – 22 с.

3. Рекуператоры для промышленных печей: учеб.пособие/ В.М. Павловец; Сиб. гос. индустр. ун-т.– Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2012.– 218 с.

4. Расчеты камерных печей: учебник / В.В Стерлигов, Т.А Михайличенко; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. –110с.

5. Теплотехника металлургического производства. В 2т. Т.2: Конструкция и работа печей: учебное пособие для вузов / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков [и др.] – М.: МИСИС, 2001. – 736 с.



## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СВЯЗУЮЩИХ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

**Шафикова С.А., Мухарлямова В.И.**

**Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, E-mail: pawlowets.victor@yandex.ru*

Проведена оценка эффективности применения различных видов связующих в технологии переработки техногенного железосодержащего сырья.

Ключевые слова: связующие, техногенное железосодержащее сырье, переработка, брикетирование.

Техногенное вторичное сырье (ТВС) – это минеральные ресурсы, содержащиеся в отходах производства, переработка которых технически и экономически целесообразна для получения конечной продукции, эквивалентной по своим качествам продукции из минерального сырья [1-4]. Технология переработки железосодержащего ТВС включает ряд технологических операций (сгущение, обезвоживание, дозирование и др.), предшествующих окускованию, и является сложной технической задачей.

Выбор способа окускования ТВС (брикетирование, агломерация или производство окатышей) 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 окусковывать 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 смешивание с брикетируемым материалом. При холодном брикетировании сохраняются свойства компонентов, входящих в брикеты, и поэтому этот способ окускования является экологически относительно чистым способом окускования. Брикетирование расширяет сырьевую и топливно-энергетическую базу металлургии, позволяет шире внедрять внедоменные способы получения железа.

Эти преимущества позволяют эффективно решать такие актуальные задачи, как получение новых, комплексных видов сырья, включающих окси-

ды железа, восстановитель и флюс, внедрение эффективных способов обработки сырья, например, металлизацией, снижение вредного влияния металлургических процессов на окружающую среду. Однако по этим причинам требуется применения более эффективных связующих, которые повышают стоимость брикетов, а в ряде случаев снижают содержание железа в товарной продукции. Несмотря на эти ограничения, брикетирование в процессе окускования ТВС успешно развивается, а доля брикетов в шихте доменной плавки повышается [2-4]. Схема технологии брикетирования приведена на рисунке 1.

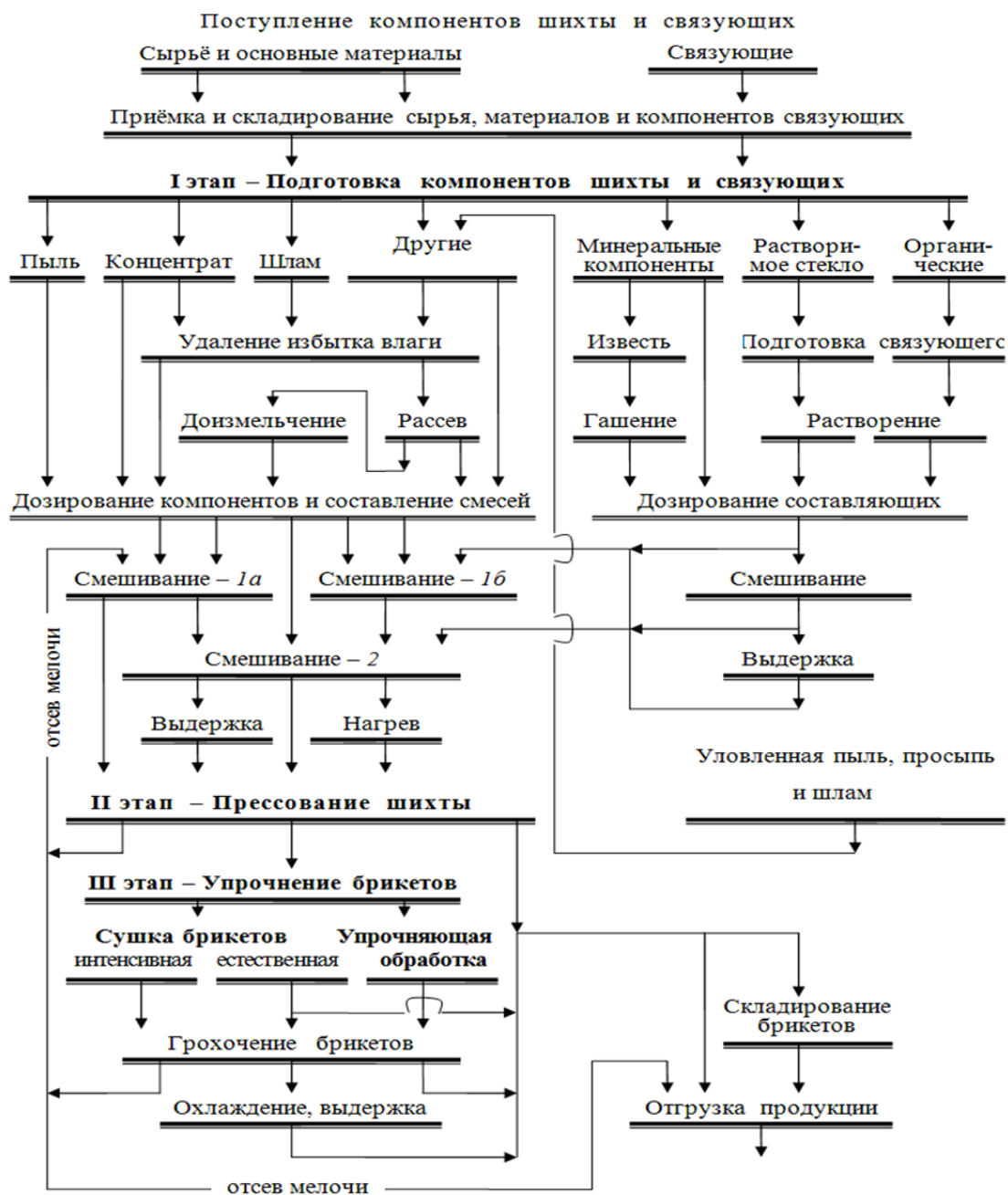


Рисунок 1 – Технологическая схема брикетирования сырья

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.) [1].

При разработке технологии брикетирования металлургического сырья используют показатели экономической эффективности (общей и сравнительной), условия необходимости и достаточности той или иной операции технологического процесса и величины её параметра. Применение этих общих критериев в принципе может обеспечить выбор технологического маршрута и его параметров. При необходимости могут быть привлечены и другие критерии, такие как: соответствие способов обработки сырья и оборудования качеству обрабатываемого сырья, техническая сложность процесса, стоимостные критерии и др.

Необходимость соответствия способов окускования сырья и типа оборудования качеству обрабатываемого материала вытекает из возможностей процесса и технологического оборудования. Критерий технической сложности позволяет выбрать наименее интенсивный процесс с умеренными параметрами. Стоимостные критерии при близких технических характеристиках позволяют выбирать более дешёвый, следовательно, и наиболее выгодный вариант. К их числу относят стоимость капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат, сумма экологических потерь и др. Рассмотренные критерии пригодны для выбора любых технических параметров оборудования или параметров технологических процессов.

Наиболее обосновано данная задача решается методом функционально-стоимостного анализа, т.к. относится к классу задач технико-экономического характера, связанных с определёнными условиями, в число которых включается необходимость стоимостной оценки влияния каждого учтённого фактора на себестоимость брикетирования. При наличии нескольких альтернативных факторов или операций, затраты на их реализацию сопоставляются с экономией от повышения прочности брикетов, упрощения или удешевления технологии. При этом выбирают вариант с максимальной эффективностью.

При брикетировании многих видов измельчённого 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 на любом технологическом этапе. Они должны 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 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.

Связующие подразделяют на три типа: минеральные (неорганические), органические и комбинированные [1-3]. К наиболее распространённым неорганическим связующим относят гашёную известь, жидкое стекло, глинозёмистый и портландский цементы, бентонитовые и нонтронитовые 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) и т.п. Общим недостатком органических связующих является пиролиз или выгорание при высоких температурах, снижающие их прочность, а также внос в брикеты некоторого количества серы.

Для сравнения эффективности разных видов связующих на кафедре теплоэнергетики и экологии выполнили холодное брикетирование железосодержащих шламов ККЦ-2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (рисунок 2). Исходные данные для брикетирования: средний размер частиц шлама 0,068 мм, массовая доля связующего 10 %, давление прессования 50 МПа. Температура сушки 105 °С, время сушки 30 минут. Форма брикетов – Архимедов цилиндр (h=d=15 мм).

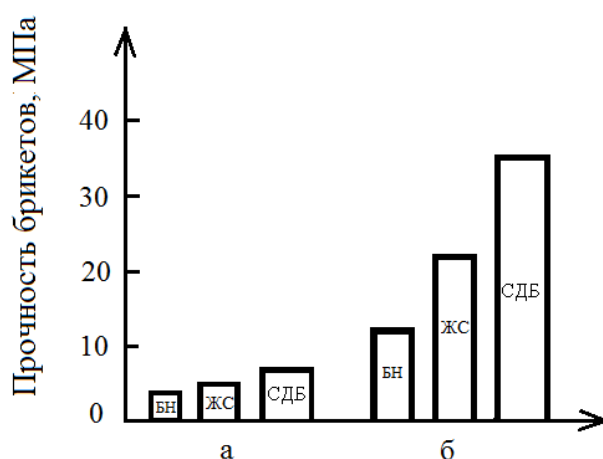


Рисунок 2 – Влияние различных видов связующих материалов на прочность железосодержащих брикетов: а - влажных после брикетирования; б - после сушки. СДБ – сульфитдрожжевая бражка; ЖС – жидкое стекло (50 % водный раствор); БН – бентонитовая глина в шихте, содержащей 8 % воды

Эксперименты показывают, что максимальная прочность брикетов достигнута при использовании сульфитдрожжевой бражки (СДБ). Это связующее обладает необходимым временем схватывания, позволяя более качественно обеспечить процедуры дозирования, смешивания и собственно брикетирования. Шихтовая смесь, содержащая СДБ, обладает лучшими по сравнению с другими связующими пластическими свойствами, позволяя качественно организовать процесс брикетирования. Получаемые брикеты правильной формы, без расслоений и трещин, что непосредственно влияет на их прочность. При этом термическая сушка брикетов позволяет дополнительно до 10 раз увеличить прочность брикетов. Повышение прочности брикетов после обжига можно прогнозировать от 10 до 20 раз. В частности, известно, что прочность железорудных окатышей повышается более чем в 25-30 раз после высокотемпературного обжига при температуре 1250-1300 °С [5-6]. Процесс термообработки металлургических брикетов при оптимальной температуре обжига должен быть направлен на получение брикетов со стандартной прочностью (более 40-60 МПа) [1].

Используя полученные данные можно сделать вывод о том, что используя СДБ, термообработку брикетов можно ограничить термической сушкой, подобрав для этого опытным путем температуру и длительность сушки. При использовании ЖС и БН необходим упрочняющий обжиг брикетов, причем температура обжига может быть скорректирована (уменьшена) путем использования комбинированного связующего, например, смеси СДБ и БН. При этом в суммарной стоимости затрат на производство брикетов должна быть учтена стоимость связующих и затраты на их транспортировку от места их производства до брикетной фабрики.

#### Библиографический список

1. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Ю.Г. Ярошенко [и др.] – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.
2. Ожогин В. В. Основы теории технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
3. Павловец В. М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В. М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. Монография / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – 373 с.
5. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю. С. Юсфин [и др.]. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
6. Физико-химические и теплотехнические основы производства железорудных окатышей / В. М. Абзалов [и др.]. – Екатеринбург: НПВП «ТОРЕКС», 2012. – 340 с.

## **МОДЕЛЬ ВЫБОРА СВЯЗУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

**Ульянина В.А., Семенов В.М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, E-mail:pawlowets.victor@yandex.ru*

Разработана модель выбора связующего материала для процесса брикетирования железосодержащего сырья. Проведена оценка эффективности применения различных видов связующих в технологии переработки техногенного железосодержащего сырья.

Ключевые слова: модель, связующие, техногенное железосодержащее сырье, переработка, брикетирование.

Полные затраты на производство брикетов из техногенного железосодержащего сырья включают большое количество расчётных технико-экономических показателей. Одним из этих показателей является стоимость на приобретение и использование связующих материалов для брикетирования, которая является одной из определяющих в затратах на производство брикетов. Гибкость этой статьи расходов заключается в том, что при выборе технологического маршрута существует выбор из большого многообразия связующих материалов различной эффективности и стоимости, возможность исключить или использовать высокотемпературный обжиг после брикетирования, снизить затраты на транспортировку связующего, используя более дешёвый вид транспорта и другие [1].

В работе представлена вероятная (качественная) модель выбора типа связующего материала для брикетирования железорудного сырья в виде многоступенчатой номограммы (рисунок 1). На первом этапе выбора типа связующего требуются экспериментальные исследования по влиянию удельного расхода связующего ( $G_{св}$ , кг/кг брикетируемой массы) на механическую прочность брикетов ( $P_{сх}$ , МПа) после низкотемпературной сушки ( $t=105$  °С,  $\tau=30$  мин, рисунок 1, а). Для примера показана зависимость  $P_{сх}$  от  $G_{св}$  для СДБ (сульфитдрожжевая бражка), ЖС (50 % водный раствор жидкого стекла), БН (бентонитовая глина в шихте, содержащей 8 % воды). При необходимости можно получить экспериментальные данные для комбинированных связующих, содержащих смесь СДБ, ЖС и БН в разных пропорциях, или для другого типа связок.

Затем следует определиться с направлением утилизации брикетов в одном из металлургических пределов (доменном, конвертерном, электрометаллургическом), для каждого из которых требуется стандартная величина механической прочности [1-5]. Как правило, ее нижнее значение должно

превышать величину 40-60 МПа. Верхнее значение прочности потребители назначают самостоятельно, учитывая, что чем выше механическая прочность сырья, тем меньше его разрушение и потерь сырья при последующей транспортировке брикетов и восстановительно-тепловой обработке в печных агрегатах [6]. Если прочность брикетов по выбранной схеме недостаточна, то следует назначить обжиг сырья при соответствующей температуре  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  (рисунок 1, б).

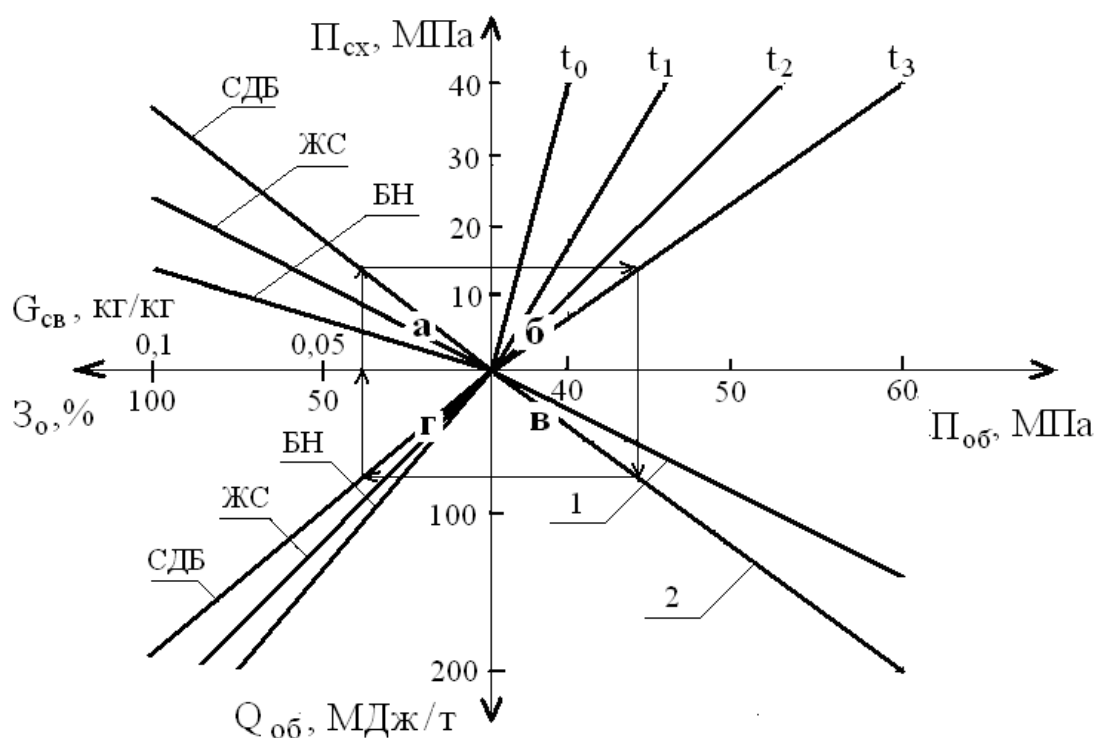


Рисунок 1– Номограмма для выбора оптимального вида связующего для брикетирования

При этом следует учитывать, что чем выше температура обжига, тем выше прочность брикетов. На этом этапе работы требуются экспериментальные исследования, в итоге которых определяется температура и длительность обжига, а в ряде случаев и режим нагрева с соответствующей скоростью нагрева. Полезное воздействие тепловой обработки на прочность сырья связано с появлением затрат на топливо или электроэнергию ( $Q_{об}$ , МДж/т [2]) при наличии действующего теплового оборудования (рисунок 1, в; линия 1), необходимого для сушки и обжига. При отсутствии такого оборудования, необходимого для термообработки, следует предусмотреть затраты на его сооружение (рисунок 1, в; линия 2). Немаловажным фактором является стоимость самого связующего, полученного на предприятии изготовителе. На рисунке 1, г отражено различие цен выбираемых связующих (линии графика соответствуют уровню цен на БН, ЖС и СДБ). Поэтому прочность обожженных брикетов ( $P_{об}$ , МПа) и затраты на топливо или электроэнергию

( $Q_{об}$ , МДж/т) трансформируются в дополнительные затраты на их производство по критерию  $Z_0$ , %. Его величина условно принята безразмерной, поскольку абсолютное значение затрат требует дополнительных технологических и экономических расчетов. Следует отметить, что производитель связующих материалов часто указывает стоимость в некотором интервале значений цен, отмечая, что цены являются договорными. Если стоимость бентонитовых глин у производителя взять за 1,0 (42-44 руб/кг), то стоимость ЖС и СДБ будет составлять соответственно 1,5 и 1,9. На этом этапе выбора связующего для брикетирования в суммарном критерии  $Z_0$  можно учесть и уровень затрат на транспортировку (расстояние и вид транспорта) связующего от места его производства до брикетной фабрики. Зная о том, что водный и автомобильный транспорт менее затратный, чем железнодорожный, можно на этом этапе подобрать связующие материалы, которые потребуют меньших затрат на транспортировку. В свою очередь, затраты на транспортировку автомобильным транспортом зависят от вида автомобиля, его грузоподъемности и меняются от 10,4 до 46,4 тыс. рублей за тонну груза. Рассматривая различные связующие материалы и их технологические маршруты в этой технической схеме можно подобрать эффективные связки, позволяющие получать брикеты из техногенного железосодержащего сырья с минимальными затратами.

#### Библиографический список

1. Ожогин В. В. Основы теории технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010.– 442 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. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю. С. Юсфин [и др.]– М.: Металлургия, 1994.– 240 с.
5. Физико-химические и теплотехнические основы производства железорудных окатышей/В. М. Абзалов [и др.]. – Екатеринбург: НПВП «ТОРЕКС», 2012.– 340 с.
6. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Ю.Г. Ярошенко [и др.]– Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012.– 670 с.



## ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СВИНЦОВОГО СЫРЬЯ

**Каргапольцева Т.Н.**

**Научный руководитель: профессор Мамяченков С.В.**

*Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
г. Екатеринбург, e-mail: diveevo@mail.ru*

Особое внимание акцентируется на переработку вторичного свинцового сырья (аккумуляторного лома). Существуют различные технологии переработки данного сырья, но в этих технологиях имеются определенные трудности. В данной статье приводятся проблемы, связанные с переработкой отработавших аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: свинец, отработавшие аккумуляторные батареи, утилизация электролита, десульфуризация, состав аккумуляторного лома

Производство свинца в России развивается. Основными потребителями свинца являются производители свинцово-кислотных батарей, поэтому отработавшие аккумуляторные батареи составляют основу вторичного свинцового сырья. Ответственность за утилизацию электролита в отработавших аккумуляторах несет организация по переработке данного лома. Основными способами утилизации электролита являются:

1. Нейтрализация известью с одновременной очисткой воды от тяжелых металлов.
2. Нейтрализация кальцинированной содой с образованием раствора сульфата натрия, пригодного для получения кристаллического  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  выпариванием и сушкой соли [1].
3. Регенерация отработанного электролита.
4. Промывка газообразного  $\text{SO}_2$  в производстве серной кислоты.

Способы утилизации электролита определяются экономическими причинами и местными условиями завода.

В свинцово-кислотных аккумуляторных батареях образуется шлам от коррозии решеток, который загрязняет пасту легирующими компонентами, поэтому целесообразна отдельная плавка металлической и оксисульфатной фракции. Состав аккумуляторного лома может отличаться в зависимости от того, по какой технологии производились данные аккумуляторы, какие применялись сплавы для решеток, из каких регионов поступали отработавшие аккумуляторы. Даже в одном регионе состав собранных отработавших батарей непостоянен, соответственно, различен выход и состав продуктов разделки.

Переработка пасты пирометаллургическим способом приводит либо к выделению  $\text{SO}_2$  в газовую фазу, либо к получению шлаков, штейнов или штейно-шлаковых расплавов, рациональная утилизация которых затрудни-

тельна. Поэтому перед плавкой необходимо проводить операцию удаления сульфат-ионов из сульфата свинца, содержащегося в пасте, т.е. десульфуризацию пасты [2,3]. Десульфуризация пасты позволит уменьшить расход топлива и вспомогательных материалов на плавку, выход шлака и потери с ним свинца, выбросы серы в окружающую среду, затраты на очистку газов от SO<sub>2</sub>, затраты на пылеулавливание за счет повышения срока эксплуатации фильтровальных материалов при очистке газов.

Захоронение органических компонентов связано со значительными затратами. Отмытые от шлама эбонит и ПВХ могут быть использованы в качестве добавки в буферные слои дороги. Мелкоизмельченный отмытый эбонит может быть использован в качестве добавки к асфальту.

Таким образом, разделка лома позволяет экологически приемлемыми способами практически полностью перевести содержащийся в батареях свинец в два богатых товарных продукта, выделить товарный полипропилен, получить отходы, которые могут быть использованы в дорожном строительстве.

#### Библиографический список:

1. Шихеева Л.В., Зырянов В.В. Сульфат натрия. Свойства и производство. – Л: Химия, 1978. – 240 с.
2. Arai K., Toguri J. Leaching of lead sulfate in sodium carbonate// Hydro-metallurgy. – 1984. – 12 – P. 49-59.
3. Lamm K.F.// I Международный конгресс по переработке вторичного сырья. – М. 1992.

УДК 621.771

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТАХ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Дитков Д.В. Журба О.М.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.**

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

Показаны возможности современных компьютерных технологий для прочностного анализа прокатного оборудования. Рассмотрен пример расчета бесстанинной клетки 630 среднесортного стана 450 АО “ЕВРАЗ ЗСМК” с использованием модуля прочностного анализа АРМ FEM Компас-3D.

Ключевые слова: конечно-элементное моделирование, прочностной расчет, прокатное оборудование.

Прокатное оборудование широко используется на металлургических предприятиях для получения готовой продукции. Условия работы этого обо-

рудования связаны с большими статическими и динамическими нагрузками, высокой температурой. Такие условия эксплуатации создают высокие риски возникновения нештатных ситуаций, существенно влияют на качество выпускаемой продукции. Стоимость основного прокатного оборудования, непосредственно участвующего в формоизменении, затраты на его эксплуатацию весьма велики и поэтому все непредвиденные остановки и поломки существенно влияют на себестоимость и конкурентоспособность прокатной продукции.

Одним из возможных путей продления службы прокатного оборудования, снижение затрат на его эксплуатацию это тщательный прочностной расчет с максимальным учетом всех факторов влияния. Вопросу прочностных расчетов прокатного оборудования в технической литературе уделено большое внимание [1 - 3]. Имеющиеся методики расчета позволяют проводить предварительную оценку работоспособности прокатного оборудования, но точность их не велика, расчеты громоздки, много факторов остается не учтенными. С развитием компьютерной техники появилась возможность решения задач прочностного анализа оборудования на новом современном уровне с учетом влияния всего многообразия факторов [4]. В последних версиях пакетов программ Компас-3D, SolidWorks предусмотрены модули для прочностного анализа оборудования и конструкций. Модули прочностного анализа базируются на принципах трехмерного конечно элементного моделирования и позволяют находить распределение напряжений, коэффициенты запаса по пределу текучести и устойчивости детали, температуры в различных точках по объему и др.

Использование упомянутых выше пакетов программ дает возможность конструктору уже на начальных стадиях проектирования принимать правильные и обоснованные конструктивные решения используя, построенные 3D-модели. Это, несомненно, повышает качество и экономит время, затрачиваемое на проектирование.

Основной задачей конечно-элементного моделирования в рассматриваемых пакетах программ является анализ прочности деталей и сборок, для которых важно быстро оценить прочность элементов с возможной оптимизацией конструкции, используя ассоциативную связь геометрической и расчетной моделей.

Проиллюстрируем сказанное выше на примере прочностного расчета бесстанинной клетки 630 среднесортного стана 450 ОА “ЕВРАЗ ЗСМК” с использованием приложения АРМ FEM системы прочностного анализа Компас-3D V16. На начальном этапе необходимо создать трехмерную сборку подушки верхнего вала и анкеров и задать граничные условия по закреплению. Приложить расчетные нагрузки и сгенерировать конечно-элементную сетку с заданным коэффициентом сгущения на поверхности и коэффициентом разрежения в объеме (рисунок 1). Полученную сетку можно просматривать, как на поверхности, так и в глубине тела детали изменяя положение бегунка “глубина просмотра”.

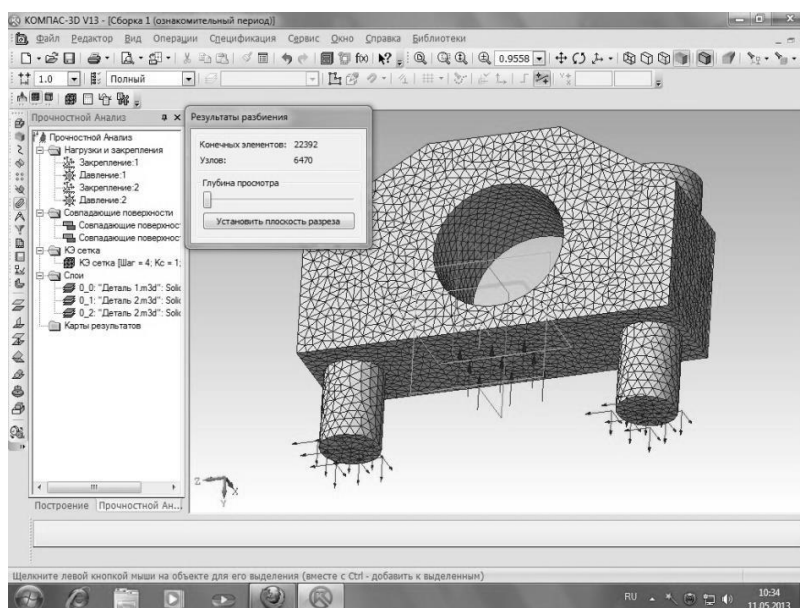


Рисунок 1 – Сгенерированная сетка конечных элементов

После выполнения подготовительных операций проводятся расчеты. В приложении APM FEM доступны следующие виды расчетов:

- линейный статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот (резонанса) и собственных форм колебаний;
- решение задачи стационарной теплопроводности;
- решение задачи термоупругости (при совместном выполнении статического и теплового расчетов).

Полученная при расчетах информация выводится в виде цветных карт, где показано распределение изучаемой величины в любом месте объема исследуемой конструкции. В качестве примера на рисунке 2 показано распределение коэффициентов запаса по пределу текучести в теле сборки.

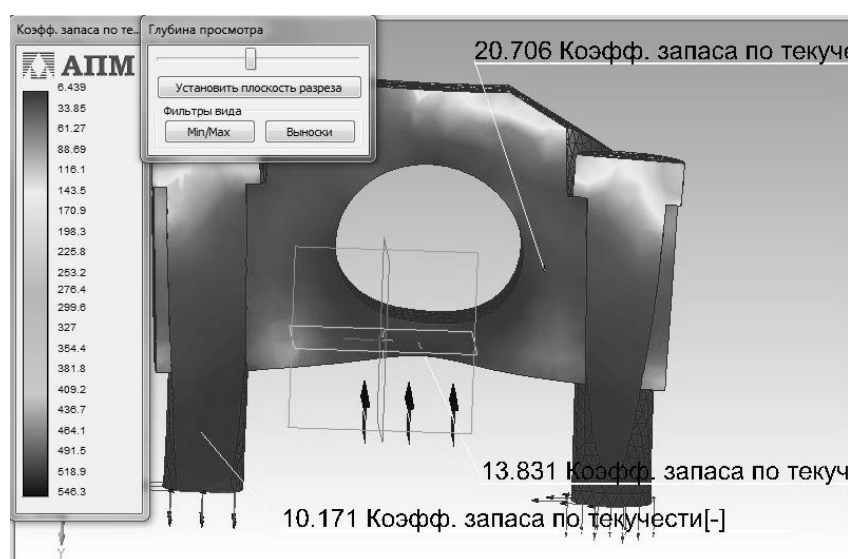


Рисунок 2 – Распределение коэффициентов запаса по пределу текучести в теле сборки

Для оценки достоверности полученных данных были проведены расчеты коэффициентов запаса по пределу текучести традиционными методами [5, 6]. В результате сопоставления данных полученных разными способами расхождение показателей не превысило 10%, что дает основание рекомендовать использование конечно-элементного моделирования для прочностных расчетов оборудования прокатных станов.

#### Библиографический список

1. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных трубных цехов. М.: Metallurgy. 1987. 480 с.
2. Фастыковский А.Р., Савельев А.Н. Особенности конструирования и безаварийной работы валковой арматуры сортовых станов. М.: Теплотехник 2015. – с. 170.
3. Фастыковский А.Р., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Копылов И.В. Оценка степени технологического риска в системе валки – арматура непрерывного мелкосортного стана // Сталь. – 2008. - № 2. – С. 63 – 64.
4. РФ Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в гос. Реестре №2006612893. Моделирование деформации в приводных – не приводных клетях / А.Р. Фастыковский, А.Н. Матвиенко. – Заявка №2006611932; зарегистрировано 11.08.06.
5. Фастыковский А.Р. Оборудование прокатных цехов. Учебное пособие с грифом УМО. Новокузнецк. СибГИУ. 2015. – 208.
6. Фастыковский А.Р. Савельев А.Н. Конструкции и расчеты оборудования прокатных клетей сортовых и листовых станов. Учебное пособие с грифом УМО. – Новокузнецк. СибГИУ. 2008. – 316 с.

УДК 621.771

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОКАТНАЯ КЛЕТЬ – ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА**

**Журба О.М., Дитков Д.В.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.**

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

Рассмотрена концепция оценки работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура. Предложены критерии, определяющие верхний и нижний уровни работоспособности рассматриваемой системы. Практическое использование разработанных положений продемонстрировано на примере прокатки круга в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 сорто-прокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Полученные графические данные позволяют выявить проблемные пропуски и организовать дифференцированный мониторинг рассматриваемой системы.

Ключевые слова: работоспособность, система, прокатная клеть, валковая арматура.

Прокатные валки и их арматура образуют в рабочей клетке единый взаимосвязанный комплекс, от четкой работы которого во многом зависит производительность и качество выпускаемой продукции. В связи с этим при настройке и эксплуатации системы прокатные валки – арматура следует учитывать условия формоизменения в очаге деформации обслуживаемой прокатной клетки. Игнорирование возможностей очага деформации зачастую приводит к инцидентам в рассматриваемой системе [1]. Руководствуясь рассматриваемой концепцией о неразрывной связи очага деформации и валковой арматуры, разработана методика оценки степени технологических рисков в системе прокатные валки – арматура.

При практической реализации разработанной методики на первом этапе определяется величина продольного усилия, обеспеченная резервом сил трения обслуживаемой клетки с учетом условий деформации и конструктивных особенностей калибра, и сравнивается со значениями, соответствующими критериям работоспособности системы [2–4].

Для определения критериев работоспособности системы прокатные валки – арматура рассмотрим два предельных случая: первый – продольное усилие, возникающее в результате инцидентов настолько велико, что может привести к поломкам деталей валковой арматуры, второй – валковая арматура должна выполнить большой комплекс операций (удержание полосы в заданном положении, правка до и после очага деформации, кантовка скручиванием и др.), на что требуется значительная величина продольного усилия, которое не может обеспечить резерв сил трения в очаге деформации обслуживаемой клетки, что приводит к застреванию полосы. Рассмотренные ситуации характеризуют верхний и нижний предел работоспособности системы.

Верхний предел ограничен прочностью деталей арматуры, наиболее ответственной из которых является арматурный брус, нижний – величиной продольного усилия, необходимого для выполнения арматурой возложенных на нее функций. Сравнения значения продольных усилий, соответствующих верхнему и нижнему уровню работоспособности системы, с величиной усилия, которое может обеспечить резерв сил трения в очаге деформации обслуживаемой клетки, оценивается степень технологического риска системы.

Методика оценки работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура оформлена с использованием приложения MS Excel с интерпретацией результатов в графическом виде, что весьма удобно при анализе. Разработанная методика и программное приложение позволяют наглядно проанализировать сортамент продукции сортового стана и выявить проблемные пропуски с точки зрения надежности работы системы прокатная клеть – валковая арматура. Возможности разработанной методики рассмотрим на примере анализа рабочих калибровок кругов диаметром 12, 14 мм и арматуры № 12, № 14 прокатываемых на непрерывном мелкосортном стане

25-1 сортопрокатного цеха АО “ЕВРАЗ ЗСМК”. Расчеты проводили с использованием данных приведенных в литературе [5-7] полученный график приведен на рисунке. На графике показаны верхняя и нижняя границы работоспособности рассматриваемой системы.

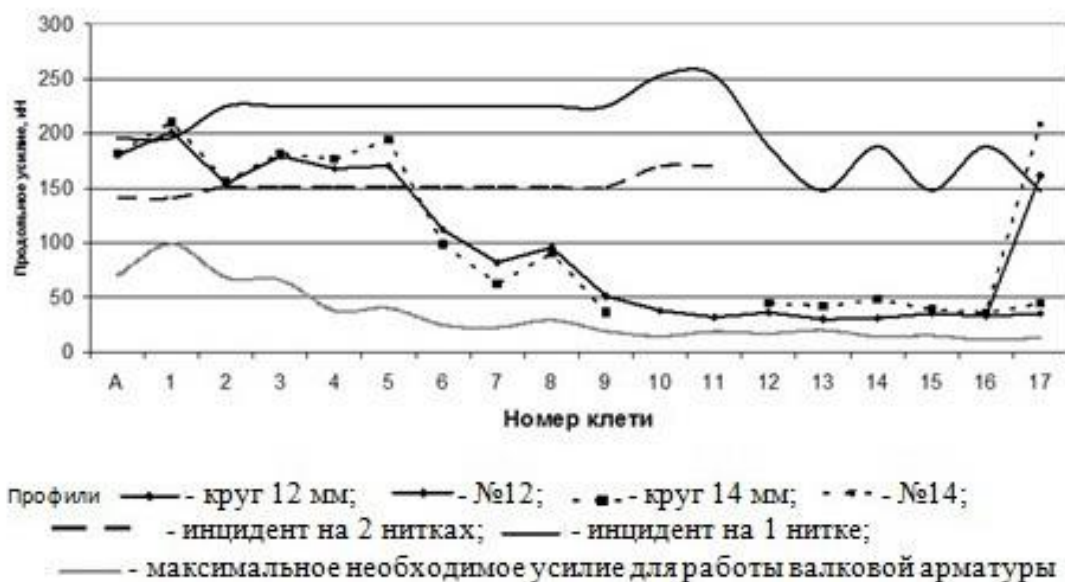


Рисунок 1 – Оценка работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура, при прокатке кругов 12, 14 мм и арматуры №12, №14 на непрерывном мелкосортном стане 250–1 сортопрокатного цеха АО “ЕВРАЗ ЗСМК”

Все клетки, в которых величина продольного усилия сопоставима с допустимым или выходит за означенные пределы являются клетями с повышенной степенью рисков в системе прокатная клеть – валковая арматура и требуют дополнительного внимания, в период монтажа арматуры, и в процессе работы. Как следует из рисунка при прокатке кругов диаметром 12, 14 мм, арматуры №12, №14 на непрерывном мелкосортном стане 250–1 сортопрокатного цеха АО “ЕВРАЗ ЗСМК” при инциденте на одной “нитке” в первой клетке величина продольного усилия превышает допустимое значение, полученное исходя из прочности арматурного бруса, при одновременном инциденте на двух “нитках” в клетях с А по 5 наблюдается такая же картина, что необходимо учитывать при настройке и эксплуатации арматуры. Во всех пропусках, рассматриваемого примера величина продольного усилия, необходимого для выполнения арматурой ее функций, меньше продольного усилия, которое могут обеспечить резервные силы трения в очаге деформации обслуживаемой клетки, что гарантирует нормальную работу арматуры. Возможность выявления пропусков с повышенной степенью риска позволяет проводить дифференцированный мониторинг работы системы прокатная клеть – валковая арматура, уделяя особое внимание аварийно опасным пропускам. Информация о величине возможного продольного усилия, которое может создавать конкретная клеть [2-4], позволяет уточнить параметры валковой арматуры, и обосновано проводить расчеты ее деталей на проч-

ность, оценивать калибровки с точки зрения работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура и если необходимо то корректировать.

#### Библиографический список

1. Фастыковский А.Р., Савельев А.Н. Особенности конструирования и безаварийной работы валковой арматуры сортовых станов. М.: Теплотехник 2015. – с. 170.

2. Фастыковский А.Р., Перетятыко В.Н. Изучение закономерностей изменения величины резервных сил трения очага деформации при прокатке // Известия вузов. Черная металлургия. – 2001. - № 12. – С. 5 – 8.

3. Фастыковский А.Р., Перетятыко В.Н. Учет резервных сил трения при проектировании валковой арматуры // Металлург. – 2001. - № 12. – С. 43 – 44.

4. Фастыковский А.Р., Перетятыко В.Н. Изучение резервных сил трения при прокатке в вытяжных калибрах // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. - № 4. – С. 22 – 24.

5. Фастыковский А.Р. Опыт выявления аварийно – опасных пропусков на основании знаний величины резервных сил трения, при прокатке сортовых профилей // Материалы пятнадцатой научно – практической конференции по проблемам механики и машиностроения. – Новокузнецк. СибГИУ. 2005. – С. 238 – 241.

6. Фастыковский А.Р. Пути снижения аварийности при производстве сортовой стали // Всероссийская научно практическая конференция. Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество. - Новокузнецк. СибГИУ. – 2005. – С. 81 – 84.

7. Фастыковский А.Р., Ефимив О.Ю., Чинокалов В.Я. Копылов И.В. Оценка степени технологический рисков в системе валки – арматура непрерывного мелкосортного стана // Сталь. – 2008. - № 2. – С. 63 – 64.

УДК 621.768.011

### **ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ 10, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

**Прудников В.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.**

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

Исследовано влияние отжига на линейное расширение листовой горячекатаной стали 10, изготовленной с использованием термоциклическойковки. Показана, что отжиг при 800 и 900 °С в течение 10 ч. снижает температурный коэффициент линейного расширения листовой стали в среднем на 6 % в интервале температур испытания 50-450 °С по сравнению с исходным



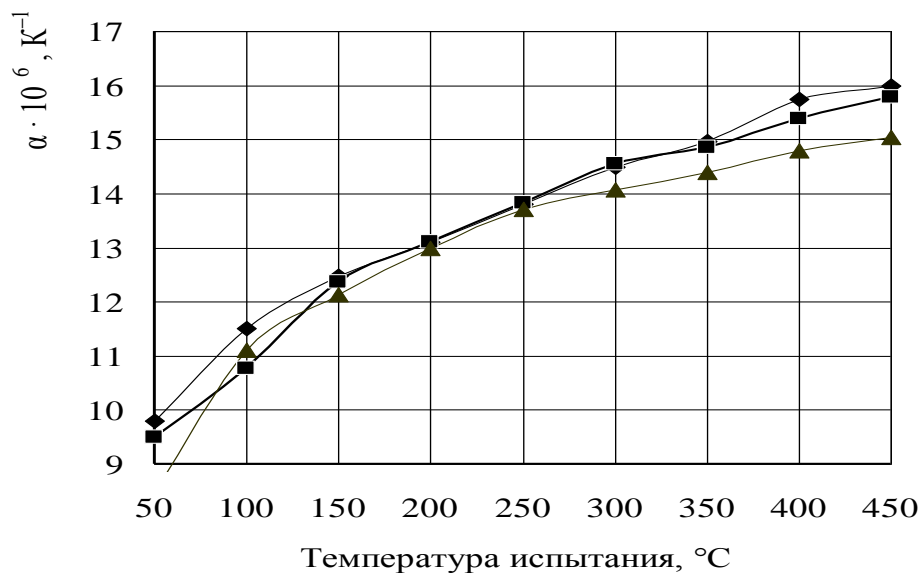
необработанным состоянием.

Ключевые слова: сталь, структура, деформация, ковка, линейное расширение, отжиг.

В последнее время довольно большое внимание уделяется термоциклической обработке металлов и сплавов, в том числе ее комплексным видам, таким как деформационная термоциклической обработка (ДТЦО). Этот вид обработки позволяет сформировать необходимые свойства различных металлических материалов, недостижимых при использовании традиционных видов термической обработки, таких как отжиг, закалка, отпуск, старение и др. Эффект воздействия ДТЦО, обычно, связывают с накоплением многократных периодических положительных изменений структуры, происходящих за один цикл обработки деформационных и термических воздействий на материал. В научно-технической литературе имеется довольно значительное количество работ, посвященных воздействию ДТЦО на структуру и механические характеристики различных материалов, в том числе сталей, чугунов, алюминиевых сплавов и др. [1-5]. Однако более скудно освещается влияние ДТЦО и последующей термической обработки на физические свойства материалов, в частности сталей различных марок [6-9]. В связи с вышеизложенным целью работы явилось определение влияния отжига на линейное расширение листовой стали 10, изготовленной с применением деформационной термоциклической ковки.

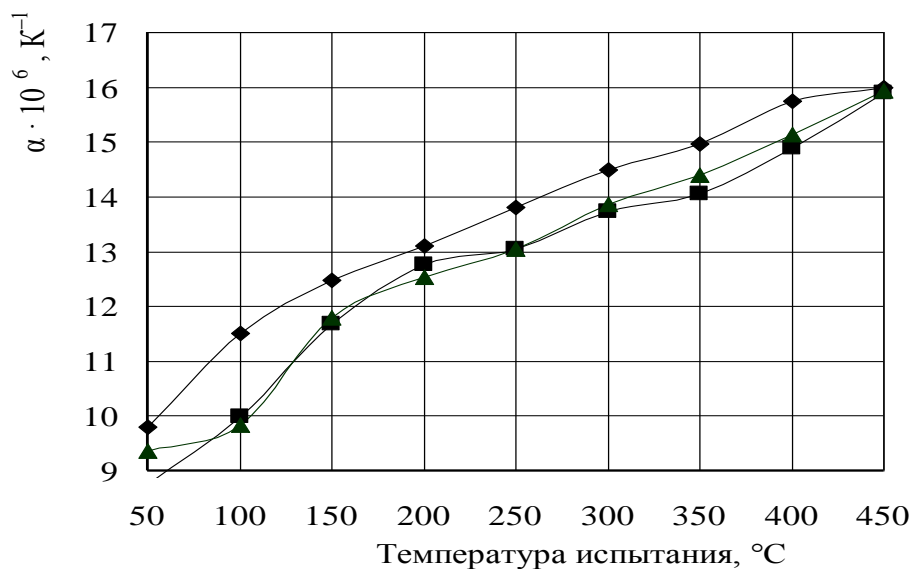
Сталь 10 содержала в % (вес.): С – 0,13; Si – 0,22; Mn – 0,42; P – 0,014; S – 0,018. Предварительно сляб подвергали горячей циклической ковке при температуре 1250 °С. Количество циклов составляло 10, степень деформации в цикле – 6÷8 %. В дальнейшем заготовки были прокатаны на лист толщиной 3 мм в ОАО «НМЗ» им. А.Н. Кузьмина (г. Новосибирск). Более подробно технологический режим деформации приведен в работе [7]. Для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) образцов использовали высокотемпературный дилатометр DIL 402С с погрешностью измерения  $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

Ранее было установлено, что циклическая ковка стали 10 по указанному режиму приводит к тенденции стабильного повышения ТКЛР в области низких температур (до 350 °С) на 5 % [7]. В дальнейшем было исследовано влияние температуры последующего отжига листовой стали 10, подвергнутой ДТЦО, со временем выдержки 10 ч. Построенные кривые температурной зависимости истинного ТКЛР стали 10, изготовленной с термоциклической ковкой, после отжига при 600, 700, 800 и 900 °С приведены на рисунке 1. Анализ представленных кривых позволяет сделать вывод о снижении способности стали 10 к термическому расширению после отжига при всех исследуемых температурах. Причем при высокотемпературном отжиге (800 и 900 °С) снижение температурного коэффициента линейного расширения стали более заметно, и составляет в среднем более 6 % во всем температурном интервале испытаний (до 450 °С).



◆ без обработки ■ отжиг, 600°C ▲ отжиг, 700°C

а



◆ без обработки ■ отжиг, 800°C ▲ отжиг, 900°C

б

Рисунок 1 – Влияние температуры отжига при 600 и 700 °С (а) и 800 и 900 °С (б) (время выдержки 10 ч) на линейное расширение листовой горячекатаной стали 10, изготовленной с использованием ДТЦО

#### Библиографический список

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин/ В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский – Л.:Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.– 255 с.
2. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов.– 2014.– № 2.–С. 14-20.

3. Прудников А.Н. Оценка структуры, свойств и загрязненности неметаллическими включениями деформационно-термоциклически обработанной стали 10 / А.Н. Прудников, В.А. Прудников, Е.В. Богонос / Сб. материалов XIX Межд. научн.-практ. конф. «Металлургия: технология, инновации, качество» – 15-16 ноября 2015 г.– Новокузнецк, изд-во СибГИУ, 2015.– С. 35 - 39.

4. Патент 2130084 РФ Способ термоциклической обработки чугуна / В.К. Афанасьев, М.В. Чибряков, А.Н. Прудников, М.К. Сарлин – Заявл. 07.07.1998. Оpubл. 10.05.1999. – Б.И. № 13. – С. 455.

5. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons// A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009.– Т. 39. – № 6. – С. 456-459.

6. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013.– 40 с.

7. Прудников А.Н. Использование термоциклической деформации для получения полуфабрикатов из заэвтектических силуминов/ А.Н. Прудников, В.А. Прудников Богонос / Сб. материалов XIX Межд. научн.-практ. конф. «Металлургия: технология, инновации, качество» – 15-16 ноября 2015 г. – Новокузнецк, изд-во СибГИУ, 2015.– С. 15-18.

8. Прудников А.Н. Влияние термоциклическойковки и последующего отжига на коэрцитивную силу и линейное расширения стали 10 / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении: – 2016.– №3.– С. 451-456.

9. Прудников А.Н. Оценка воздействия термоциклической деформации и последующей термической обработки на электрофизические свойства низкоуглеродистой стали / А.Н. Прудников, М.В. Попова, В.А. Прудников// Актуальные проблемы в машиностроении: – 2015.– №2.– С. 396-400.

УДК 669.715: 621.74

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ ИЗ СПЛАВА АК21**

**Прудников В.А., Сазонов М.С.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.**

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

Исследовано влияние нагрева и выдержки при 100-500 °С на микроструктуру и фазовый состав поршня двигателя ЯМЗ 5363 из заэвтектического силумина АК21. Установлено, что сфероидизация эвтектического и первичного кремния, а также растворение фазы  $\text{CuAl}_2$  начинаются при темпера-

туре 450-500 °С.

Ключевые слова: поршень, структура, заэвтектический силумин, фазовый состав, эвтектика, первичный кремний.

Для тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания наиболее часто используют алюминиево-кремниевые легированные сплавы с высоким содержанием кремния – заэвтектические силумины. Это обусловлено их комплексом свойств: низким температурным коэффициентом линейного расширения, повышенной износостойкостью, малым удельным весом и др. Однако в структуре заэвтектических силуминов присутствуют кристаллы первичного кремния (КПК), которые имеют довольно большие размеры (100-200 мкм), что значительно снижает прочностные и технологические свойства поршневых заготовок. Для уменьшения размеров КПК используют модифицирование расплава при производстве отливок и слитков из заэвтектических силуминов [1-5]. Одним из важных факторов улучшения структуры и свойств является термическая обработка [5-8]. Разумный выбор технологии термической обработки и ее параметров позволяет существенно повысить уровень физико-механических и эксплуатационных свойств [7, 9, 10]. Для определения оптимальных параметров (температуры и времени выдержки) в различных видах обработки (отжиг, закалка, старение) необходимо знать те изменения структуры силуминов, которые при этом происходят. Поэтому целью работы являлось исследование структуры, фазового состава, определение параметров решетки  $\alpha$ -Al и  $\beta$ -Si после термической обработки в сплаве типа АК-21, используемого для производства поршней ДВС тяжело нагруженных автомобилей.

В качестве объекта исследования был выбран поршень двигателя ЯМЗ 5363 автомобиля серии МАЗ 5550. Химический состав поршня был определен на эмиссионном спектрометре ARL 3460 и включал следующие элементы в % (вес.) Si – 22,1; Cu – 2,91; Mg – 0,64; Mn – 0,08; Ni – 1,23; Cr – 0,26; Fe – 0,49; Ti – 0,08; Al – ост. В сравнении с составом сплава АК21М2,5Н2,5 (ГОСТ 1583-93) отмечается занижение содержания Ni, Mn и незначительное превышение Mg, что обусловлено требованиями ТУ предприятия. Образцы, вырезанные из юбки поршня, подвергали термической обработке в электропечи СНОЛ-1,6.2,5.1/9-ИЗ по следующим режимам : нагрев и выдержка в течение 1 и 10 ч при 100 и далее через 50 °С до 500 °С с охлаждением на воздухе. Для проведения качественного фазового анализа использовали дифрактометр ДРОН-2,0. Дифрактограммы опытных образцов снимали в Fe -  $K_{\alpha}$ -излучении с использованием Mn-фильтра. Ускоряющее напряжение на трубке – 30 кВ.

В структуре поршня в исходном состоянии присутствуют основные структурные составляющие – кристаллы первичного  $\beta$ -кремния (КПК), эвтектика (Al + Si), а также небольшое количество фазы  $CuAl_2$  и дисперсные выделения фаз  $Al_xMg_5Cu_4Si_4$ ,  $Al_6Cu_3Ni$ , располагающихся по границам зерен  $\alpha$ -Al (рисунок 1).

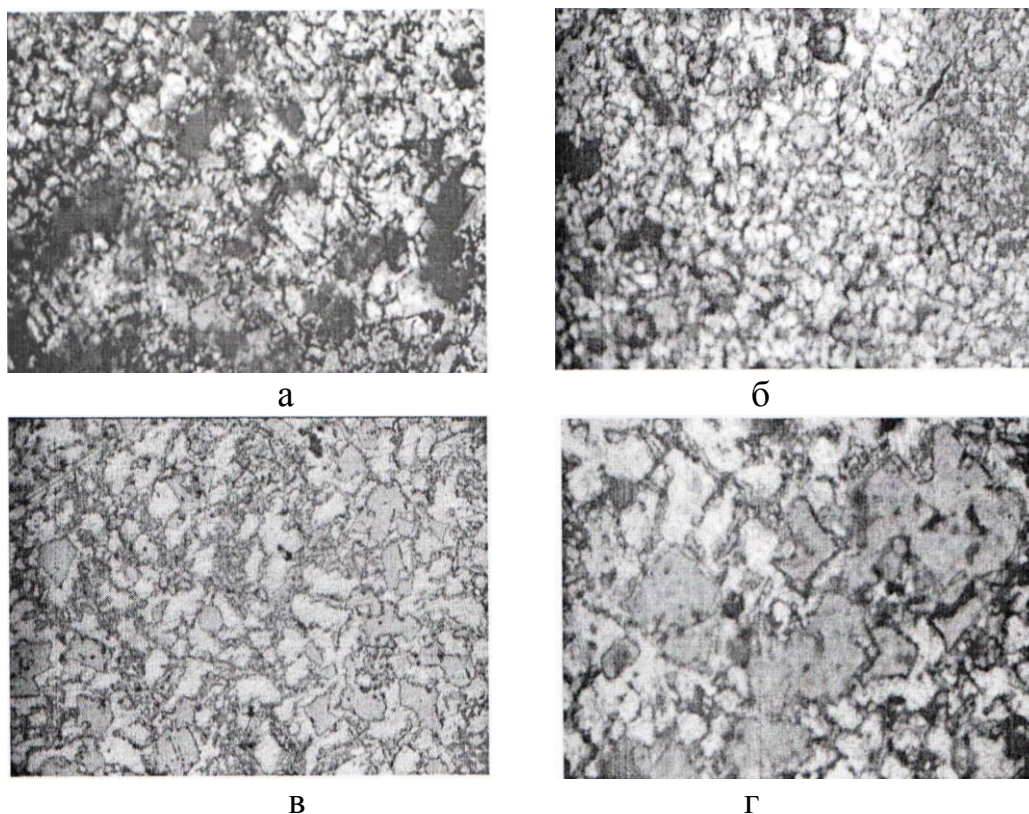


Рисунок 1 – Влияние температуры нагрева и выдержки с охлаждением на воздухе на микроструктуру поршня из сплава типа АК21: а – б3 нагрева; б – 500 °С, 1 ч; в и г – 500 °С, 10 ч; а, б, в –  $\times 150$ ; г –  $\times 500$

Нагрев образцов течение 1 ч при температуре 100-500°С к значительным изменениям в структуре не приводит. Можно отметить для высоких температур 450-500 °С растворение фазы  $\text{CuAl}_2$  и начало коагуляции эвтектического кремния (рис). Выдержка в течение 10 ч для этих температур приводит к более интенсивным процессам коагуляции кремния и сфероидизации КПК. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают выводы металлографических исследований, фиксируя наличие фазы  $\text{CuAl}_2$  в исходном образце и после нагревов и выдержек при низких температурах. На дифрактограммах образцов, термообработанных при 450 и 500 °С, присутствуют пики характерные только для фаз  $\alpha\text{-Al}$  и  $\beta\text{-Si}$ . Наличие сложных фаз с  $\text{Cu}$  и  $\text{Ni}$  из-за их малой объемной доли и погрешности рентгенографического метода не установлены. Однако при больших увеличениях микроскопа некоторое количество дисперсных выделений этих фаз хорошо видны по границам и телу зерна  $\alpha\text{-Al}$  (рисунок 1, г).

#### Библиографический список

1. Напалков В.И. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В.И Напалков, Г.В. Черепок, С.В. Махов и др.– М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.
2. Патент 2102514 РФ Способ модифицирования заэвтектических силицидов / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, В.В. Ушакова и др. – Заявл. 09.01.1996. Оpubл. 20.01.1998. – Б.И. № 2. – С. 290.

3. Прудников А.Н. Исследование комплексного модифицирования заэвтектических силуминов с содержанием кремния 20...30 % фосфидами и оксидами некоторых металлов / А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. – 1995. – №2. – С. 38-41.

4. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1999. – № 10. – С. 33-35.

5. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.

6. Прудников А.Н. Термическая обработка поршневых силуминов для снижения их линейного расширения и улучшения эксплуатационных параметров двигателя // А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2004. – № 4. – С. 40-42.

7. Прудников А.Н. Совершенствование термической обработки поршневых деформируемых силуминов с добавками фосфора и водорода // А.Н. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009. – № 1. – С. 8-11.

8. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009. – Т. 39. – № 6. – С. 456-459.

9. Прудников А.Н. Усовершенствование способов термической обработки поршневых алюминиевых сплавов / В сб.: Металлургия: реорганизация, управление, инновации, качество. – Новокузнецк, изд-во СибГИУ, 2003. – С.108-111.

10. Prudnikov A.N. Production, structure and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumin // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009. – Т. 39. – № 5. – С.391-393.

УДК 669.715: 621.74.047

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗЛОМА СЛИТКОВ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА**

**Прудников В.А., Духанин Ф.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.**

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

Исследованы структура и строение изломов поперечного сечения слитков полунепрерывного литья из сплава Al-20 % Si. Показано, что модифицирование комплексным составом, включающим  $\text{Cu}_3\text{P}$  и оксиды некото-

рых металлов, позволяет увеличить объемную долю вязкого и квазивязкого разрушения и уменьшить размер и количество фасеток хрупкого скола по кристаллам первичного кремния.

Ключевые слова: заэвтектический силумин, состав, структура, слиток полунепрерывного литья, излом, фасетки скола

Для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), используемых в тепловозах, тракторах, гусеничных тягачах, большегрузных автомобилях др. техники применяют деформируемые алюминиевые сплавы [1]. При этом технология производства поршней объемной штамповкой включает изготовление слитков полунепрерывным способом, так как данный способ является наиболее производительным и экономичным из всех способов заготовительного литья алюминиевых сплавов [2]. В настоящее время, преимущественно, для тяжело нагруженных ДВС используют легированные заэвтектические силумины. Если в области полунепрерывного литья конструкционных алюминиевых сплавов (Д1, Д16, Д20, АК4, АК8, В95 и др.) имеется значительное количество работ, то исследованию структуры и свойств слитков из заэвтектических силуминов таких работ выполнено явно недостаточно. Несмотря на это, можно отметить некоторые из них в области исследования структуры слитков из силуминов заэвтектического состава, механических и физических свойств, оптимизации технологических параметров литья [3-9]. В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение влияния модифицирования комплексной смесью на формирование поверхности разрушения слитка полунепрерывного литья из двойного силумина с содержанием кремния 20 %.

Изготовление слитков полунепрерывным способом проводили в ОАО «СМК» (г. Ступино). Для выплавки сплавов использовали: силумин СИЛ 1 и кремний Кр0. Расплав готовили в электрической печи сопротивления в графитошамотном тигле емкостью 60 кг. Для модифицирования расплава использовали смесь состава: 0,3 %  $\text{Cu}_3\text{P}$ ; 0,2 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 0,1 %  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  и 0,2 %  $\text{H}_3\text{BO}_3$  от веса шихты. Слитки отливали на машине полунепрерывного литья ПН-2 с дюралюминиевым кристаллизатором диаметром 165 мм.

В работе исследовано формирование поверхности разрушения (излома) в поперечном сечении слитков из бинарного силумина при их ударном нагружении. Фрактографический анализ темплетов из необработанного и модифицированного сплавов показал наличие в изломах одновременного присутствия заэвтектической и доэвтектической структуры во всех объеме каждого из слитков. Однако соотношение кристаллов первичного кремния и дендритов  $\alpha$ -алюминия, равно как и строение последних, различно для разных частей слитка.

В изломе сплава, приготовленного без обработки, наряду со значительными по размеру участками вязкого разрушения по эвтектике и твердому раствору видны крупные фасетки скола по кристаллам первичного кремния (рисунок 1, а). Причем в центральной части слитка наряду с большим



объемом участков вязкого и квазивязкого разрушения присутствует и большее количество участков хрупкого скола по КПК, размер которых превышает размеры хрупких участков в периферийных слоях металла. Модифицирование расплава разработанным составом уменьшает неоднородность структуры по сечению слитка, а также количество и размер участков хрупкого скола по кристаллам первичного кремния (рисунок 1, б).

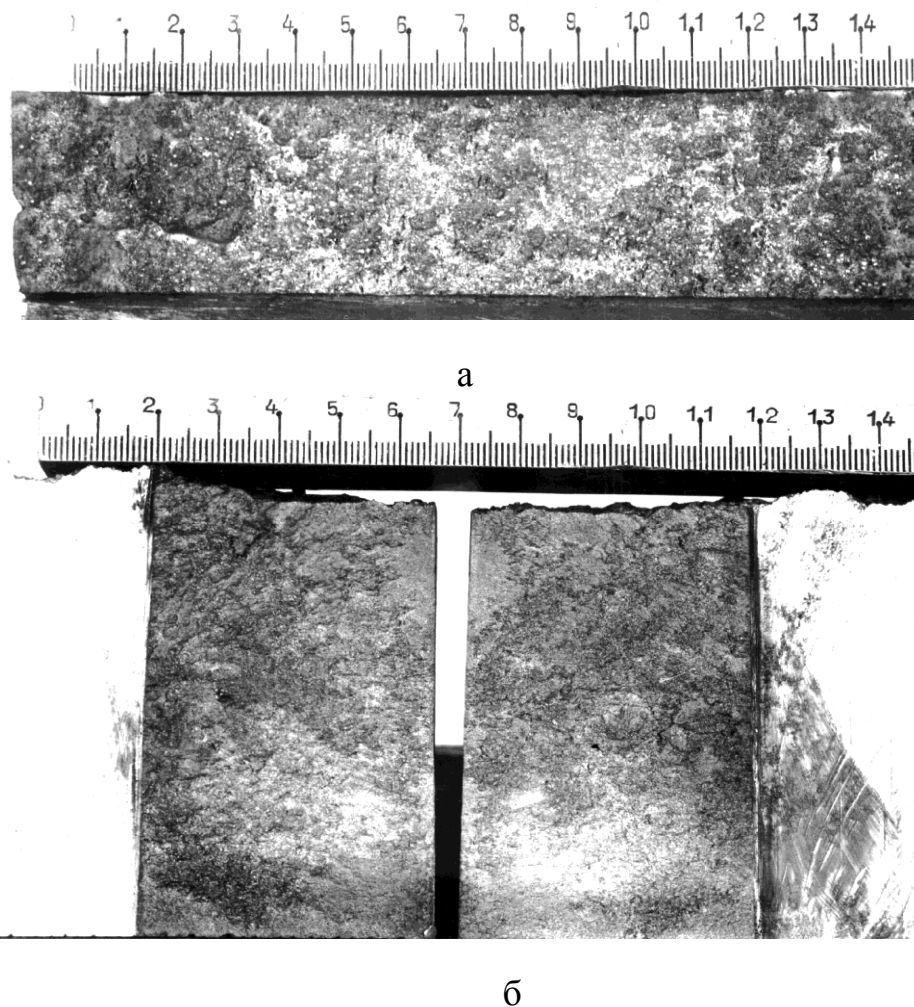


Рисунок 1 – Излом в поперечном сечении слитка полунепрерывного литья из сплава Al - 20 % Si, изготовленного без обработки расплава (а) и с модифицированием смесью  $\text{Cu}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  и  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (б)

Таким образом, исследованы структура и строение изломов поперечного сечения слитков полунепрерывного литья из сплава Al-20 % Si. Показано, что модифицирование комплексным составом, включающим  $\text{Cu}_3\text{P}$  и оксиды некоторых металлов, позволяет увеличить объемную долю вязкого и квазивязкого разрушения и уменьшить размер и количество фасеток хрупкого скола по кристаллам первичного кремния.

#### Библиографический список

1. Напалков В.И. Непрерывное литье алюминиевых сплавов/ В.И Напалков, Г.В. Черепок, С.В. Махов и др.– М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.



2. Афанасьев В.К. Технология получения слитков, деформированных заготовок и поршней из заэвтектического жаропрочного силумина и их свойства / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, А.В. Горшенин // Обработка металлов.– 2010.– № 3.– С. 28-31.

3. Афанасьев В.К. Разработка поршневого заэвтектического силумина и технологии изготовления поршней обработкой давлением / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия.– 1999.– № 6.– С. 53-56.

4. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8 - 11.

5. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.

6. Прудников А.Н. Технология производства, структура и свойства поршней двигателей из заэвтектического деформируемого силумина / А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 5.–С. 45-48.

7. Прудников А.Н. Роль условий кристаллизации в формировании структуры и свойств слитков и поковок из заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников // Материаловедение.– 2014.– № 1.– С. 10-13.

8. Прудников А.Н. Структура и свойства жаропрочного силуминового поршня/ А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 8.– С. 28-30.

9. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – Т. 39.2009. – № 6. – С. 456-459.

9. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 1999.– № 10.– С. 33-35.

УДК 621.793.18: 669.14.018.8

## **ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЛИТЬЯ ПЛАСТМАСС**

**Иванов А.А., Шабалин А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Осколкова Т.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail:ivanov.aa@termomet.com*

В статье на поверхности штампового инструмента, изготовленного из нержавеющей стали марки 40X13, после газового азотирования при температуре 560 °С в течение 7 часов получено покрытие толщиной ~ 0,15 мм с твёрдостью 1000 HV, при этом ресурс работы пары матрица/пуансон увеличился в 3,0 ÷ 3,5 раза по сравнению с этими изделиями, термически обрабо-

танними по стандартному режиму.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, газовое азотирование, твёрдость, структура, ресурс работы.

Нержавеющие стали имеют низкую износостойкость, но в то же время обладают рядом ценных свойств: парамагнитностью, высокой жаропрочностью, окислительной стойкостью, коррозионной стойкостью и высокой ударной вязкостью при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$  [1, 2]. С целью повышения поверхностной твёрдости рекомендуется применять различные методы поверхностного упрочнения [3–5]. Одним из них является газовое азотирование [6, 7].

Азотирование – наиболее эффективный способ повышения износостойкости нержавеющих сталей. Азотированный слой обладает высокой твердостью и износостойкостью. Износостойкость азотированной стали в 1,5 – 4 раза выше износостойкости закаленных высокоуглеродистых, цементованных, а также нитроцементованных сталей. Азотирование снижает вязкость стали, повышает ее прочность и существенно повышает предел выносливости, особенно тонких деталей и деталей, работающих в некоторых коррозионных средах. Азотирование повышает сопротивление задираемости и налипанию металла под нагрузкой и особенно при повышенных температурах [7].

Газовое азотирование – метод химико-термической обработки изделий из сталей, позволяющий получать диффузионные слои с необходимой твёрдостью [5, 7]. Вместе с тем, газовое азотирование высокохромистых сталей проблематично из-за наличия на поверхности оксидной хромистой пленки, которая препятствует проникновению атомов азота вглубь стали.

Азотированию подвергались матрицы и пуансоны для производства изделий из высокопрочного пластика, изготовленные из стали марки 40X13 (рисунок 1). Химический состав данной стали соответствует требованиям ГОСТ 5632-2014.



Рисунок 1 – Внешний вид матрицы и пуансона

В данной работе для устранения оксидной пленки перед процессом азотирования была проведена подготовка поверхности деталей по специаль-

но разработанной технологии (травление поверхности стали в 15÷ 17 % растворе соляной кислоты).

С целью получения необходимых свойств стали перед азотированием детали подвергались закалке в масле от температур 1000 ÷ 1050 °С и отпуску при температуре 500 °С с твёрдостью HRC = 48 ÷ 52.

Процесс газового азотирования производился при температуре 560 °С в течении 7 часов в насыщающей среде состава  $N_2 + NH_3 + N_2O$ .

После азотирования получен поверхностный упрочнённый слой толщиной ~ 0,15 мм с твёрдостью 1000 HV. Микроструктура стали марки 40X13 представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Микроструктура стали марки 40X13 после азотирования

Для производства изделий из высокопрочного пластика с целью сопоставления результатов одна партия матриц и пуансонов, изготовленная из стали марки 40X13, были подвергнута стандартной термической обработке (закалка + высокий отпуск), другая партия деталей из этой же стали подвергалась закалке + высокому отпуску + азотированию. Установлено, что ресурс работы пары матрица/пуансон термообработанных по стандартному режиму составляет 30000-35000 ударов. Ресурс работы матрицы и пуансона, обработанных по режиму с азотированием, увеличился в 3,0 ÷ 3,5 раза (при значениях 100000-110000 ударов).

Таким образом, газовое азотирование штампового инструмента является эффективным способом повышения эксплуатационных свойств данного инструмента, что расширяет область применения процесса азотирования при упрочнении штамповых сталей различного состава.

#### Библиографический список:

1. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев, А.А. Гуляев. – М.: Альянс, 2012. – 643 с.
2. Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Альянс, 2013. – 528 с.
3. Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: учебное пособие для вузов / О.Ю. Елагина. – М.: Логос, 2009. – 488 с.

4. 26 Герасимов С.А. Новые идеи о механизме образования структуры азотированных сталей / С.А. Герасимов, А.В. Жихарев, Е.В. Березина [и др.] // МиТОМ. -2004.-№1. - С.13-17.

5. Осколкова Т.Н. Методы поверхностного упрочнения металлов / Т.Н. Осколкова: Конспект лекций. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. – 41с.

6. Боровский Г. В. Современные технологии обработки материалов: [монография] / Г. В. Боровский, С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов.– М. : Машиностроение, 2015. - 302 с.

7. Петрова Л.Г. Высокотемпературное азотирование жаропрочных сплавов / Л.Г. Петрова // МиТОМ. -2004.- №1.- С.18-24.

8. Пастух И.М. Характеристики образования нитридов в сталях при азотировании в тлеющем разряде / И.М. Пастух, А.С. Здыбель // ОТТОМ - 9: материалы международной конференции. - Харьков, 2008.- С. 62-68

УДК 669.017:539.533:669.14.018.291

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ МАРКИ 30ХГСА**

**Иванов А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Осколкова Т.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail:ivanov.aa@termomet.com*

В статье экспериментально установлено, что концентрация легирующих элементов стали марки 30ХГСА, находящаяся в пределах химического состава, предусмотренных ГОСТ, влияет на критический диаметр прокаливаемости образцов.

Ключевые слова: конструкционные стали, прокаливаемость, структура, металлография, механические свойства.

Конструкционная легированная сталь марки 30ХГСА является одной из многочисленных сталей, используемой в авиационной промышленности.

Основными легирующими элементами в стали являются хром, марганец, кремний. Наиболее сильно повышают прокаливаемость из вышеперечисленных химических элементов марганец и хром.

Особенностью данной высококачественной стали является её сравнительно недорогая стоимость и хорошая свариваемость.

Анализируя результаты ученых в области авиационных материалов [1], можно сделать вывод, что стандартной термической обработкой для рассматриваемого материала в авиационной промышленности является улучшение: закалка от температуры  $900 \pm 10^\circ\text{C}$  в индустриальном масле с последующим высоким отпуском. Сталь марки 30ХГСА склонна к отпускной хрупкости

второго рода, поэтому при отпуске ей необходимо быстрое охлаждение. Данный режим термической обработки предназначен для получения определенных механических свойств, а именно, высокой усталостной прочности.

Целью данной работы явилось установление изменения концентрации легирующих элементов для стали марки 30ХГСА на величину прокаливаемости.

В работе прокаливаемость определялась металлографическим и дюрометрическим методами. За величину прокаливаемости берётся область образца, имеющая структуру мартенсита по всей толщине образца (сквозная прокаливаемость) или область с полумартенситной структурой (50 % мартенсита + 50 % троостита) [2].

Для чистоты эксперимента операцию нагрева стали под закалку осуществляли в вакуумной камерной печи ВМІ-В63. Перепад температуры в данной печи не превышает 5 °С, охлаждающая среда – вакуумное масло.

В работе рассмотрены 2 партии стали марки 30ХГСА. Анализ химического состава проводился на атомно-эмиссионном спектрометре arl 3400, результаты которого приведен в таблице 1.

Входной контроль химического состава обеих партий показал соответствие ГОСТ 4543-71.

Таблица 1 – Анализ химического состава двух партий 30ХГСА

№ партии	Содержание химических элементов, %										
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Al	Fe
1	0,28	0,89	0,95	0,01	0,01	0,13	0,89	0,08	0,01	0,01	Ост.
2	0,31	0,89	0,96	0,01	0,01	0,13	0,98	0,09	0,01	0,01	Ост.
ГОСТ	0,28-0,34	0,8-1,1	0,9-1,2	0,025	0,025	0,3	0,8-1,1	0,3	-	-	Ост

В ходе проведения экспериментальной части из каждой партии были изготовлены образцы диаметром от 20...30 мм.

Замер твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999-75) по сечению проводился на микротвердомере Тикон 2500. Замер твердости по Роквеллу (ГОСТ 9013-59) проводился на твердомере ТК-2М.

Результаты измерения твердости после закалки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Твердость образцов после закалки 900±5°С.

№	<i>HV5</i> <sub>Сердц</sub>	<i>HRC</i> <sub>Сердц</sub>	<i>HV5</i> <sub>Пов</sub>	<i>HRC</i> <sub>Пов</sub>
Партия 1 Ø20мм	500	48	510	48
Партия 1 Ø25мм	340	33	435	42
Партия 2 Ø25мм	490	47	505	48
Партия 2 Ø30мм	490	46	510	48

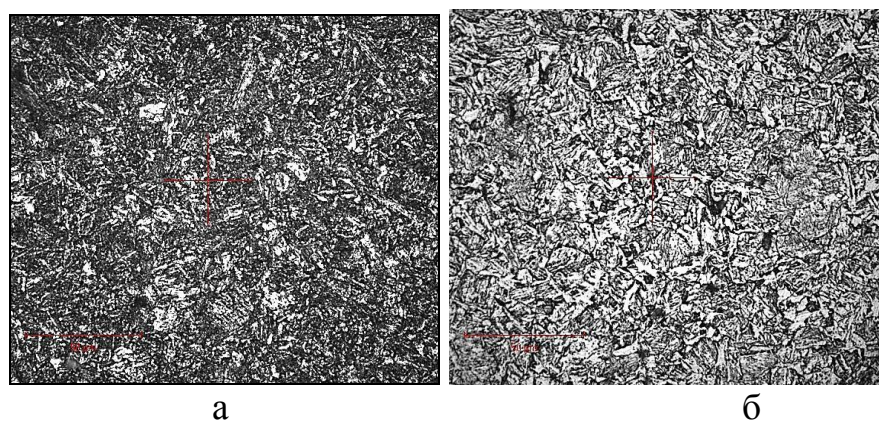
Анализируя данные таблицы 2, можно сделать вывод, что образцы от партии 1 до диаметра 20мм включительно имеют равномерную твердость по



всему сечению образца. Образцы из партии 2 диаметром до 30 мм включительно также имеют однородную твердость по всему сечению. Полученные показатели твердости удовлетворяют данным, описанным в специализированной литературе [3–5].

Для подтверждения качества термической обработки был проведен металлографический анализ. Микроструктура образцов, имеющая мягкую сердцевину (партия 1 Ø25мм) состоит из троосто-сорбитной структуры (рисунок 1, а). Наличие данной структуры и разная твердость указывает на отсутствие сквозной прокаливаемости.

В закалённых образцах партии 2, имеющих равномерную твердость по всему сечению, наблюдается однородная структура мартенсита (рисунок 1, б).



а  
а – партия 1; б – партия 2

Рисунок 1 – Микроструктура стали марки 30ХГСА после термообработки х 500

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что химический состав стали марки 30ХГСА, несмотря на его соответствие по ГОСТ, оказывает сильное влияние на прокаливаемость, поэтому перед изготовлением ответственных деталей авиастроения обязательным этапом должен являться входной контроль химического состава стали для дальнейшего прогнозирования её свойств.

#### Библиографический список

1. Каблов Д.Е. Авиационные материалы. Избранные труды 1932-2002: юбилейный научно-техн. сборник / ВНИИ авиационных материалов под общ. ред. Е. Н. Каблов – М.: Изд-во ВИАМ, Изд-во МИСИС, 2002. – 422 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение: / А.П. Гуляев, А.А. Гуляев. – М.: Альянс, 2012. – 643 с.
3. Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / О.Ю. Елагина. – М.: Логос, 2009. – 488 с.
4. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М.: Альянс, 2015. – 446 с.
5. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Альянс, 2013. – 528 с.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ОЛОВА

Рахуба Е.М.<sup>1</sup>, Деев В.Б.<sup>1</sup>, Сметанюк С.В.<sup>1</sup>, Пономарева К.В.<sup>2</sup>,  
Приходько О.Г.<sup>2</sup>

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Батышев А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», г. Москва, e-mail: deev.vb@mail.ru

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: kiraponomareva525@mail.ru

Рассмотрены общие особенности современных технологий получения различных художественных изделий из сплавов на основе олова. Проведен краткий анализ составов сплавов на основе олова для художественного литья, а также материалов, используемых в качестве формы.

Ключевые слова: технология, олово, сплавы, компаунд, отливки

Технологический процесс получения литого художественного изделия из легкоплавких сплавов состоит из следующих этапов:

- 1) Изготовление модели будущего изделия.
- 2) Изготовления постоянной многоразовой формы для литья.
- 3) Выплавка сплава.
- 4) Заливка расплава в форму.
- 5) Художественная обработка отливки.

Рассмотрим подробнее эти этапы.

1) В современном производстве модель художественной отливки все чаще изготавливают с помощью цифровых технологий. Можно изготовить модель вручную, но это существенно увеличивает время технологического цикла. Для данного технологического процесса рекомендуются следующие цифровые методы изготовления моделей:

- Механическая обработка на станках с ЧПУ из следующих материалов – пластик, дерево.

- Печать трехмерных моделей на фотополимерных 3D-принтерах по технологии SLA (лазерная стереолитография) и DLP (проекторная стереолитография).

- Печать трехмерных моделей на 3D-принтерах по технологии FDM - методом послойного наплавления пластиковой нити.

2) Из-за низкой температуры литья оловянных сплавов в качестве материала формы подходят кремний-органические резины – «силиконы».

Различают кремний-органические двухкомпонентные компаунды холодного отверждения и однокомпонентные кремний-органические резины горячего отверждения (вулканизации).

Современные сплавы на основе олова для художественного литья можно разделить на 2 основные группы по температуре плавления:

1. С температурой плавления ниже 200 °С: система Sn-Pb, Sn-Pb-Zn, Sn-Bi, Sn-Bi-Zn;

2. С температурой плавления выше 200 °С: система Sn-Sb, Sn-Cu, Sn-Sb-Cu, Sn-Cu-Mg.

Для первой группы сплавов подходят почти все известные составы как холодного, так и горячего отверждения.

Для второй группы сплавов из компаундов холодного отверждения подходят марки КЛСЕ и Висксинт У-1-18, из компаундов горячего отверждения – любые, поскольку температура деструкции выше 300 °С.

Для компаундов горячего отверждения не подходят модели из материалов с температурой размягчения ниже 120–180 °С, так как большинство резин вулканизируются при температурах 160–180 °С (есть только несколько составов с температурой вулканизации около 100 °С).

3) Так как олово не взаимодействует с большинством газов и оксидов, но смачивает сталь, плавку рекомендуется вести в керамических тиглях, с первоочередным расплавлением металлического олова, либо – переплавом. В качестве защитного низкотемпературного флюса лучше применять хлористый цинк, чем хлористый аммоний, при этом достаточно ввода флюса в количестве 0,1 % от массы расплава.

4) Так как резиновые формы имеют очень низкую теплопроводность, то температура перегрева должна быть минимальна. Для лучшей формозаполняемости необходимо применять либо высокий стояк (большое гидростатическое давление), либо подпрессовку после заливки влажным асбестокартоном. Если отливка имеет ярко выраженные тепловые узлы, необходимо помещать в полость формы внутренние холодильники из этого же сплава.

5) Отливки из оловянных сплавов обычно обрабатывают тремя различными способами с сохранением цвета основы:

- химическое чернение поверхности (для искусственного «состаривания» внешнего вида изделия);

- полировка твердых сплавов свободным абразивом органического происхождения, такими как скорлупа орехов, деревянная стружка и гречневая лузга;

- сатинирование (метод обработки поверхности острыми стальными иглами путем нанесением неглубоких направленных царапин на поверхность изделия), применяемое для мягких сплавов и при художественной необходимости - для твердых.

Также можно наносить покрытия методом гальванического осаждения для придания поверхности сплавов требуемого цвета.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ОЛОВА ДЛЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ

Рахуба Е.М.<sup>1</sup>, Деев В.Б.<sup>1</sup>, Сметанюк С.В.<sup>1</sup>, Пономарева К.В.<sup>2</sup>,  
Приходько О.Г.<sup>2</sup>

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Батышев А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический

университет «МИСиС», г. Москва, e-mail: deev.vb@mail.ru

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, e-mail: kiraponomareva525@mail.ru

Рассмотрены перспективы использования сплавов на основе олова для художественного литья. Проанализированы общие декоративные, литейные свойства сплавов и экологические требования к ним. Показано разделение художественных изделий из оловянных сплавов по области применения.

Ключевые слова: изделия, украшения, олово, сплавы, свойства

Исторически олово было одним первых металлов, используемое человеком, наряду с медью. Из сплава олова и меди изготавливали бронзу – самый высокопрочный сплав до появления сталей. Также из олова изготавливали предметы домашнего обихода, в том числе и художественного назначения наряду с золотом и серебром.

В современном мире олово является весьма дефицитным металлом, это связано в первую очередь с истощением мировых запасов оловянных руд. Поэтому оловянные сплавы используются в основном в стратегических отраслях промышленности – припои для микроэлектроники, пищевая промышленность и точное машиностроение (модельные безусадочные сплавы). Активное использование оловянных сплавов наблюдается при изготовлении художественных изделий в Европе и Северной Америке.

Исторически из оловянных сплавов изготавливали в большом количестве посуду, носимые украшения и предметы интерьера. Основой этих сплавов были системы Sn-Pb и Sn-Cu-(Sb). Но в связи с доказанностью вредного влияния свинца на организм человека с середины XX века практически полностью исчезли сплавы системы Sn-Pb из группы сплавов для изготовления посуды и носимых украшений.

Сплавы на основе олова представляют интерес для получения отливок художественного назначения из-за следующих особенностей:

1. Имеют серебристый цвет, имитирующий сплавы серебра, хорошо подвергаются механической обработке как для создания глянцевой, так и матовой (сатинированной) поверхности.

2. Обладают великолепными литейными свойствами, такими как жидкотекучесть и формозаполняемость.

3. Имеют низкую температуру плавления, что позволяет существенно

упростить технологическую цепочку получения литого изделия.

В настоящее время художественные изделия из оловянных сплавов можно разделить на три основные группы по области применения:

1) Сплавы для изготовления церемониальной посуды, заменяющие по эстетическим и потребительским свойствам сплавы на основе серебра (олово является нейтральным к организму человека). Кроме того, олово значительно дешевле серебра.

Из-за существенно возросших экологических требований к сплавам, контактирующих с пищей, в настоящее время используется сплав системы Sn-Sb-Cu, где содержание Sn не ниже 90 % по массе, Sb – не более 6 % по массе (предел растворимости Sb в твёрдом растворе Sn), остальное - Cu. Этот сплав имеет историческое название Pewter. Pewter имеет неплохие прочностные характеристики, хорошо поддается механической обработке, хорошо сопротивляется коррозии.

В настоящее время идет работа по созданию нового сплава для изготовления предметов, контактирующих с пищей. Основное направление исследований – исключить Sb из системы сплава, поскольку Sb имеет токсическое воздействие на организм человека, и повысить прочностные характеристики до уровня сплавов системы Ag-Cu, так как Pewter имеет прочностные характеристики примерно в 1,5 раза ниже сплавов указанной системы.

2) Сплавы для изготовления художественных миниатюр.

Исторически оловянный солдатик занимает существенное место в европейской культуре. Художественная миниатюра изготавливалась из чистого олова или сплава системы Sn-Pb. В настоящее время большая часть промышленной художественной миниатюры изготавливается из сплавов на основе цинка.

Но малые серии эксклюзивных миниатюр продолжают изготавливаться частными мастерами и семейными мастерскими из сплава системы Sn-Pb с защитными покрытиями. Несмотря на стоимость оловянных сплавов, которая на порядок дороже цинковых, технология изготовления миниатюр из сплавов группы ЦАМ выгодна только при партиях миниатюр от нескольких тысяч штук одного наименования. Но обычно партия эксклюзивных миниатюр составляет не более нескольких сотен штук по всему миру. Основной недостаток сплава системы Sn-Pb для миниатюр - низкие прочностные свойства. Вредное воздействие на организм человека можно не учитывать, так как все миниатюры поставляются с защитным покрытием в виде красок и предназначены для коллекционирования.

В настоящее время проводятся работы по увеличению прочностных свойств сплавов системы Sn-Pb, обусловленные тем, что данная система оловянных сплавов является низкой по стоимости и имеет температуру плавления ниже 200 °С. Это позволяет использовать в качестве постоянной формы кремний-органические компаунды холодного отверждения, что опять же снижает себестоимость продукции.

3) Сплавы для изготовления недорогих эксклюзивных носимых украшений.

Исторически в данной группе применялись все возможные системы

оловянных сплавов, что происходит и в настоящем.

Основное требование к данной группе сплавов – нейтральное воздействие на организм человека, высокие прочностные свойства и стойкость к коррозионному разрушению. Поэтому направление исследований в этой группе сплавов совпадает с направлением исследований группы сплавов для церемониальной посуды.

УДК 621.746

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКОПЛАВКИХ СПЛАВОВ ДЛЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ**

**Рахуба Е.М.<sup>1</sup>, Деев В.Б.<sup>1</sup>, Сметанюк С.В.<sup>1</sup>, Пономарева К.В.<sup>2</sup>,  
Приходько О.Г.<sup>2</sup>**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Батышев А.И.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, e-mail: deev.vb@mail.ru*

*<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, e-mail: kiraponomareva525@mail.ru*

Проведен краткий технико-экономический анализ применения легкоплавких сплавов для художественного литья. Рассмотрены характеристики сплавов на основе Sn и Zn и методы литья с точки зрения экономической обоснованности применения конкретного из них. Проведен краткий анализ составов сплавов на основе олова для художественного литья, а также материалов, используемых в качестве формы. Показано, что сплавы на основе Sn для художественного литья экономически целесообразно использовать, применяя метод литья в постоянные резиновые формы.

Ключевые слова: технологический процесс, метод литья, олово, сплавы, характеристики, отливки

На данный момент времени Sn является четвертым по стоимости металлом промышленной группы в мире. Ряд биржевой стоимости промышленных металлов, применяемых для изготовления художественных изделий, следующий (указана примерная стоимость в рублях за 1 грамм по данным Лондонской Биржи Металлов): Золото (2 300); Платина (1 900); Серебро (33); Олово (1,2); Медь (0,35); Цинк (0,17).

Розничная стоимость металлов превышает биржевую, в некоторых случаях – до двух раз. В этом ряду металлов к легкоплавким металлам относится олово и, условно, цинк.

В данной работе будем рассматривать себестоимость изготовления художественных изделий из сплавов на основе олова и цинка. Некоторые технологические характеристики сплавов на основе олова и цинка приведены таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод, что сплавы на

основе олова имеют преимущества перед цинковыми сплавами в виде более низкой температуры плавления, лучшей жидкотекучести и не требуют защитного и декоративного покрытия. Недостатками оловянных сплавов являются низкие прочностные свойства и высокая стоимость материалов сплава (разница - до 10 раз).

Таблица 1 - Технологические характеристики сплавов на основе Sn и Zn

№ п/п	Характеристика	Значение характеристики	
		Zn - сплавы	Sn - сплавы
1	Плотность, г/см <sup>3</sup>	~7	~7
2	Температура плавления, °С	360-410	150-250
3	Характерный интервал кристаллизации, °С	10-20	10-20
4	Прочностные свойства	хорошие	удовлетворительные
5	Жидкотекучесть	удовлетворительная	хорошая
6	Защитные покрытия	необходимы	нет
7	Декоративные покрытия	разнообразны, желательны	разнообразны, не обязательны

Перечислим возможные методы литья легкоплавких сплавов и рассмотрим эти методы с точки зрения экономической обоснованности применения:

1. Гравитационное литьё в разовые и постоянные формы.

1.1 Гравитационное литьё в разовые формы – в данном случае подразумевается метод литья по выплавляемым моделям, который характеризуется весьма крупными и объёмными отливками, и низкими требованиями к жидкотекучести расплава. Характерная серия отливок, получаемых данным методом, составляет до 100 единиц.

Технологический процесс весьма дорог, требует сложного оборудования и значительных временных затрат. Соответственно, при одинаковых затратах на изготовление формы сплавы на основе Zn являются предпочтительными для данного метода литья.

1.2 Гравитационное литьё в постоянные формы – литьё в кокиль характеризуется достаточно высокими требованиями к жидкотекучести расплава. Характерная серия отливок, получаемых данным методом, составляет до 1000 единиц.

Для легкоплавких сплавов в качестве материалов кокилей обычно применяют силиконовые резины из-за низкой стоимости изготовления и достаточной долговечности формы. Из технологического оборудования для данного метода необходимы только плавильная печь и пресс-вулканизатор для силиконов горячего отверждения. Сплавы на основе Sn являются предпочтительными для данного метода литья, поскольку обладают лучшей жидкотекучестью. Следует отметить, что стойкость форм для сплавов на основе Zn в разы меньше.

## 2. Центробежное литьё в разовые и постоянные формы.

2.1 Центробежное литьё в разовые формы для легкоплавких сплавов не применяется, поскольку они обладают удовлетворительной жидкотекучестью для использования метода литья в разовые формы по выплавляемым моделям.

2.2 Центробежное литьё в постоянные формы – в качестве материала формы преимущественно применяют силиконы горячего отверждения. Метод характеризуется отливками небольшой массы, простой формы и низкими требованиями к жидкотекучести расплавов. Характерная серия отливок, получаемых данным методом, составляет от 100 до 10000 единиц.

Сплавы на основе Zn являются предпочтительными для данного метода, поскольку сплавы на основе Sn имеют такую же стоимость технологического процесса, а сам сплав - существенно дороже по цене.

## 3. Литьё под давлением в постоянные формы.

Метод литья характеризуется сложными тонкостенными отливками и применением дорогостоящего оборудования и оснастки. Характерная серия отливок, получаемых данным методом, составляет от 1000 до 100000 единиц.

В этом методе литья используют исключительно сплавы на основе Zn, которые имеют высокие прочностные свойства и высокие пластические свойства ниже температуры кристаллизации.

Резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что сплавы на основе Sn для художественного литья экономически целесообразно использовать, применяя метод литья в постоянные резиновые формы для изготовления сложных тонкостенных отливок массой до 150-200 грамм и серией отливок до 1000 единиц.

УДК 621.746

## **СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИУРЕТАНА И ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОРИГИНАЛЬНЫХ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Сметанюк С.В.<sup>1</sup>, Деев В.Б.<sup>1</sup>, Рахуба Е.М.<sup>1</sup>, Пономарева К.В.<sup>2</sup>,  
Приходько О.Г.<sup>2</sup>**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Батышев А.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, e-mail: deev.vb@mail.ru,*  
<sup>2</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, e-mail: kiraponomareva525@mail.ru*

Рассмотрены общие особенности современных технологий получения различных художественных изделий из сплавов на основе олова. Проведен краткий анализ составов сплавов на основе олова для художественного литья, а также материалов, используемых в качестве формы.

Ключевые слова: отходы литейного производства, полиуретан, отливки, сплавы, стружка,

Жизнь в XXI веке характеризуется высокой скоростью. Как скоростью обмена информацией, перемещений в пространстве, производстве новых товаров и услуг, так и скоростью смены модных стилей в оформлении интерьера и дизайна одежды. Стали популярны предметы интерьера, выполненные из полимерных материалов – пластиков.

Самым распространенным материалом для изготовления малых форм художественного литья и бижутерии является полиуретановая система холодной полимеризации. Технология изготовления отливок из полиуретана холодной полимеризации весьма проста и дешева. Данная система состоит из двух компонентов и допускает ввод наполнителей, после смешения компонентов производится заливка компаунда в гибкую силиконовую форму с применением минимальной литниковой системы, где выдерживается в течение нескольких часов. После выдержки в форме извлекают готовое литое изделие, готовое к эксплуатации. При необходимости литое изделие можно подвергнуть механической обработке, как резанием, так и при помощи абразивных материалов.

Существуют как однотонные, так и прозрачные полиуретановые системы, примеры изделий из которых приведены на рисунке 1.

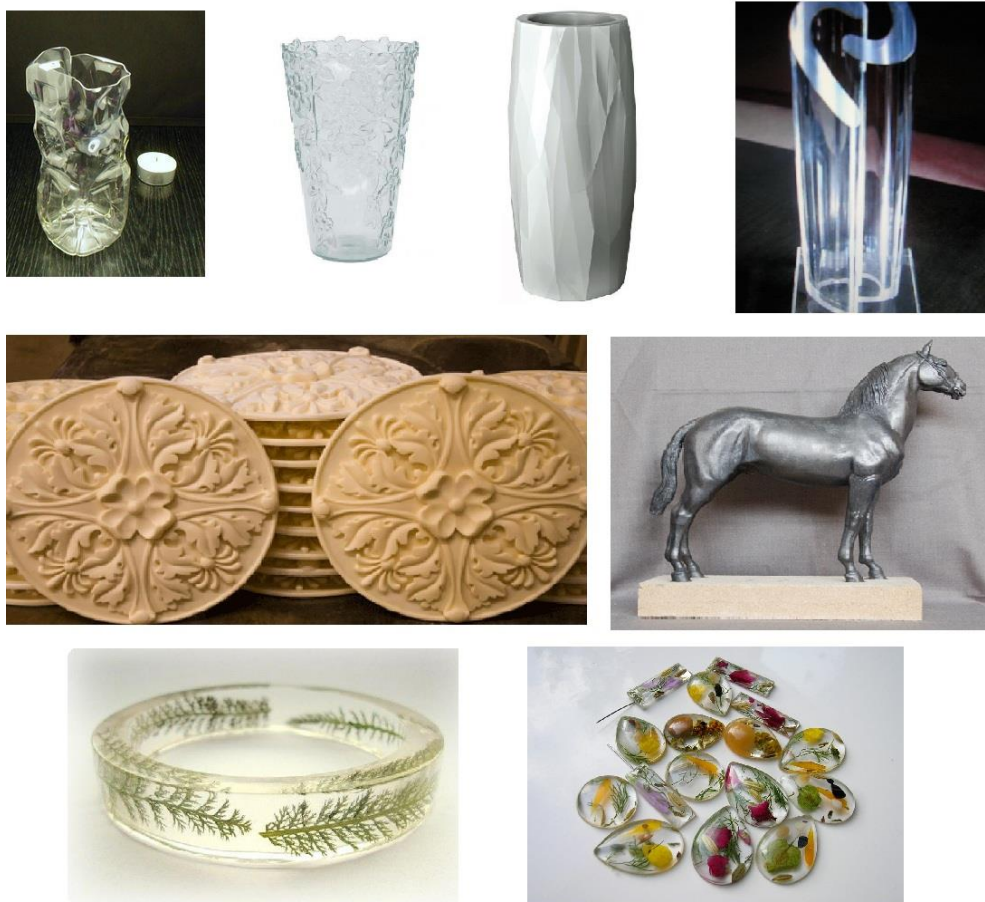


Рисунок 1 – Художественные изделия из полиуретана

Для получения цвета и текстуры для непрозрачного материала применяют две технологии. Первая технология заключается в нанесении цветного декоративного покрытия, пример которого представлен на рисунке 2. Вторая технология заключается в вводе в жидкую композицию наполнителя, причем это может быть как пигмент, так и металлический порошок, для придания сходства с металлическим изделием. Пример такого изделия приведен на рисунке 3.

Отходами литейного производства с наивысшей художественной ценностью являются металлические отходы, которые образуются как во время плавки сплава и заливки литейной формы, так и при обработке отливок. Отходами плавки и заливки форм являются различные плёны, сливы и скрап металла. При механической обработке отливок образуется стружка. Примеры отходов механических цехов приведены на рисунке 4. Переработка отходов имеет существенные трудности, поэтому зачастую такие отходы утилизируются сторонними организациями.



Рисунок 2 – Пример отливки с декоративным покрытием



Рисунок 3 – Пример отливки с введенным наполнителем



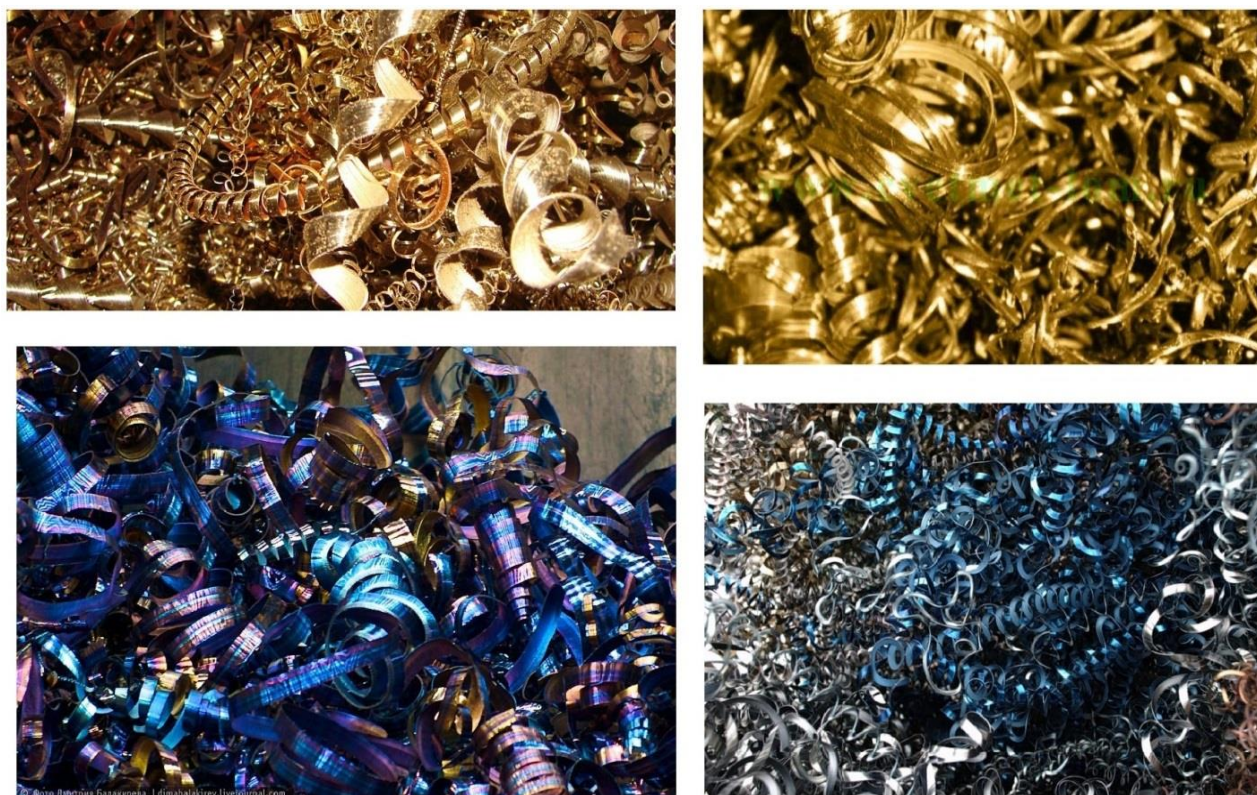


Рисунок 4 – Отходы механической обработки отливок

Наибольшую художественную ценность имеют металлические отходы производства стального литья, титанового литья и литья сплавов на основе меди.

Предлагается два способа применения отходов. Первый предполагает измельчение металлических отходов до порошкообразного состояния с фракцией меньше 50 мкм с последующим вводом в непрозрачную полиуретановую композицию для придания цвета и текстуры металла. Второй предлагает вводить предварительно подготовленные отходы в прозрачную систему для изготовления оригинальных изделий.

Подготовка металлических отходов для использования в художественных изделиях из прозрачных полиуретанов включает в себя следующие операции:

1. Сортировка по геометрическому размеру, дополнительное измельчение сырья (при необходимости), отбор по художественной ценности.

2. Придание цвета поверхности за счет образования разноцветных оксидных плен на поверхности металла. Для стальных отходов это называется «цветом побежалости». Заданный цвет побежалости достигается температурой нагрева стальных материалов в окислительной атмосфере и времени выдержки. Таблица значений цветов побежалости приведена на рисунке 5. Титановые отходы тоже имеют цвет побежалости, но температурная зависимость для них исследована недостаточно и сводная таблица цветов не составлена.



Цвет	Наименование	t° С
	Серый	325
	Светло-синий	310
	Ярко-синий	295
	Фиолетовый	285
	Пурпурно-красный	275
	Красно-коричневый	265
	Коричнево-желтый	255
	Соломенно-желтый	240
	Светло-желтый	225
	Светло-соломенный	200

Рисунок 5 – Цвета побежалости стали

Для придания художественному изделию из полиуретана светотехнических характеристик (возможность светиться в темноте различными цветами после облучения дневным цветом) применяется светоаккумулирующий люминофор.

Люминофор может вводиться в объем полиуретана при заливке изделия, а также для усиления художественного эффекта может наноситься в составе прозрачного органического лака на поверхность металлических отходов перед вводом в изделие.

УДК 625.143.48

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РЕЛЬСОВ

**Яблонский М.А.**

**Научный руководитель: 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*

Анализ существующих методик сварки рельсов позволяет всесторонне рассматривать проблему бесстыкового пути. Важными факторами, определяющими качество и надежность бесстыкового пути, являются металлургические и сварочные технологии сварки рельсов, а также последующие технологические приемы, снижающие последствия высокотемпературных воздействий. Анализ существующих методик сварки рельсов позволяет выработать направление исследований для решения данной проблемы.

Ключевые слова: сварка, технология, рельсы, качество, надежность, алюминотермия.

Железные дороги в Российской Федерации и их состояние во многом определяют развитие экономики в стране. Протяженность Российских желез-

ных дорог и интенсивность грузопотоков выдвигают новые требования к верхнему строению пути, в частности к основному элементу - рельсам. В настоящее время, как на железных дорогах России, так и за рубежом, происходит отказ от звеньевой конструкции пути. Одним из основных недостатков звеньевого пути является наличие стыка. Развитие технологий, позволяющих обеспечить возможность получения бесстыкового железнодорожного пути, является актуальным направлением в настоящее время. Следует принимать во внимание, что эксплуатация железнодорожного пути в стране происходит в сложных климатических и эксплуатационных условиях (в стране используются пути совмещенного типа, а не как в Европейских странах - отдельно для промышленного и пассажирского потока).

Не маловажным преимуществом бесстыковой конструкции верхнего строения пути является и то, что она позволяет использовать железобетонное подрельсовое основание, которое повышает запас устойчивости, сопротивляемость продольным и поперечным перемещениям рельсов и обеспечивает равную жёсткость пути по длине. К тому же, использование железобетонных шпал уменьшает расход деловой древесины.

Создание рельсов с ресурсом 1500 – 2000 млн. т. возможно только при комплексной оптимизации металлургического качества, структуры металлической матрицы, эпюры остаточных напряжений и прямолинейности [1-4]. Высокое металлургическое качество рельсов связано, прежде всего, с отсутствием в них скоплений и отдельных крупных хрупкоразрушенных оксидных неметаллических включений, что обеспечивается низким содержанием в стали алюминия (менее 0,004 %) и кислорода (общего – менее 20 ppm и связанного в высокоглиноземистые оксидные включения – менее 10 ppm).

Многие недостатки можно преодолеть путем разработки и освоения производства сварных рельсовых плетей длиной 800 м, сваренных из цельнокатаных рельсов длиной 100 м с последующей термической обработкой путем непрерывно-последовательного индукционного нагрева всего сечения рельса и последующего дифференцированного охлаждения, направленного на получение в головке рельса структуры сорбита и троостосорбита, максимально возможно однородной как для цельнокатаного рельса, так и для сварного стыка при отсутствии зон термического влияния. Полученные рельсовые плети с термической обработкой должны обеспечивать при условии проведения периодической профилактической шлифовки или фрезеровки межремонтный эксплуатационный ресурс не менее 1500 – 2000 млн. т. брутто.

Такой подход обеспечит максимально возможную равнопрочность сварных стыков и цельнокатаных рельсов с получением длинных рельсовых плетей для бесстыкового пути с равным сопротивлением износу и смятию в эксплуатации, что позволит ликвидировать местные неровности в сварных плетях бесстыкового пути в течение всего срока службы рельсов. Кроме того, это обеспечивает получение благоприятной эпюры внутренних остаточных напряжений, способствующих получению наибольшего сопротивления зарождению и распространению контактно-усталостных трещин в головке,

коррозионно-усталостных трещин в подошве и продольных трещин в шейке рельса как в прокатной, так и в сварной части рельсовых плетей.

Правильно подобранный режим дифференцированно термически упрочненной рельсовой плети позволит минимизировать процесс правки после термической обработки и сохранить внутренние остаточные сжимающие напряжения. Известно, что рельсы, термически упрочненные по технологии непрерывно-последовательного сквозного индукционного нагрева и последующего дифференцированного охлаждения сжатым воздухом со стороны головки и подошвы на предприятиях «СИСКо» (Канада) (в настоящее время завод закрыт) и «Сожерай» («Тата Стил», Франция), имели остаточные сжимающие напряжения в головке 100 – 200 МПа, а в подошве 100 – 150 МПа. Рельсы, термически упрочняемые с прокатного нагрева дифференцированной закалкой или с отдельного нагрева объемной закалкой в масле, в результате проведения холодной правки на роликоправильных машинах имеют растягивающие напряжения в головке и подошве до 250 – 300 МПа [5].

При строительстве, ремонте и текущем содержании бесстыкового пути одной из ключевых технологий является сварка рельсов, для которой разработаны и запатентованы следующие способы:

- давлением: электроконтактный, газопрессовый, индукционный, лазером, трением и др.;

- алюминотермитный;

- электродуговой: штучными электродами, под слоем флюса, в среде защитных газов, электрошлаковый, порошковыми проволоками и др.

Всем способам сварки присуще наличие зоны термического влияния (ЗТВ) – измененной структуры основного металла рельсов, непосредственно прилегающего к сварному шву. Это приводит к возникновению остаточных напряжений и, как следствие, к снижению прочностных характеристик сварного соединения. Ширина ЗТВ зависит от времени воздействия высоких температур на основной металл, массы присадочного металла, способа и параметров сварки.

Для уменьшения зоны термического влияния предлагается [6] после сварки рельсов во время охлаждения проводить квазиизотермическую выдержку в интервале температур образования мелкодисперсной структуры путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык с поддержанием данной температуры до конца превращения. Использование квазиизотермической выдержки при температуре 600 – 650 °С позволяет получить мелкодисперсную структуру сварного шва железнодорожных рельсов без дополнительной термообработки.

#### Библиографический список

1. Козырев Н.А. Железнодорожные рельсы из электростали [Текст]/ Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Дементьев. – Новокузнецк: ЕвразХолдинг, Новокузнецкий металлургический комбинат, 2006. – 388 с.
2. Шур Е. А. Перспективные требования Российских железных дорог к

рельсам [Текст]// Железнодорожный транспорт. 2008. № 2. С. 41 – 45.

3. Шур Е. А. Влияние структуры на эксплуатационную стойкость рельсов [Текст]//Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов: сб. Екатеринбург: УИМ, 2006. С. 37 – 63.

4. Князев С.В. Прогнозирование качественных характеристик стали марки 20ГФЛ [Текст]./ С.В.Князев, Д.В.Скопич, А.А.Усольцев, Е.А.Фатьянова//Вестник СибГИУ. 2015, №2(12). С. 31-33.

5. Термически упрочненные рельсы [Текст] / под ред. А. Ф. Золотарского. М.: Транспорт, 1976. 264 с.

6. Шевченко Р.А. Совершенствование технологии сварки рельсовой стали с повышенным содержанием хрома [Текст]./ Р.А. Шевченко// Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып.20–ч.III – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – С. 259-261.

УДК 621.742: 661.683

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХТС НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ**

**Долгополов А.Е., Мамедов Р.О.**

**Научный руководитель: 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*

Процесс получения отливок в разовых литейных формах заданного качества определяется качеством формовочных материалов и смесей, используемых для изготовления литейных форм и стержней. В производстве крупных стальных и чугунных отливок использование ХТС позволяет резко сократить технологический цикл, повысить производительность труда и уменьшить стоимость оборудования.

Ключевые слова: холоднотвердеющие смеси, состав, свойства смеси, качество.

Анализ состояния и направлений развития различных технологических процессов изготовления отливок и сравнение их технико-экономических преимуществ показали, что лидирующие позиции занимают литьё в разовые литейные формы. Комплекс операций по изготовлению литейных форм и стержней составляет около 60 % трудозатрат на получение отливок. Поэтому получение в разовых литейных формах отливок заданного качества определяется качеством формовочных материалов и смесей, используемых для изготовления литейных форм и стержней [1-3].

Составы применяемых на практике формовочных и стержневых смесей разнообразны и зависят от характера литья и качества применяемых сырых материалов. Все используемые в литейном производстве материалы и смеси условно можно разделить на две большие группы: традиционные и специальные. Преимуществом технологии формовки с применением специальных смесей является возможность полной автоматизации процессов, повышение размерной точности отливок, резкое сокращение продолжительности цикла изготовления формы или стержня за счет исключения операций, связанных с сушкой форм и стержней. Поэтому естественно, что в настоящее время задача разработки принципиально новых и совершенствования существующих составов смесей и процессов изготовления из них стержней и форм сохраняет свою актуальность [1].

Одной из наиболее перспективных разработок в этом направлении является создание и внедрение в производство ХТС.

ХТС предназначены для ускоренного изготовления форм и стержней в крупносерийном и массовом производствах, применение которых обеспечивает повышение уровня механизации и автоматизации литейных процессов и способствует повышению производительности труда. ХТС получают на основе синтетических смол. В состав ХТС входят наполнитель, связующая композиция и специальные добавки. Эти компоненты определяют технологические свойства смесей и условия их использования в литейном производстве [4].

Производство форм и стержней по технологии ХТС-процесс получило большое распространение на территории России и стран СНГ за последнее десятилетие. Это объясняется тем, что способ получения литейных стержней и форм из холоднотвердеющих форм с применением связующих на смоляной основе имеет ряд технологических достоинств.

В 1979 г. фирма «Borden» (Англия) разработала ALPHA-SET - процесс, с ХТС на фурановых смолах. В качестве связующего используются фенолформальдегидные смолы резольного типа на новой основе: использован оригинальный механизм отверждения, а уровень токсичности снижен в десятки раз. Отвердителями служат сложные эфиры [1].

В России ведущим и крупнейшим производителем литейных связующих композиций для холоднотвердеющих смесей (ХТС) является ОАО «Уралхимпласт». Это предприятие более 50 лет производило все разновидности литейных химических продуктов. В 2013 г. на базе «Уралхимпласт» и немецкого ведущего производителя химической продукции для литейной промышленности во всем мире «Хюттенес-Альбертус», создано совместное предприятие «Уралхимпласт – Хюттенес-Альбертус». Оно служит разработчиком и поставщиком материалов для ХТС более чем для сотни российских заводов.

ALPHA-SET - процесс получил известность благодаря хорошему качеству поверхности отливок. Хорошая текучесть смеси на этапе заполнения формы способствует ее равномерному распределению в форме и стержневом ящике. Хорошая извлекаемость оснастки и великолепная пригодность ALPHA-SET – смеси для нанесения противопожарных покрытий создаёт от-

личные предпосылки для достижения гладких поверхностей отливок. Связующая система альфа-сет не содержит серы, снижающей поверхностное натяжение металла. ALPHA-SET - процесс признан эффективным, щадящим к окружающей среде процессом формовки и изготовления стержней, который позволяет изготавливать ответственное литьё с хорошим качеством поверхности при небольших затратах труда на очистку и окончательную обработку.

Следует стремиться к минимальному расходу смолы с учетом достижения достаточной общей и поверхностной прочности. Минимально возможный расход связующего определяется в первую очередь качеством применяемого песка. Желательно применение обогащенных (мытых и классифицированных) песков с содержанием глинистой составляющей не более 0,5% и зернистостью не менее зернистости песка марки 1К02А. Это требование особенно актуально для высококачественных силанизированных фурановых смол (типа КФ65С, ФФ-65С), расход которых на обогащенном песке составляет 1,0...1,2 мас. ч. для стержней и 0,8...1,0 мас. ч. для облицовок крупных форм [5].

Для получения толстостенных стальных отливок ответственного назначения используют ХТС с наполнителями повышенной огнеупорности и с минимальными объемными изменениями при высокотемпературном нагреве: зернистыми концентратами циркона, хромита, дистенсиллиманита и др. При этом содержание смоляного связующего и кислотного катализатора на 100 мас. ч. наполнителя уменьшается (по сравнению с составом на кварцевом песке) [5].

По результатам исследования определен оптимальный состав ХТС для тонкостенных отливок (состав: песок 100 %, смола 2 %, расход отвердителя 1 %, глицерин 0,03 %). Исследование показало, что фуриленоформальдегидная смола повышает прочность смеси на 20 %, чистоту поверхности до Rz120. При этом газопроницаемость смеси остается в пределах 100 единиц [5].

К достоинствам ХТС процесса в отличие с процессами использования нагреваемой оснастки следует отнести следующее: повышение точности отливок на 1-2 класса; снижение расхода электроэнергии более чем в 10 раз; высокое качество отливок; снижение на 20–30 % потерь от брака.

В производстве крупных стальных и чугуновых отливок использование ХТС позволяет резко сократить технологический цикл за счёт ликвидации объёмной или поверхностной сушки форм, повысить производительность труда, уменьшить стоимость оборудования путём замены комбинированных методов уплотнения виброуплотнением.

#### Библиографический список

1. Климов В.Я. Формовочные и стержневые материалы и смеси: учеб. пособие /В.Я. Климов, О.Г. Приходько, В.Б. Деев СибГИУ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – 194 с.

2. Automated system of control and diagnostics of cast-steel defects in the mass production / S. V. Knyazev, A. A. Usoltsev, D. V. Skopich, E. A. Fatyanova,

A. E. Dolgopolov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 150. - P. 1-5 (012039). – Библиогр.: р. 5. – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

3. Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством. / Литейное производство, 1992, № 4, с.26-27

4. Жуковский С.С. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей /С.С. Жуковский, А.М. Лясс. – М.: Машиностроение, 1978. – 224 с.

5. Еремин Е.Н. Разработка технологии получения высокопрочных литейных форм на основе холоднотвердеющих смесей /Е.Н. Еремин, А.З. Исагулов, Т.В. Ковалева // Омский научный вестник. – 2015. - № 3. С. 24 – 26.

УДК 625.143.48

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СВАРКИ РЕЛЬСОВ НА МАШИНЕ К 1100 МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Шишкин П.Е., Шевченко Р.А., Патрушев А.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [mas866@mail.ru](mailto:mas866@mail.ru)*

Определены оптимальные параметры режимов сварки на машине К1100, на основании математических моделей процесса контактной сварки рельсов, которые позволяют повысить качество сварного соединения рельсов. Рассмотрены принципы управления процесса контактной стыковой сварки рельсов.

Ключевые слова: бесстыковой путь, оплавление, контактно стыковая сварка рельсов, параметры сварки, перемещение станины, оптимизация, значения параметров, регрессионные модели.

Развитие технологий, позволяющих обеспечить возможность получения бесстыкового железнодорожного пути с требуемыми качественными характеристиками, является актуальным направлением в настоящее время. Одной из прогрессивных технологий сварки рельсов является контактная стыковая сварка пульсирующим оплавлением [1, 2].

Ранее были разработаны математические модели процесса контактной сварки рельсов Р65 на машине К1100 на основе приведенных режимов и по данным производственных испытаний контрольных образцов на трехточечный изгиб (значения усилия, возникающего при изгибе  $P_{изг}$ , кН и значения стрелы прогиба  $f_{пр}$ , мм при которых происходит разрушение контрольного образца):

$$P_{изг} = 814,08 - 12,93 \cdot I_{макс5} + 40,84 \cdot U_{макс5} - 6,40 \cdot T_{нач4} - 0,26 \cdot I_{мин4} + 3,20 \cdot I_{макс4} - 6,29 \cdot U_{макс4} - 2,12 \cdot P_{мин4} + 41,79 \cdot P_{макс4} + 53,33 \cdot V_{ср4} + 6,60 \cdot I_{ср1} - 219,91 \cdot P_{ср1}$$

$$f_{пр} = -194,21 - 0,24 \cdot I_{макс5} - 0,02 \cdot T_{нач4} + 0,07 \cdot I_{макс4} + 2,43 \cdot P_{макс4} - 0,75 \cdot P_{ср4} + 1,94 \cdot V_{ср4} + 0,01 \cdot I_{макс3} + 0,05 \cdot T_{длит1} + 0,08 \cdot I_{ср1} - 3,32 \cdot P_{ср1}$$

В данной работе проводили оптимизацию процесса контактной сварки рельсов. 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. Чем ближе найденное значение коэффициента корреляции к единице, тем сильнее значение одного параметра зависит от того, какое значение принимает другой, т.е. между такими параметрами существует линейная связь, и при изучении процесса можно рассматривать только один из них [3].

Для проверки значимости коэффициента парной корреляции между  $P_{изг}$  и  $f_{пр}$  ( $R$ ) сравним его значение с табличным (критическим) значением ( $r_{кр}$ ), которое приведено в [3]. Критическое значение корреляции выбирается исходя из числа степеней свободы,  $f = n - 2 = 78$  (количество экспериментов  $n = 80$ ), и при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  ( $P = 0,95$ ). В нашем случае  $R = 0,65 > r_{кр} = 0,217$ , таким образом между параметрами имеется тесная линейная связь и оптимизацию можно проводить только по одному параметру.

При оптимизации с использованием регрессионных моделей необходимо задать границы варьирования параметров. Этими границами являются максимальные и минимальные значения параметров, по которым строились регрессионные модели (таблица 1).

Таблица 1 – Интервалы значений входных параметров

Параметр	$P_{ср1}$	$I_{ср1}$	$V_{ср4}$	$P_{макс4}$	$P_{мин4}$	$U_{макс4}$	$I_{макс4}$	$I_{мин4}$	$T_{нач4}$	$U_{макс5}$	$I_{макс5}$
Знаки коэф. регрессии ( $b_i$ )	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-
Макс. значение	32	513	9,33	129	100	423	1174	1075	144,9	105	324
Мин. значение	30	434	1,56	123	60	359	1074	6	99,1	2	6

О характере влияния факторов говорят знаки коэффициентов регрессии. Знак плюс свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина параметра оптимизации, а при знаке минус – убывает. Так как мы ищем максимум функции отклика, то увеличение значения всех факторов, коэффициенты которых имеют знак плюс, благоприятно, а имеющих знак минус неблагоприятно. В соответствии с этим, подставим значения параметров в уравнение из таблицы 1.



При выборе наиболее благоприятных параметров значений усилия изгиба составляет  $P_{изг} = 8437,37$ кН. Расчетное значение  $P_{изг}$  практически в 3 раза выше среднего, на реальном процессе данные режимы реализовать невозможно, так как на пятом этапе оплавление не происходит, ток протекает уже по всему сечению сварного рельса. В результате нет возможности осуществлять регулировку силы тока оплавления с помощью передвижения подвижной станины (в данном случае сила тока пропорциональна напряжению), поэтому одновременная подстановка минимального значения напряжения и максимального значения силы тока некорректна. Подставляя сначала максимальные значения, а потом минимальные значения напряжения и тока пятого этапа ( $U_{макс5}$ ,  $I_{макс5}$ ) получим наиболее близкие к истине значения усилия при изгибе 3923,07 кН и 3828,29 кН соответственно. Таким образом, наличие тока после осадки в свариваемых рельсах положительно влияет на качество сварного соединения. В таблице 2 приведены оптимальные значения параметров, при которых прогнозируемые значения по данным моделям регрессии составляют: усилие при изгибе  $P_{изг}=3923,07$  кН и стрела прогиба  $f_{пр} = 75,83$  мм.

Таблица 2 – Оптимальные значения параметров

Параметр	$P_{ср1}$	$I_{ср1}$	$V_{ср4}$	$P_{макс4}$	$P_{мин4}$	$U_{макс4}$	$I_{макс4}$	$I_{мин4}$	$T_{нач4}$	$U_{макс5}$	$I_{макс5}$
Значение параметра	30	513	9,33	129	60	359	1174	6	99,10	105	324

Для увеличения качества сварного соединения предлагается изменить используемые параметры режима на значения, приведенные в таблице 2, что повысит качество сварного соединения. Оборудование позволяет установить оптимальные параметры: ток на первом этапе оплавления  $I_1 = 510 \div 520$ А, максимальные значения тока при осадке  $I_{ос} = 1100 \div 1200$ А, а также показатель  $T_{нач4}$  указывает на то что минимальное время оплавления имеет лучшие показатели качества.

Некоторые из приведенных параметров нет возможности задать программным путем и для их установки потребуется наладка оборудования сварочной машины K1100. Параметры  $P_{макс4}$  и  $P_{мин4}$  относятся к четвертому этапу – осадке, разность их значений говорит о градиенте давления в гидроцилиндрах во время осадки, т.е. скорости изменения давления, которая определяет скорость передвижения подвижной станины при осадке. Средние значения скорости передвижения подвижной станины  $V_{ср4}$  варьируются от 1,56 до 9,33 мм/с, данный показатель зависит от состояния гидроаккумулятора, при недостаточном давлении в гидроаккумуляторе снижается скорость осадки, что может повлечь образование неметаллических включений (окислов) в металле сварного шва.

*Выводы:*

1. Определены оптимальные параметры режимов сварки на машине K1100, на основании математических моделей процесса контактной сварки

рельсов, которые позволяют повысить качество сварного соединения рельсов: ток на первом этапе оплавления  $I_1 = 510 \div 520 \text{ А}$ , значения тока при осадке  $I_{ос} = 1100 \div 1200 \text{ А}$ , снижение время на оплавление  $T_{нач4} = 100 \div 110 \text{ с}$ , средняя скорость передвижения подвижной станины  $V_{ср4} = 9 \div 10 \text{ мм/с}$ .

2. Рассмотрены принципы управления процессом контактной стыковой сварки рельсов. Показаны возможные причины снижения качества сварного стыка рельсов, для устранения которых требуется наладка оборудования.

#### Библиографический список

1. Шур Е.А. Комплексный метод контактной сварки рельсов/ Е.А. Шур, В.А.Резанов// Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 3. – С. 20 – 22.
2. Irving, B., Long Island Rail Road orders an all-welded fleet // Welding journal, Volume 22 - Issue 9, 1997, Pages 33-37.
3. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Ю.П. Адлер [и др.]/ Академия наук СССР – Москва: Изд-во «Наука», 1976.– 280 с.

УДК 625.143.48

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ РЕЛЬСОВ НА МАШИНЕ К 1100

**Шишкин П.Е., Патрушев А.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: mac866@mail.ru*

Проведён многофакторный корреляционный анализ технологических параметров процесса электроконтактной сварки рельсов с применением пульсирующего оплавления на машинах К1100 и создана математическая модель процесса контактной сварки рельсов. Предлагается с помощью регрессионных моделей управлять технологическими параметрами процесса контактной сварки рельсов.

Ключевые слова: бесстыковой путь, этапы сварки, контактная сварка рельсов, параметр сварки, коэффициенты регрессии, модель

В настоящее время прогрессивной конструкцией железнодорожного полотна является бесстыковой путь, который позволяет создавать скоростные железнодорожные магистрали с отсутствием стыков рельсов. Для получения бесстыкового пути чаще всего (более 90 %) используется контактная сварка [1, 2]. Процесс контактной стыковой сварки разделен на этапы: I этап оплавления, II этап оплавления, форсировка, осадка, гратосъем.

При электроконтактном способе торцы свариваемых рельсов нагреваются теплом, выделенном в контакте между рельсами при пропускании через них тока. Напряжение подается к свариваемым рельсам от сварочных

трансформаторов рельсосварочной машины, рельсы перемещаются навстречу друг другу. При соприкосновении торцов возникают единичные контакты, так как касание их происходит не по всей площади рельса, а по микронеровностям. Образующиеся контакты быстро нагреваются и взрываются. Поскольку торцы перемещаются навстречу друг другу, то вместо взорвавшихся контактов образуются новые. Сопротивление каждого элемента и плотность тока, протекающего через него, велики, поэтому контакты нагреваются очень быстро. В местах соприкосновения металл расплавляется и взрывается раньше, чем площадь контакта успевает значительно увеличиться в процессе сближения торцов рельсов. В любой момент времени (за исключением моментов замыкания рельсов) общая площадь всех контактов значительно меньше площади сечения оплавливаемых деталей. Часть расплавленного металла при взрыве перемычек выбрасывается наружу в виде брызг, в кратерах остается узкий слой нагретого, но не расплавленного металла и пленка жидкого металла, оставшегося после взрыва [3, 4].

Физическими параметрами при сварке являются: сила тока  $I$ , напряжение  $U$ , величина перемещения подвижной станины  $S$ , давление в системе  $P$ , скорость перемещения подвижной станины  $V$ , длительность этапа  $T$ . Параметры благодаря наличию компьютерной системы контроля и регистрации данных процесса сварки отображаются на экране монитора в виде графиков и цифровых значений. Для контроля качества сварки на рельсосварочных предприятиях производят для каждой сварочной машины, испытание нетермообработанных стыков двух контрольных образцов на трехточечный статический изгиб.

Для создания математической модели процесса контактной сварки рельсов использовалась имеющаяся база данных параметров сварочных режимов для машины контактной стыковой сварки K1100 и результатов испытаний сварных стыков (80 наблюдений). Независимыми (входными) переменными являются:  $I$ ,  $U$ ,  $S$ ,  $P$ ,  $V$  (параметры сварки), зависимый параметр (выходной): величина усилия, возникающая при изгибе  $P_{изг}$  (кН), при котором происходит разрушение контрольного образца. Оценка проводилась средствами многофакторного корреляционного анализа. Коэффициенты регрессии вычислялись матричным методом с использованием пакета STATISTICA 6.0 [5].

Уравнение регрессии представлено в следующем виде:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n \cdot X_n, \quad (1)$$

где  $Y$ - зависимый (выходной) параметр;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – независимые (входные) переменные;

$B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$ - коэффициенты регрессии.

На каждом этапе были построены регрессионные модели с выходным параметром  $P_{изг}$  и рассчитаны коэффициенты детерминации:

- модели на I этапе оплавления

$$P_{изг} = 5129,96 + 49,02 * V_{ср} + 9,63 * V_{мин} + 12,54 * V_{макс} - 10,14 * S_{прип} - 3,92 * S_{поз} - 51,61 * P_{ср} + 6,82 * P_{мин} + 19,54 * P_{макс} + 8,59 * U_{ср} - 7,95 * U_{мин} - 2,69 * U_{макс} - 3,72 * I_{ср} + 1,51 * I_{мин} - 1,21 * I_{макс} - 2,24 * T_{длит}; R^2 = 0,24; \quad (2)$$

- модели на II этапе оплавления

$$P_{изг} = 11497,07 + 57,11 * V_{ср} + 178,46 * V_{мин} - 86,14 * V_{макс} - 6,99 * S_{прип} - 2,12 * S_{поз} - 119,85 * P_{ср} - 69,42 * P_{мин} - 21,97 * P_{макс} - 11,16 * U_{ср} + 0,45 * U_{мин} - 0,49 * U_{макс} + 2,40 * I_{ср} + 5,24 * I_{мин} + 1,70 * I_{макс} - 0,22 * T_{длит} - 1,39 * T_{нач}; R^2 = 0,20; \quad (3)$$

- модели на этапе форсировки

$$P_{изг} = 5792,22 + 159,64 * V_{ср} + 60,29 * V_{мин} + 33,69 * V_{макс} + 4,72 * S_{прип} - 15,53 * S_{поз} + 52,83 * P_{ср} - 130,84 * P_{мин} + 55,38 * P_{макс} - 11,82 * U_{ср} + 0,15 * U_{мин} + 11,43 * U_{макс} - 4,71 * I_{ср} - 0,35 * I_{мин} - 0,29 * I_{макс} + 14,28 * T_{длит} - 0,29 * T_{нач}; R^2 = 0,15; \quad (4)$$

- модели на этапе осадки

$$P_{изг} = -1856,13 + 200,10 * V_{ср} - 43,91 * V_{мин} + 6,52 * V_{макс} - 18,40 * S_{прип} - 15,05 * S_{поз} + 22,86 * P_{ср} - 3,32 * P_{мин} + 61,72 * P_{макс} + 7,28 * U_{ср} - 0,07 * U_{мин} - 13,67 * U_{макс} - 2,63 * I_{ср} - 0,19 * I_{мин} + 3,92 * I_{макс} + 39,64 * T_{длит} - 0,43 * T_{нач}; R^2 = 0,24; \quad (5)$$

- модели на этапе гратосъема

$$P_{изг} = 2878,60 + 941,99 * V_{ср} + 72,97 * V_{макс} - 128,93 * S_{прип} - 1,88 * S_{поз} + 104,21 * P_{ср} - 84,19 * P_{мин} - 13,36 * P_{макс} + 5,19 * U_{ср} - 102,99 * U_{мин} + 54,51 * U_{макс} + 19,41 * I_{ср} - 0,55 * I_{мин} - 20,33 * I_{макс} - 0,47 * T_{нач}; R^2 = 0,36; \quad (6)$$

Отбросив неудовлетворяющие параметры по t-критерию Стьюдента и собрав эти параметры каждого этапа в одном уравнении получили:

$$P_{изг} = 814,08 - 12,93 * I_{макс5} + 40,84 * U_{макс5} - 0,64 * T_{нач4} - 0,26 * I_{мин4} + 3,20 * I_{макс4} - 6,29 * U_{макс4} - 2,12 * P_{мин4} + 41,79 * P_{макс4} + 53,33 * V_{ср4} + 6,60 * I_{ср1} - 219,91 * P_{ср1};$$

$$R^2 = 0,79; \quad (7)$$

Модель является адекватной по F-критерию Фишера (для  $R_{из}$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ :  $F_{факт} = 9,88 > F_{кр} = 0,38$ ). Адекватность уравнения регрессии (7) проверялась по показателю средней ошибки аппроксимации. Для  $R_{из}$  средняя ошибка аппроксимации ( $\bar{\varepsilon}$ ) равна 2,8. Анализ распределения остатков показал, что явного отклонения от нормального закона распределения не наблюдается [6].

*Выводы:*

1. Разработаны математические модели процесса контактной сварки рельсов, позволяющие оценить влияние параметров технологического процесса контактной сварки рельсов на усилие возникающее при испытании на изгиб;
2. С помощью регрессионных моделей предлагается прогнозировать качество сварного шва и управлять процессом контактной сварки рельсов.

#### Библиографический список

1. Стационарные поточные линии сварки рельсовых плетей/ В.А. Романенко, А.Д. Хамоев//Наука и техника транспорта.–2007.– № 4.– с.75–80.
2. Технология и оборудование для контактной сварки высокопрочных рельсов / С.И. Кучук– Яценко и др.// Автоматическая сварка.– 2008.- № 11. – с. 129 – 138.
3. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки/ М.Д. Банов. – М.: Академия, 2008. – 224 с.
4. Оборудование для контактной сварки рельсов и его эксплуатация / С. А. Солодовников [и др.]/ Академия наук УССР – Киев: Наукова думка. - 1974.– 184 с.
5. Анализ данных в материаловедении. Ч. 2. Регрессионный анализ: учеб. пособие / А. С. Мельниченко. – М.: МИСиС, 2014. – 87 с.
6. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие / Р. А. Шмойлова и [др]; под ред. Р. А. Шмойловой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Финансы и статистика, 2006. – 416 с.

УДК 625.143.48

## РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

**Шевченко Р.А., Шишкин П.Е., Патрушев А.О.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: shefn1200@mail.ru*

Изложена методика расчета квазиизотермической выдержки в зависимости от плотности сварочного тока. Предлагается после сварки рельсов во

время охлаждения проводить квазиизотермическую выдержку в интервале температур образования мелкодисперсной структуры путем пропускания импульсов тока через сварной стык.

Ключевые слова: контактная сварка рельсов, хромистая сталь, мартенсит, квазиизотермическая выдержка, мелкодисперсная структура.

При контактной сварке рельсов в зависимости от химического состава стали, выбирается технологический процесс сварки с использованием существующих методов оплавления: непрерывного или пульсирующего, определяющих линейную величину и температурные поля в З.Т.В. сварного стыка. Выбор теплового режима основан на исключении образования структур закалки (мартенсита и бейнита), вызывающих дополнительные напряжения и трещины, которые приводят к разрушению рельсов [1]. В связи с этим особое значение приобретает разработка таких режимов для железнодорожных рельсов высокоскоростных магистралей, изготовленных из хромистой стали. В настоящее время исключение структур закалки в процессе изготовления бесстыкового пути при сварке рельсов производится термической обработкой сварного стыка. Авторами источника [1] предлагается решать данную задачу совмещением непрерывного и пульсирующего методов оплавления, изменением интенсивности нагрева при сварке и регулированием скорости охлаждения.

В статье рассматривается альтернативный способ решения проблемы, позволяющий использовать любой из рассмотренных методов оплавления. После осадки и охлаждения сварного стыка в момент достижения необходимой температуры, предлагается производить квазиизотермическую выдержку путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык. Температура выдержки выбирается исходя из получения более мелкодисперсной структуры металла шва. Время выдержки определяется инкубационным периодом образования необходимой структуры и регулируется количеством импульсов тока.

В процессе охлаждения стали превращение аустенита происходит только после его переохлаждения ниже эвтектоидной температуры  $A_{r1} = 727 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , что объясняется изменением свободной энергии фаз и структур сплавов при нагреве и охлаждении. При переохлаждении стали аустенит превращается в пластинчатый перлит. 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. При еще больших степенях переохлаждения в интервале температур  $600-500 \text{ }^{\circ}\text{C}$  получают троостит [2].

Для того, чтобы судить о степени переохлаждения аустенита использовали методику расчета охлаждения сварного стыка [3]. При помещении начала оси X в центр шва получили:

$$T_{(x,t)} = \frac{1}{2} \cdot (T_b - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{v \cdot d}{a} - \frac{x^2}{4 \cdot a \cdot (t - t_w)}\right) \cdot \left[ \exp\left(\frac{[2 \cdot v \cdot (t - t_w) - x]^2}{4 \cdot a \cdot (t - t_w)}\right) \times \right. \\ \left. \times \Phi^*\left(\frac{2 \cdot v \cdot (t - t_w) - x}{\sqrt{4 \cdot a \cdot (t - t_w)}}\right) + \exp\left(\frac{[2 \cdot v \cdot (t - t_w) + x]^2}{4 \cdot a \cdot (t - t_w)}\right) \cdot \Phi^*\left(\frac{2 \cdot v \cdot (t - t_w) + x}{\sqrt{4 \cdot a \cdot (t - t_w)}}\right) \right], \quad (1)$$

$$\Phi^*(u) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u \exp(x^{-2}) dx, \quad (2)$$

где  $T_{(x, t)}$  – функция зависимости температуры от времени и расстояния от центра шва,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$x$  – расстояние от источника теплоты, мм;

$v$  – скорость оплавления, мм/с;

$d$  – величина осадки, мм;

$t$  – общее время сварки и охлаждения, с;

$t_w$  – время сварки, с;

$\lambda$  – теплопроводность, Дж/(см·с· $^{\circ}\text{C}$ );

$T_b$  – температура жидкого металла в искровом промежутке,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0$  – температура окружающей среды,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$a$  – коэффициент температуропроводности, см<sup>2</sup>/с;

$\Phi^*(u)$  – функция ошибки.

Необходимое время для нагрева заготовки от температуры  $T_1$  до  $T_2$  при заданном токе  $I$ :

$$I^2 R \Delta\tau = mc(T_2 - T_1), \quad (3)$$

$$\Delta\tau = \frac{mc(T_2 - T_1)}{I^2 R}, \quad (4)$$

где  $I$  – ток, проходящий через заготовку, А;

$R$  – сопротивление металла заготовки, Ом;

$\Delta\tau$  – время прохождения тока, с;

$Q$  – количество теплоты, Дж;

$m$  – масса нагреваемого объема металла, кг;

$c$  – удельная теплоемкость металла, Дж/(кг· $^{\circ}\text{C}$ );

$T_1$  – начальная температура металла,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_2$  – конечная температура металла,  $^{\circ}\text{C}$ .

Массу нагреваемого объема металла:  $m = Sl\rho$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения образца (рельса), мм<sup>2</sup>;  $l$  – расстояние между электродами сварочной машины, мм;  $\rho$  – плотность стали, кг/мм<sup>3</sup>. Сопротивление нагреваемого участка вычислили по формуле:  $R = \rho_3 \frac{l}{S}$ , где  $\rho_3$  – удельное электро-сопротивление стали, Ом·мм<sup>2</sup>/мм.

Для расчета охлаждения после подогрева при условии, что температура в некоторой степени равномерно распределилась по образцу, использовали закон теплопередачи Ньютона:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha A (T_0 - T), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(мм<sup>2</sup>·°C);  $A$  – площадь поверхности тела, через которую передается тепло, мм<sup>2</sup>;  $T$  – температура тела, °C;  $T_0$  – температура окружающей среды, °C.

Поскольку  $Q = CT$ , где  $C$  – теплоемкость тела, то дифференциальное уравнение можно записать как:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\alpha A}{c} (T_0 - T), \quad (6)$$

Решение данного уравнения имеет вид:

$$T(\tau) = T_0 + (T_2 - T_0)e^{-\left(\frac{\alpha A}{c}\tau\right)}, \quad (7)$$

где  $T_2$  – температура тела после подогрева, °C.

При расчете для условия квазиизотермической выдержки 3 импульсами длительностью каждого 0,5 секунд при  $\alpha = 100$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $c = 266,76$  Дж/°C;  $A = 300$  мм<sup>2</sup>;  $T_2 = 650$  °C;  $T_0 = 20$  °C;  $l = 200$  мм;  $I = 11700$  А провели построение графика выдержки (рисунок 1).

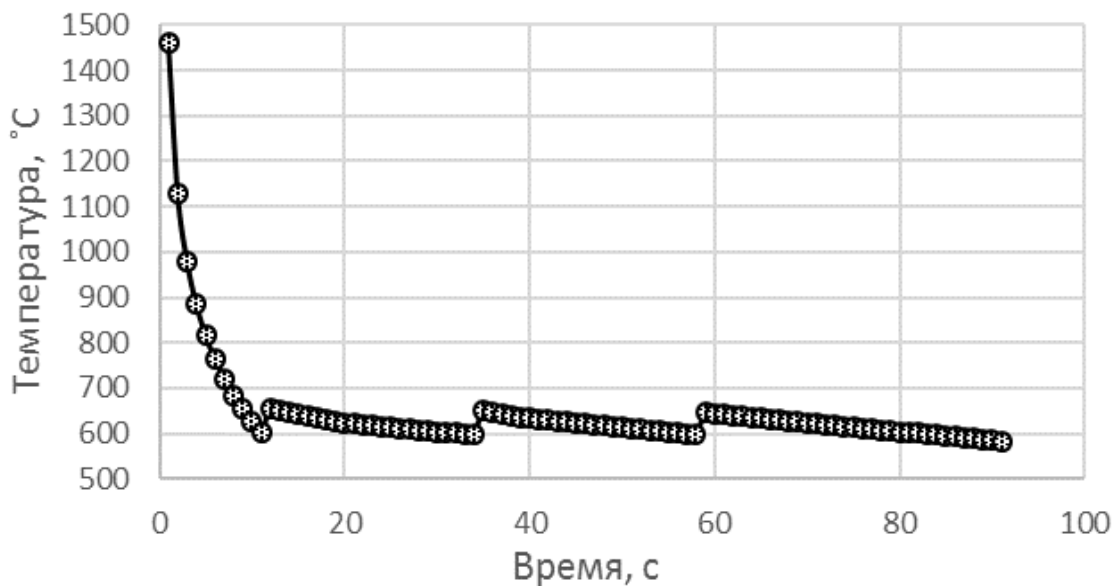


Рисунок 1 – Расчетный график квазиизотермической выдержки

*Выводы:*

1. Предложено после сварки рельсов во время охлаждения проводить квазиизотермическую выдержку в интервале температур образования мелкодисперсной структуры путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык с поддержанием данной температуры до конца превращения.

2. Показано, что использование квазиизотермической выдержки при



температуре 600 – 650 °С позволяет получить мелкодисперсную структуру сварного шва железнодорожных рельсов без дополнительной термообработки.

#### Библиографический список

1. Шур Е.А. Комплексный метод контактной сварки рельсов/ Е.А. Шур, В.А. Резанов// Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 3. – С. 20 – 22.
2. Скугорова Л.П. Материалы для сооружения газонефтепроводов и хранилищ: уч. пособие/ Л. П. Скугорова. – М.: Недра, 1989. – 344 с.
3. Кархин В.А. Анализ термических циклов при контактной стыковой сварке стали оплавлением/ В. А. Кархин, П. Н. Хомич, Федотов Б.В., Раямяки П.// Сварочное производство. 2008. – № 1. – С. 12 – 17.

УДК 625.143.48

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ**

**Шевченко Р.А., Шишкин П.Е., Патрушев А.О.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: shefn1200@mail.ru*

Проведён многофакторный корреляционный анализ технологических параметров процесса электроконтактной сварки рельсов с применением пульсирующего оплавления на машинах К1100 и создана математическая модель процесса контактной сварки рельсов. Предлагается с помощью регрессионных моделей управлять технологическими параметрами процесса контактной сварки рельсов.

Ключевые слова: бесстыковой путь, этапы сварки, контактная сварка рельсов, параметр сварки, коэффициенты регрессии, модель.

В настоящее время прогрессивной конструкцией железнодорожного полотна является бесстыковой путь, который позволяет создавать скоростные железнодорожные магистрали с отсутствием стыков рельсов. Для получения бесстыкового пути чаще всего (более 90 %) используется контактная сварка [1, 2]. Контактная стыковая сварка оплавлением заключается в постепенном сближении торцов деталей друг к другу и их локальным нагревом джоулевым теплом и дуговым разрядом, который возникает, когда детали после соприкосновения разводятся в стороны на некоторое время [3]. Процесс контактной стыковой сварки разделен на этапы: I этап оплавления, II этап оплавления, форсировка, осадка, гратосъем.

Физическими параметрами при сварке являются: сила тока  $I$ , напряжение  $U$ , величина перемещения подвижной станины  $S$ , давление в системе  $P$ ,

скорость перемещения подвижной станины  $V$ , длительность этапа  $T$ . Параметры благодаря наличию компьютерной системы контроля и регистрации данных процесса сварки отображаются на экране монитора в виде графиков и цифровых значений.

Технология сварки рельсов на рельсосварочном предприятии включает в себя обязательную сварку контрольных образцов в начале рабочей смены. Свариваются по два образца на каждую сварочную машину, после чего проводится испытание нетермообработанных стыков на трехточечный статический изгиб. Испытание одного контрольного образца производят, с приложением нагрузки на головку, второй нагружают на подошву. Результатами испытания 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. На рисунке 1 представлен график процесса испытания рельсовых стыков.

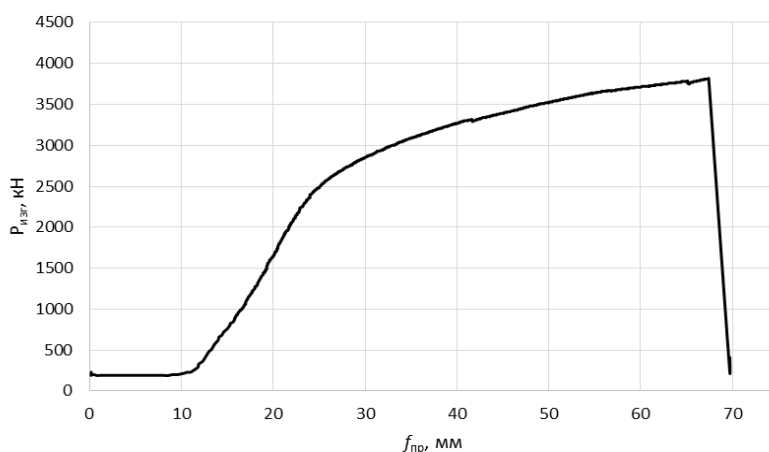


Рисунок 1 – График процесса испытания рельсовых стыков

Для создания математической модели процесса контактной сварки рельсов использовалась имеющаяся база данных параметров сварочных режимов для машины контактной стыковой сварки К1100 и результатов испытаний сварных стыков (80 наблюдений). Независимыми (входными) переменными являются:  $I$ ,  $U$ ,  $S$ ,  $P$ ,  $V$  (параметры сварки), зависимый (выходной): значение стрелы прогиба  $f_{пр}$  (мм), при котором происходит разрушение контрольного образца. Оценка проводилась средствами многофакторного корреляционного анализа. Коэффициенты регрессии вычислялись матричным методом при помощи пакета STATISTICA 6.0 [4].

Уравнение регрессии представлено в следующем виде:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n \cdot X_n, \quad (1)$$

где  $Y$  – зависимый (выходной) параметр;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – независимые (входные) переменные;  $B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$  – коэффициенты регрессии.

На каждом этапе были построены регрессионные модели с выходным параметром  $f_{пр}$  и рассчитаны коэффициенты детерминации:

- модели на I этапе оплавления

$$f_{\text{пр}} = -100,44 + 3,22 * V_{\text{ср}} + 1,01 * S_{\text{поз}} - 2,96 * P_{\text{мин}} - 0,61 * P_{\text{макс}} + 0,55 * U_{\text{ср}} - 0,35 * U_{\text{макс}} + 0,08 * I_{\text{ср}} + 0,10 * I_{\text{макс}} - 0,22; R^2 = 0,50; \quad (2)$$

- модели на II этапе оплавления

$$f_{\text{пр}} = -436,24 + 1,92 * V_{\text{ср}} + 7,94 * V_{\text{мин}} - 0,49 * V_{\text{макс}} + 5,92 * S_{\text{прип}} + 0,332 * S_{\text{поз}} - 0,03 * P_{\text{ср}} - 0,24 * P_{\text{мин}} - 4,47 * P_{\text{макс}} + 0,56 * U_{\text{ср}} + 0,07 * U_{\text{мин}} - 0,11 * U_{\text{макс}} + 0,22 * I_{\text{ср}} - 0,05 * I_{\text{мин}} - 0,02 * I_{\text{макс}} - 0,03 * T_{\text{длит}}; R^2 = 0,27; \quad (3)$$

- модели на этапе форсировки

$$f_{\text{пр}} = -75,95 - 4,68 * V_{\text{ср}} + 4,30 * V_{\text{мин}} + 1,47 * V_{\text{макс}} + 1,90 * S_{\text{прип}} - 0,37 * S_{\text{поз}} + 0,82 * P_{\text{ср}} - 2,30 * P_{\text{мин}} - 2,98 * P_{\text{макс}} + 0,19 * U_{\text{ср}} - 0,04 * U_{\text{мин}} + 0,21 * U_{\text{макс}} + 0,04 * I_{\text{ср}} - 0,02 * I_{\text{мин}} + 0,57 * T_{\text{длит}}; R^2 = 0,20; \quad (4)$$

- модели на этапе осадки

$$f_{\text{пр}} = -161,50 + 2,00 * V_{\text{ср}} - 0,01 * V_{\text{мин}} + 0,16 * V_{\text{макс}} - 0,14 * S_{\text{прип}} - 0,26 * S_{\text{поз}} - 0,82 * P_{\text{ср}} + 0,10 * P_{\text{мин}} + 2,42 * P_{\text{макс}} + 0,11 * U_{\text{ср}} - 0,06 * U_{\text{макс}} - 0,02 * I_{\text{ср}} - 0,01 * I_{\text{мин}} + 0,03 * I_{\text{макс}} + 0,79 * T_{\text{длит}} - 0,01 * T_{\text{нач}}; R^2 = 0,15; \quad (5)$$

- модели на этапе гратосъема

$$f_{\text{пр}} = 97,35 - 36,29 * V_{\text{ср}} - 2,95 * V_{\text{макс}} + 2,83 * S_{\text{прип}} - 0,13 * S_{\text{поз}} + 3,31 * P_{\text{ср}} - 2,08 * P_{\text{мин}} - 1,30 * P_{\text{макс}} + 1,09 * U_{\text{ср}} - 3,80 * U_{\text{мин}} + 0,91 * U_{\text{макс}} + 1,56 * I_{\text{ср}} - 1,07 * I_{\text{мин}} - 0,56 * I_{\text{макс}}; R^2 = 0,18; \quad (6)$$

Отбросив неудовлетворяющие параметры по t-критерию Стьюдента и собрав эти параметры каждого этапа в одном уравнении получили:

$$f_{\text{пр}} = -194,21 - 0,24 * I_{\text{макс}5} - 0,02 * T_{\text{нач}4} + 0,07 * I_{\text{макс}4} + 2,43 * P_{\text{макс}4} - 0,75 * P_{\text{ср}4} + 1,94 * V_{\text{ср}4} + 0,01 * I_{\text{макс}3} + 0,05 * T_{\text{длит}4} + 0,08 * I_{\text{ср}1} - 3,32 * P_{\text{ср}1};$$

$$R^2 = 0,71; \quad (7)$$

Модель является адекватной по F-критерию Фишера (для  $f_{пр}$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ :  $F_{факт} = 6,90 > F_{кр} = 0,38$ ). Адекватность уравнения регрессии (7) проверялась по показателю средней ошибки аппроксимации. Для  $f_{пр}$  средняя ошибка аппроксимации ( $\bar{\varepsilon}$ ) равна 5 %. Анализ распределения остатков показал, что явного отклонения от нормального закона распределения не наблюдается [5].

*Выводы:*

1. Разработаны математические модели контактной сварки рельсов, позволяющие оценить влияние параметров технологического процесса контактной сварки рельсов на стрелу прогиба при испытании рельсов;
2. С помощью регрессионных моделей предлагается прогнозировать качество сварного шва и управлять процессом контактной сварки рельсов.

#### Библиографический список

1. Стационарные поточные линии сварки рельсовых плетей/ В.А. Романенко, А.Д. Хамоев//Наука и техника транспорта.–2007.– № 4.– с.75–80.
2. Технология и оборудование для контактной сварки высокопрочных рельсов/ С.И. Кучук – Яценко и др.// Автоматическая сварка.– 2008. № 11.– с. 129 – 138.
3. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки/ М.Д. Банов. – М.: Академия, 2008. – 224 с.
4. Анализ данных в материаловедении. Ч. 2. Регрессионный анализ: учеб. пособие / А. С. Мельниченко. – М.: МИСиС, 2014. – 87 с.
5. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие/ Р. А. Шмойлова и [др.]; под ред. Р. А. Шмойловой.– 2-е изд., перераб. и доп.– М.; Финансы и статистика, 2006.- 416 с.

УДК 621.742: 661.683

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХТС НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

**Долгополов А.Е., Мамедов Р.О.**

**Научный руководитель: 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*

Процесс получения отливок в разовых литейных формах заданного качества определяется качеством формовочных материалов и смесей, используемых для изготовления литейных форм и стержней. В производстве крупных стальных и чугуновых отливок использование ХТС позволяет резко со-

кратить технологический цикл, повысить производительность труда и уменьшить стоимость оборудования.

Ключевые слова: холоднотвердеющие смеси, состав, свойства смеси, качество.

Анализ состояния и направлений развития различных технологических процессов изготовления отливок и сравнение их технико-экономических преимуществ показали, что лидирующие позиции занимают литьё в разовые литейные формы. Комплекс операций по изготовлению литейных форм и стержней составляет около 60 % трудозатрат на получение отливок. Поэтому получение в разовых литейных формах отливок заданного качества определяется качеством формовочных материалов и смесей, используемых для изготовления литейных форм и стержней [1-3].

Составы применяемых на практике формовочных и стержневых смесей разнообразны и зависят от характера литья и качества применяемых сырых материалов. Все используемые в литейном производстве материалы и смеси условно можно разделить на две большие группы: традиционные и специальные. Преимуществом технологии формовки с применением специальных смесей является возможность полной автоматизации процессов, повышение размерной точности отливок, резкое сокращение продолжительности цикла изготовления формы или стержня за счет исключения операций, связанных с сушкой форм и стержней. Поэтому естественно, что в настоящее время задача разработки принципиально новых и совершенствования существующих составов смесей и процессов изготовления из них стержней и форм сохраняет свою актуальность [1].

Одной из наиболее перспективных разработок в этом направлении является создание и внедрение в производство ХТС.

ХТС предназначены для ускоренного изготовления форм и стержней в крупносерийном и массовом производствах, применение которых обеспечивает повышение уровня механизации и автоматизации литейных процессов и способствует повышению производительности труда. ХТС получают на основе синтетических смол. В состав ХТС входят наполнитель, связующая композиция и специальные добавки. Эти компоненты определяют технологические свойства смесей и условия их использования в литейном производстве [4].

Производство форм и стержней по технологии ХТС-процесс получило большое распространение на территории России и стран СНГ за последнее десятилетие. Это объясняется тем, что способ получения литейных стержней и форм из холоднотвердеющих форм с применением связующих на смоляной основе имеет ряд технологических достоинств.

В 1979 г. фирма «Borden» (Англия) разработала ALPHA-SET - процесс, с ХТС на фурановых смолах. В качестве связующего используются фенолформальдегидные смолы резольного типа на новой основе: использован оригинальный механизм отверждения, а уровень токсичности снижен в десятки раз. Отвердителями служат сложные эфиры [1].

В России ведущим и крупнейшим производителем литейных связующих композиций для холоднотвердеющих смесей (ХТС) является ОАО «Уралхимпласт». Это предприятие более 50 лет производило все разновидности литейных химических продуктов. В 2013 г. на базе «Уралхимпласт» и немецкого ведущего производителя химической продукции для литейной промышленности во всем мире «Хюттенес-Альбертус», создано совместное предприятие «Уралхимпласт – Хюттенес-Альбертус». Оно служит разработчиком и поставщиком материалов для ХТС более чем для сотни российских заводов.

ALPHA-SET - процесс получил известность благодаря хорошему качеству поверхности отливок. Хорошая текучесть смеси на этапе заполнения формы способствует ее равномерному распределению в форме и стержневом ящике. Хорошая извлекаемость оснастки и великолепная пригодность ALPHA-SET – смеси для нанесения противопожарных покрытий создаёт отличные предпосылки для достижения гладких поверхностей отливок. Связующая система альфа-сет не содержит серы, снижающей поверхностное натяжение металла. ALPHA-SET - процесс признан эффективным, щадящим к окружающей среде процессом формовки и изготовления стержней, который позволяет изготавливать ответственное литьё с хорошим качеством поверхности при небольших затратах труда на очистку и окончательную обработку.

Следует стремиться к минимальному расходу смолы с учетом достижения достаточной общей и поверхностной прочности. Минимально возможный расход связующего определяется в первую очередь качеством применяемого песка. Желательно применение обогащенных (мытых и классифицированных) песков с содержанием глинистой составляющей не более 0,5% и зернистостью не менее зернистости песка марки 1K02A. Это требование особенно актуально для высококачественных силанизированных фурановых смол (типа КФ65С, ФФ-65С), расход которых на обогащенном песке составляет 1,0...1,2 мас. ч. для стержней и 0,8...1,0 мас. ч. для облицовок крупных форм [5].

Для получения толстостенных стальных отливок ответственного назначения используют ХТС с наполнителями повышенной огнеупорности и с минимальными объемными изменениями при высокотемпературном нагреве: зернистыми концентратами циркона, хромита, дистенсиллиманита и др. При этом содержание смоляного связующего и кислотного катализатора на 100 мас. ч. наполнителя уменьшается (по сравнению с составом на кварцевом песке) [5].

По результатам исследования определен оптимальный состав ХТС для тонкостенных отливок (состав: песок 100 %, смола 2 %, расход отвердителя 1 %, глицерин 0,03 %). Исследование показало, что фуриленоформальдегидная смола повышает прочность смеси на 20 %, чистоту поверхности до Rz120. При этом газопроницаемость смеси остается в пределах 100 единиц [5].

К достоинствам ХТС процесса в отличие с процессами использования нагреваемой оснастки следует отнести следующее: повышение точности отливок на 1-2 класса; снижение расхода электроэнергии более чем в 10 раз; высокое качество отливок; снижение на 20–30 % потерь от брака.

В производстве крупных стальных и чугунных отливок использование ХТС позволяет резко сократить технологический цикл за счёт ликвидации объёмной или поверхностной сушки форм, повысить производительность труда, уменьшить стоимость оборудования путём замены комбинированных методов уплотнения виброуплотнением.

#### Библиографический список

1. Климов В.Я. Формовочные и стержневые материалы и смеси: учеб. пособие / В.Я. Климов, О.Г. Приходько, В.Б. Деев СибГИУ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011.– 194 с.
2. Automated system of control and diagnostics of cast-steel defects in the mass production / S. V. Knyazev, A. A. Usoltsev, D. V. Skopich, E. A. Fatyanova, A. E. Dolgopolov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016.– Vol. 150. - P. 1-5 (012039). – Библиогр.: р. 5.– Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.
3. Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством/ Литейное производство, 1992, № 4, с.26-27
4. Жуковский С.С. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей /С.С. Жуковский, А.М. Лясс. – М.: Машиностроение, 1978. – 224 с.
5. Еремин Е.Н. Разработка технологии получения высокопрочных литейных форм на основе холоднотвердеющих смесей /Е.Н. Еремин, А.З. Исагулов, Т.В. Ковалева // Омский научный вестник. – 2015. - № 3. С. 24 – 26.

УДК 620.178:621.76-426

### **ВЛИЯНИЯ КОБАЛЬТА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V**

**Осетковский И.В., Гусев А.И.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: dadlic@mail.ru, ALLXX85@mail.ru,  
Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Изучено влияние введение кобальта в шихту порошковой наплавочной проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V.

Ключевые слова: сварка, флюс, шлак, порошковая проволока, наплавка, микроструктура, твердость, износостойкость.

Изучено влияние введение кобальта в шихту порошковой наплавочной проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V, используемой при наплавке узлов и деталей оборудования и механизмов, работающих при абразивно и аб-

разивно-ударных нагрузках [1]. В лабораторных условиях изготовлены образцы порошковых проволок с использованием соответствующих порошкообразных материалов и в качестве углеродфторсодержащего материала использовали пыль газоочистки алюминиевого производства, со следующим составом компонентов, мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $SiO_2 = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ; Собщ = 12,5-30,2;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,1-0,18$ .

Определен химический состав наплавленного металла.

Таблица 1 - Химический состав, износ и твердость наплавленного металла

Но- мер об- раз- ца	Массовая доля элементов %								Твер- дость образ- цов раз- цов HRC	Износ образ- цов г/об.*1 0 <sup>-4</sup>
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Co		
1	0,23	0,12	0,85	1,45	0,53	0,51	0,68	0,08	25	1,65
2	0,21	0,23	0,89	1,45	0,54	0,55	0,54	0,03	21	1,15
3	0,17	0,18	0,85	1,40	0,52	0,54	0,63	0,05	21	1,11
4	0,17	0,28	0,91	1,32	0,45	0,46	0,59	0,06	21	1,12

В ходе металлографического анализа были выявлены характер и количество оксидных неметаллических включений, строение и тип микроструктуры, величина зерна наплавленных образцов.

Таблица 2 – Характеристики неметаллических включений и структуры исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Размер игл мартенсита, мкм
	силикаты недеформирующиеся (хрупкие)	оксиды точечные		
1	1б, 2б, 3а	1 а	6, 5	2-5
2	1б, 2б, 2а	1 а, 2а	6	2-4
3	1б, 2б, 3а	1 а	6	2-5
4	1б, 2б, 3а	1 а	6	2-4

Произведена оценка влияния составляющего компонента химического состава наплавленного металла и добавки кобальта на твердость и степень износа.

- твердость наплавленного металла при добавлении Co в систему Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V:

$$y = 156,66 * C + 10,92 * Si - 6,94 * Mn - 7,51 * Cr - 75,67 * Mo - 28,10 * Ni + 129,45 * V - 364,27 * Co \text{ (ошибка аппроксимации } 0,01 \text{ \%);}$$



- износостойкость наплавленного металла при добавлении Co в систему Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V:

$$y = -0,000101 * C + 0,000052 * Si + 0,000126 * Mn + 0,000117 * Cr + 0,000413 * Mo + 0,000130 * Ni - 0,000583 * V + 0,002874 * Co \text{ (ошибка аппроксимации 1,59 \%)}.$$

*Выводы:*

В ходе работы установлено, что увеличение содержания никеля до 0,65 % в составе наплавленной стали, а также введение кобальта при одновременном уменьшении содержания углерода до 0,17-0,23 % обеспечивает измельчение игл мартенсита и уменьшение размера бывшего зерна аустенита.

Изменение химического состава порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V практически не оказывает влияние на уровень загрязненности неметаллическими включениями наплавленного его слоя.

По результатам проведенного многофакторного корреляционного анализа были определены зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав порошковых проволок системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co. Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава наплавленного металла.

#### Библиографический список

1. Малинов В.Л. Исследование методом регрессионного анализа зависимостей износостойкости в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания от химического состава наплавленного металла на Fe-Cr-Mn-V-Co основе / Вестник приазовского державного технического университета. Серия: Технические науки – 2011. -№2. – С. 107-117.

УДК 620.178.16:621.76-426

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co**

**Гусев А.И., Осетковский И.В.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: dadlic@mail.ru, ALLXX85@mail.ru,  
Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Изучено влияние ванадия и кобальта, введенных в шихту порошковой наплавочной проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni.

Ключевые слова: сварка, флюс, шлак, порошковая проволока, наплавка, микроструктура, твердость, износостойкость.

Механизмы машин горного оборудования, испытывающие абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, преждевременно выходят из строя. Поэтому разработка материалов значительно повышающих износостойкость таких деталей и использование технологии их восстановления, является важной задачей. Наиболее перспективным является использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. Широкое распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo типа А и В по классификации МИС [1].

Данная работа продолжает начатые исследования по разработке новых составов порошковых проволок работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности [2], в частности изучение влияния использования ванадия и кобальта при изготовлении опытных образцов проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo на степень износа и твердость наплавленного слоя. Причем в качестве углеродсодержащего компонента использовали пыль газоочистки алюминиевого производства, со следующим составом компонентов, мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46,23$ ; F = 18-27;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $SiO_2 = 0,5-2,48$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$ ; Собщ = 12,5-30,2;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ; S = 0,09-0,19; P = 0,1-0,18. Проведена наплавка под флюсом металлических пластин по оптимальным режимам, осуществлена вырезка и подготовка образцов для исследований.

Определен химический состав наплавленного металла, а также содержание водорода.

Таблица 1 –Химический состав, содержание водорода, износ и твердость наплавленных слоев

Номер образца	Массовая доля элементов %														[H], см <sup>3</sup> /100г	Твердость образцов, HRC	Износ образцов г/об.
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	V	Co	Al	Cu	Ti	S	P			
1	0,19	0,77	0,61	4,17	0,34	0,38	0,01	0,02	0,05	0,01	0,07	0,02	0,054	0,024	2,4	44,5	0,000071
2	0,19	0,63	0,65	4,06	0,3	0,38	0,01	0,03	0,06	0,01	0,08	0,03	0,056	0,019	1,7	43	0,000039
3	0,2	0,59	0,61	4,12	0,3	0,38	0,01	0,02	0,12	0,02	0,06	0,04	0,049	0,019	1,9	46	0,000044
4	0,2	0,64	0,6	4,03	0,3	0,39	0,01	0,03	0,2	0,01	0,08	0,03	0,058	0,021	2,0	30	0,000073

Металлографические исследования показали, что микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co равномерная, наблюдаются тонкие ветви дендритов. Микроструктура состоит из мартенсита, формирующегося внутри границ бывшего аустенитного зерна, аустенита остаточного, присутствующего в небольшом количестве в виде отдельных островков, и тонких прослоек δ-феррита, располагающегося по границам бывших зерен аустенита.

Таблица 2 – Характеристики неметаллических включений и структуры исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Размер игл мартенсита, мкм
	силикаты недеформирующиеся (хрупкие)	оксиды точеные		
1	1б, 2а	1 а	6	8-13
2	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6	8-10
3	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6	8-12
4	1б, 2б, 3а	1 а, 2а	6	8-11

Произведена оценка влияния составляющего компонента химического состава наплавленного металла добавки кобальта и ванадия на твердость и степень износа.

- твердость наплавленного слоя (без учета содержания водорода):

$$y = 535,343 + 168,120 \cdot C - 276,437 \cdot Si - 890,442 \cdot Mn + 6,037 \cdot Cr + 108,957 \cdot Ni + 445,851 \cdot Mo - 433,688 \cdot Co - 1014,594 \cdot Al + 477,567 \cdot Cu \text{ (ошибка аппроксимации } 0,01\%);$$

- износостойкость образцов (без учета содержания водорода):

$$y = 0,002005 + 0,001110 \cdot C - 0,000804 \cdot Si - 0,003522 \cdot Mn + 0,000040 \cdot Cr + 0,000500 \cdot Ni + 0,000460 \cdot Mo - 0,001061 \cdot Co - 0,005525 \cdot Al + 0,003132 \cdot Cu \text{ (ошибка аппроксимации } 0,32\%);$$

*Выводы:*

1. Установлено, что уменьшение содержания углерода в наплавленном слое до 0,19-0,2 % при одновременном изменении содержания хрома, никеля, молибдена и других присутствующих в его составе элементов, способствует укрупнению игл мартенсита и увеличению размера бывшего зерна аустенита.

2. По результатам проведенного многофакторного корреляционного анализа были определены зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от массовой доли элементов, входящих в состав порошковых проволок системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co. Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава наплавленного металла.

#### Библиографический список

1. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974 – 768с.

2. Структура и свойства наплавленных слоев, полученных с применением порошковых проволок 40ГМФР и 40ХЗГ2МФ/ Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В.// Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. - Вып.36.- Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016 – С. 174-181.

## ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ

Михно А.Р., Бурнаков М.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Приведены теоретические предпосылки применения углерод- и фторсодержащих компонентов для уменьшения газонасыщенности металла сварных швов и повышения механических свойств сварного соединения. Изучены качественные характеристики металла сварных швов с использованием углеродфторсодержащих добавок в смеси со флюсами различного химического состава.

Ключевые слова: сварка, флюс, металл, шлак, флюсовая добавка, механические свойства.

Созданию, исследованию и разработке новых сварочных флюсов уделяется большое внимание, как в РФ, так и за рубежом. В основном, отечественные флюсы, применяемые для сварки низколегированных сталей, являются окислительными и построены на принципах кремне-марганцево-окислительно-восстановительных процессах. При этом продуктами данных реакций являются оксидные соединения кремния, марганца, железа, алюминия и др., которые в процессе сварки чаще всего не успевают всплыть и ассимилироваться образующимся из сварочного флюса шлаком, что в итоге и приводит к увеличению загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями и, как следствие, к снижению комплекса физико-механических свойств. Для исключения загрязнения металла шва, по-видимому, целесообразно использование восстановителей, образующих газообразные продукты реакции. Таким восстановителем может быть углерод, образующий при взаимодействии с окислителями газообразные соединения  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ .

При изучении возможности использования углерода в качестве добавки в известные флюсы была проведена оценка термодинамической вероятности протекания окислительно-восстановительных реакций оксидов ( $\text{FeO}$ ), ( $\text{MnO}$ ), ( $\text{SiO}_2$ ), ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) с восстановителями  $[\text{Mn}]$ ,  $[\text{Si}]$ ,  $[\text{Al}]$ ,  $\text{C}_{\text{ТВ}}$ ,  $\text{CO}_{\text{Г}}$ ,  $\text{CO}_{2\text{Г}}$ . Проведенный термодинамический анализ показал, что введенный в систему углерод способен за счет высоких восстановительных свойств при  $T = 1950 - 2200\text{K}$  существенным образом повлиять и снизить содержание неметаллических включений в металле шва [1].

Процесс удаления водорода из металла сварного шва при использовании сварки под флюсом осуществляется введением во флюс фторсодержащих добавок (обычно флюорита или криолита), позволяющих в результате связывания водорода с фтором проводить удаление водорода в виде соеди-

нения HF. Проведена [2], термодинамическая оценка вероятности протекания процессов удаления водорода из сварного шва при сварке под фторсодержащим флюсом в стандартных состояниях в интервале температур 1700 – 2200 °K. При этом, в качестве стандартных состояний для веществ – реагентов были выбраны:  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{SiF}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{H}_2$ . В результате расчетов стандартной энергии Гиббса и констант равновесия реакций определено, что из реакций прямого взаимодействия фторагентов шлака с водородом и кислородом металла наиболее вероятной является реакция с криолитом. В механизме более сложного взаимодействия с участием в реакции, кроме фторагентов, кремнезема шлака и возможным образованием промежуточного продукта  $\text{SiF}_4$  более вероятным является процесс с флюоритом. Расчеты показали целесообразность использования соединения  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  наряду с флюоритом для удаления водорода при сварке под флюсом.

Исходя из данных предпосылок, разработана технология сварки под флюсом с использованием углеродфторсодержащей добавки. За основу углеродфторсодержащей добавки были взяты отходы металлургического производства в виде пыли с химическим составом (мас. %):  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 21 - 46,23$ ;  $\text{F} = 18 - 27$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 8 - 15$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 0,4 - 6$ ;  $\text{CaO} = 0,7 - 2,3$ ;  $\text{SiO}_2 = 0,5 - 2,48$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,1 - 3,27$ ;  $\text{C}_{\text{общ}} = 12,5 - 30,2$ ;  $\text{MnO} = 0,07 - 0,9$ ;  $\text{MgO} = 0,06 - 0,9$ ;  $\text{S} = 0,09 - 0,19$ ;  $\text{P} = 0,1 - 0,18$ . Проведены исследования влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюсы АН-348, АН-60, АН-67 и импортный флюс ОК.10.71 на процесс рафинирования металла сварного шва [3]. В результате исследований определено, что с увеличением количества углеродфторсодержащей добавки и жидкого стекла в качестве связующего, во флюсы АН-348, АН-60, АН-67 и импортный флюс ОК.10.71, наблюдается снижение общего кислорода в сварном шве, а также значительно повышаются механические свойства и особенно ударная вязкость при отрицательных температурах (рисунок 1).

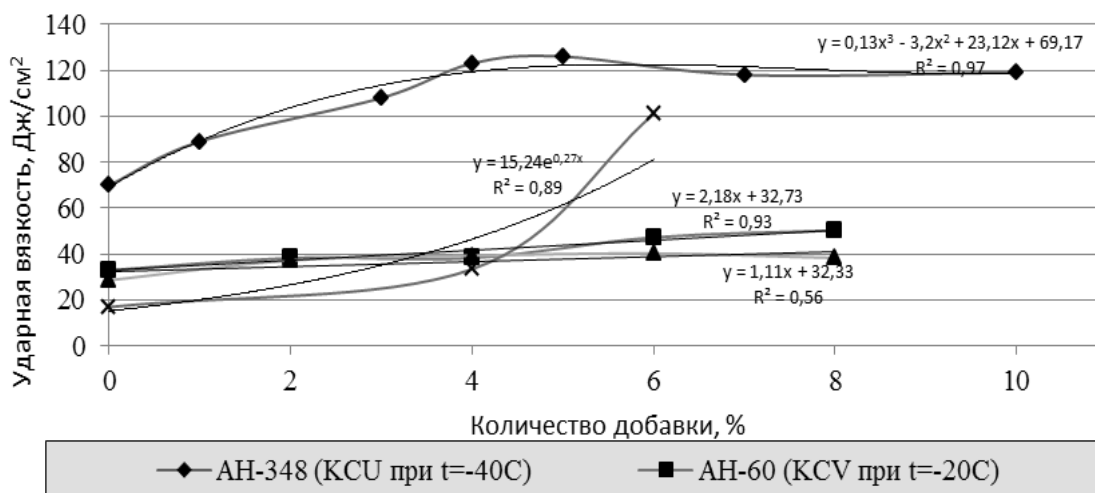


Рисунок 1– Изменение ударной вязкости в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

*Выводы:*

1. Разработаны технологии использования углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов, позволяющих при их применении значительно снизить уровень загрязненности стали оксидными неметаллическими включениями, уменьшить газонасыщенность сварного шва, повысить спектр требуемых механических свойств.

2. В результате исследований определено, что с увеличением количества углеродфторсодержащей добавки и жидкого стекла в качестве связующего во флюсы, наблюдается снижение общего кислорода в сварном шве, а также значительно повышаются механические свойства и особенно ударная вязкость при отрицательных температурах

Библиографический список

1. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом / Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В., Горюшкин В.Ф. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2014. – №10. – С. 25-28.

2. Схема удаления водорода при сварке под фторсодержащими флюсами/ Р.Е. Крюков, Ю.В. Бендре., Г.В. Галевский, Н. А. Козырев, В.Ф. Горюшкин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. - С. 177-180.

3. Влияние углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов на свойства сварных швов/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н., Крюков Р.Е., Голдун З.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 6. – С. 26 – 29.

УДК 621.791:624

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБОНАТОВ  
В СВАРОЧНЫХ ФЛЮСАХ**

**Бурнаков М.А., Михно А.Р.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

В данной работе приведено описание научно – исследовательских работ по изучению качественных характеристик сварных швов и наплавленного металла с использованием карбонатов в сварочных флюсах и флюс-добавках, а так же механические свойства и микроструктура (величина зерна).

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, сварной шов, барий-стронциевый карбонатит, образцы, неметаллические включения, механические свойства.

Вопросам разработки новых составов флюсов и использованию относительно недорогих природных материалов в виде добавок в сварочные

флюсы, позволяющих целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава с целью повышения качественных показателей сварного шва уделяется большое внимание [1-2]. В качестве материала для таких технологий наиболее перспективным является месторождение комплексных карбонатных руд, содержащих кальций, барий и стронций на северо-востоке Иркутской области. Руды имеют следующий минеральный состав: 70 - 80 % стронций-кальций-бариевого карбоната, 10 % калиевого полевого шпата, 10 - 20 % пироксена. Выпуск барий-стронциевого модификатора БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 освоен ООО «НПК Металл-технопром». Модификатор предназначен для производства стали, чугуна и цветных сплавов, а также для покрытий сварочных электродов. Барий-стронциевый модификатор содержит 13,0-19,0% BaO, 3,5 - 7,5 % SrO, 17,5 - 25,5 % CaO, 19,8 - 29,8 % SiO<sub>2</sub>, 0,7 - 1,1 % MgO, 2,5 - 3,5 % K<sub>2</sub>O, 1,0 - 2,0 % Na<sub>2</sub>O, 1,5 - 6,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0 - 0,4 % MnO, 1,9 - 3,9 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,7 - 1,1 % TiO<sub>2</sub>, 16,0-20,0 % CO<sub>2</sub>.

В работе [3] показана принципиальная возможность использования барий-стронциевого карбонатита в качестве добавки в сварочные флюсы. Дальнейшие исследования по влиянию добавки барий-стронциевого карбонатита при введении в сварочные флюсы на качество получаемых сварных швов приводится в данной работе.

Сварочный флюс № 1 (флюс-добавка) изготавливался путем смешения барий-стронциевого карбонатита с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 % соответственно. После чего осуществляли выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 300 °С, охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракции 0,45-2,5 мм. Флюс № 2 – флюс на основе шлака производства силикомарганца фракции 0,45-2,5 мм, флюсы №№ 3, 4, 5 шлак производства силикомарганца фракции 0,45-2,5мм в смеси с флюс-добавкой (барий-стронциевым карбонатитом с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 %) в количествах 1; 3 и 5 % соответственно.

Сварку под флюсами производили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером 500×75 мм толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250 на режимах: I<sub>св</sub>=700А; U<sub>д</sub>=30В; V<sub>св</sub>=35 м/ч.

Таблица 1 - Химический состав флюса, %

№ образца	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	F	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	SrO	S	P
1	0,87	32,52	12,15	1,02	3,54	9,96	-	2,41	2,48	14,24	4,86	0,25	0,21
2	9,58	50,26	18,51	7,98	10,55	1,54	0,38	0,41	0,61	отс.	отс.	0,13	0,05
3	8,11	47,64	29,79	6,19	6,97	0,31	0,21	0,27	отс.	0,25	0,10	0,15	0,01
4	7,96	48,28	28,36	6,15	7,05	0,42	0,33	0,43	0,03	0,61	0,21	0,15	0,02
5	8,19	48,44	28,86	5,08	7,04	0,54	0,31	0,43	0,04	0,65	0,25	0,15	0,02

Из сваренных пластин были вырезаны образцы и выполнены: рентгеноспектральный анализ состава металла швов, металлографические исследования металла сварных швов и определены механические свойства.

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении  $\times 100$ . Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778-70, приведены на рисунке 1.

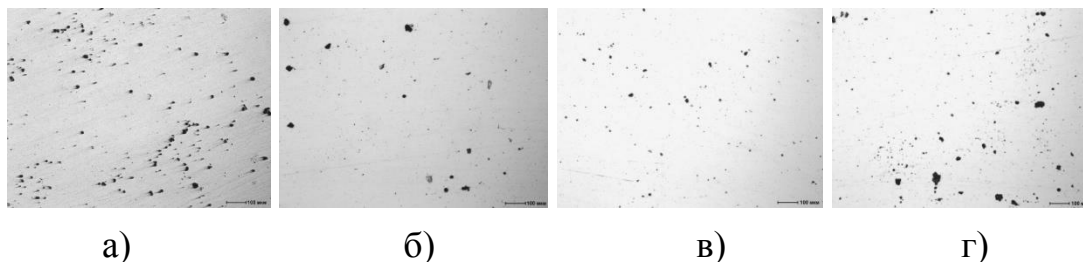


Рисунок 1 – Неметаллические включения в зоне сварных швов образцов, №: а) 3; б) 4; в) 5; г) 6

Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких при введении флюс-добавки.

Результаты механических свойств образцов приведены на рисунке 2.

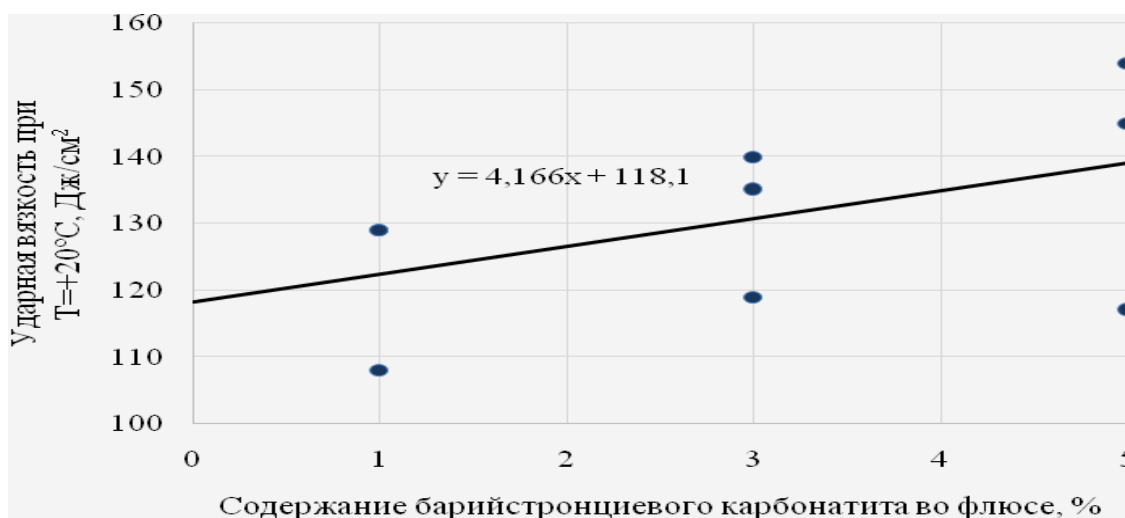


Рисунок 2 – Влияние содержания барийстронциевого карбонатита во флюсе на ударную вязкость.

#### Выводы:

1. Показана принципиальная возможность применения барийстронциевого карбонатита в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

2. При введении в состав флюса барийстронциевого карбонатита ударная вязкость повышается ударная вязкость.



## Библиографический список

1. Дерябин А.А. Эффективность нанотехнологий модифицирования рельсовой стали барием [Текст]/ А.А. Дерябин, В.В. Павлов, В.В. Могильный и др. // Сталь. 2007. № 11. С. 134 - 141.
2. Ивакин В.Л. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барийстронциевым карбонатом [Текст]/ В.Л. Ивакин, С.С. Черняк, Д.Ю.
3. Липатова У.И. Влияние добавки барийстронциевого карбоната во флюс на качество сварного шва. [Текст]/ У.И. Липатова, И.В. Матинин, А.А. Проводова, Д.И. Кузьменко// Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып.20– ч.III – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – С. 266-271.

УДК 621.791:624

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОСТАВОВ Порошковой проволоки системы C-Si-Mn-Cr-V-Mo для наплавки прокатных валков**

**Непомнящих А.С., Федотов Е.Е., Белов 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*

На основании результатов лабораторных исследований показано положительное влияние введения в состав порошковой проволоки марки 25X5ФМС для наплавки прокатных валков углеродфторсодержащей материала и никеля. В частности установлено, что использование углеродфторсодержащего материала взамен аморфного графита снижает уровень загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями, а введение в состав порошковой проволоки никеля измельчает зерно аустенита и обеспечивает образование мелкодисперсных карбидов, что способствует повышению термической стойкости наплавленного слоя. Получены данные о повышении твердости наплавленного слоя металла при увеличении углеродного эквивалента наплавочной порошковой проволоки марки 25X5ФМС.

Ключевые слова: наплавка, прокатные валки, порошковая проволока, неметаллические включения, микроструктура.

В рамках развития направления по совершенствованию составов наплавочных материалов для ремонта прокатных валков разработан новый состав порошковой проволоки на базе Нп-25X5ФМС с использованием углеродфторсодержащего материала – пыли газоочистки алюминиевого производства [1-3].

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях изготовлены образцы порошковой проволоки марки ПП-Нп-25Х5ФМС с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства взамен аморфного углерода. Состав углеродфторсодержащего материала следующий (масс. %):  $Al_2O_3 = 21-46$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4-6$ ;  $CaO = 0,7-2,3$ ;  $SiO_2 = 0,5-2,5$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,3$ ;  $C_{общ} = 12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,10-0,18$ . Наплавку проводили на пластины из стали 09Г2С в 6 слоев.

В ходе проведения лабораторных исследований изготовлены две партии образцов. В шихту образцов первой партии вводили аморфный углерод, углеродфторсодержащую добавку и никель в количестве 0,21, 0,32 и 0,38% (таблица 1, образцы 1 – 5). При изготовлении второй партии образцов использовали графит аморфный, углеродфторсодержащую пыль и никель в количестве 0,50, 0,56 и 0,81% (таблица 1, образцы 6 – 10).

Таблица 1 – Химический состав образцов порошковой проволоки

№ образца	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	V	Ti
1	0,15	1,59	1,67	0,18	0,35	1,11	0,16	0,032	0,35	0,006
2	0,20	1,33	2,16	0,17	3,52	1,51	0,13	0,04	0,36	0,020
3	0,24	0,93	2,11	0,15	3,18	1,31	0,21	0,054	0,46	0,021
4	0,31	1,19	2,13	0,20	3,50	1,34	0,32	0,064	0,47	0,022
5	0,24	0,92	1,93	0,22	3,00	1,85	0,38	0,034	0,43	0,014
6	0,14	0,39	1,88	0,10	3,05	1,04	0,10	0,014	0,13	0,005
7	0,09	0,29	1,62	0,10	2,95	0,95	0,10	0,011	0,10	0,003
8	0,09	0,28	1,63	0,10	3,23	1,08	0,50	0,011	0,17	0,003
9	0,09	0,33	1,74	0,10	3,15	1,06	0,56	0,011	0,12	0,002
10	0,08	0,35	1,70	0,10	2,99	1,07	0,81	0,007	0,11	0,002

Примечание: 1, 6 – образцы с добавлением графита аморфного; 2, 7 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли, 3-5 и 8-10 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли и никеля.

Установлено, что введение в состав проволоки углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного графита обеспечивает улучшение структуры наплавленного слоя: способствует образованию мелкодисперсных карбидов, что на практике должно привести к повышению термической стойкости, и устраняет ферритную сетку, что может оказать положительное влияние на трещиностойкость стали.

Показано, что использование углеродфторсодержащей пыли приводит к следующим микроструктурным изменениям. После введения углеродфтор-

содержащей добавки в структуре образца №2 кроме мартенсита и сформированных по границам зерен отдельных тонких аустенитных оторочек присутствует игольчатый троостит, наблюдаются более мелкодисперсные карбиды, а также увеличивается на 23 % объемная доля аустенита.

Кроме этого, использование углеродфторсодержащего материала обеспечивает устранение ферритной составляющей в виде сетки, охрупчивающей сталь, практически не оказывая при этом влияния на размер игл мартенсита и величину зерна аустенита. Размер игл мартенсита в структуре образца №7 составляет 3 – 11 мкм, величина зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 7.

Введение в состав проволоки никеля, являющегося аустенитообразующим элементом, оказывает положительное влияние на структуру стали 25Х5ФМС, обеспечивая измельчение зерна аустенита. Наиболее эффективное влияние на измельчение зерна аустенита установлено при введении в состав шихты никеля в количестве 0,81 %. В данном случае в структуре металла кроме зерен аустенита с № 6 и № 7 по шкале зернистости присутствуют зерна меньшего размера (величина зерна соответствует № 8). Однако введение меньшего количества никеля 0,50 и 0,56% не оказывает такого же положительного влияния на размер зерна аустенита: величина зерна аустенита соответствует № 6 и № 7 (аналогично образцам с добавкой аморфного графита (образец № 7) и углеродфторсодержащей пыли (образец № 8)). Ввод в состав порошковой проволоки никеля в количестве 0,50, 0,56 и 0,81 % увеличивает размер игл мартенсита. Металлографический анализ показал, что в структуре образцов № 8, 9 и 10 наблюдается крупноигльчатый мартенсит (балл №8) в виде темных и светлых игл размером 2-15 мкм с правильными и неправильными зубчатыми границами, а в некоторых областях и грубоигльчатый мартенсит (балл № 10) с размером игл 16-25 мкм, небольшое количество остаточного аустенита, ферритная сетка и присутствуют точечные мелкодисперсные карбиды размером 0,3 – 1,6 мкм (рисунок 1 з-к, таблица 2). Дополнительное введение 0,50% никеля в меньшей степени укрупняет иглы мартенсита (на 42 %) по сравнению с использованием 0,56 и 0,81 % никеля (на 56 и 54% соответственно). Введение никеля в состав проволоки увеличивает объемную долю остаточного аустенита на 51 – 72 % (таблица 3, рисунок 2).

#### *Выводы:*

В ходе экспериментов были исследованы влияния состава порошковой проволоки марки 25Х5ФМС на свойства наплавленного слоя стальных образцов установлено:

- введение в состав порошковой проволоки углеродфторсодержащего материала взамен аморфного графита обеспечивает снижение уровня загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями;

- дополнительное введение в состав шихты для изготовления порошковой проволоки никеля обеспечивает измельчение зерна аустенита, что способствует повышению термической стойкости наплавленного слоя.

## Библиографический список

1. Козырев, Н. А. Исследование и разработка новых углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. В. Роор, Л. П. Башенко, У. И. Липатова // Известия вузов. Черная металлургия. – 2015. – Т. 58. – № 4. – С. 258-261.

2. Козырев, Н. А. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы С - Si - Mn - Cr - V – Мо углеродфторсодержащей добавки и никеля / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, С. Н. Старовацкая, О. Е. Козырева, В. М. Шурупов, // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – № 4. – С. 34-37.

3. Козырев, Н. А. Технологические аспекты использования углеродфторсодержащей добавки при сварке под флюсом / Н.А. Козырев, Н. Е. Крюков, Р. Е. Крюков, В. Ф. Игушев, И. Н. Ковальский // Сварочное производство. – 2015. – № 4. – С. 43-47.

УДК 621.791:624

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ C-Si-Mn-Cr-W-V С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ**

**Федотов Е.Е., Непомнящих А.С., Белов 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*

Проведенные исследования показали, что ввод в состав порошковой проволоки 35В9Х3СФ углеродфторсодержащей пыли взамен аморфного графита приводит к снижению пористости наплавленного слоя и уровня загрязненности неметаллическими включениями

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, углеродфторсодержащая пыль, микроструктура, оксидные неметаллические включения.

Термическая стойкость валков, наплавленных проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ практически в 3 раза ниже данного показателя для проволоки марки 25Х5ФМС (70 и 200 циклов соответственно). Для увеличения термической стойкости, проводились работы по совершенствованию химических составов порошковых проволок на базе системы легирования C-Si-Mn-Cr-W-V. Порошковые легированные проволоки показали повышение таких характеристик, как трещиностойкость и износостойкость.

Для определения влияния состава порошковых проволок системы легирования C-Si-Mn-Cr-W-V на показатели стойкости наплавленных прокат-

ных валков в лабораторных условиях изготовлены порошковые проволоки. с введением углеродфторсодержащей пыли, со следующим химическим составом: мас. %:  $Al_2O_3 = 21-46$ ;  $F = 18-27$ ;  $Na_2O = 8-15$ ;  $K_2O = 0,4 - 6$  %;  $CaO = 0,7- 2,3$ ;  $SiO_2 = 0,5-2,5$ ;  $Fe_2O_3 = 2,1-3,3$ ; Собщ= $12,5-30,2$ ;  $MnO = 0,07-0,9$ ;  $MgO = 0,06-0,9$ ;  $S = 0,09-0,19$ ;  $P = 0,10-0,18$ . Углеродфторсодержащую пыль вводили взамен аморфного графита, учитывая, что углерод в составе углеродфторсодержащей добавки обладает повышенной активностью, раскисляет металл и восстанавливает оксиды, находящиеся в металле и шлаке с образованием оксидов углерода. В состав ряда образцов проволоки вводили никель. Были изготовлены две партии образцов. Для приготовления первой партии образцов в шихту вводили аморфный углерод, углеродфторсодержащую добавку и никель в количестве 0,29, 0,33 и 0,61 % (таблица 1, образцы 1–5). Во второй партии изготовлены образцы с использованием графита аморфного, углеродфторсодержащей пыли и никеля в количестве 0,38, 0,46 и 0,58 % (таблица 1, образцы 6 – 10). При этом изменялась концентрация кремния, марганца, молибдена, вольфрама и ванадия.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых образцов

№ образца	Массовая доля элементов, %										
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti
1	0,27	1,62	1,42	0,19	2,93	0,14	0,14	0,04	11,39	0,47	0,02
2	0,23	0,69	1,04	0,21	1,92	0,09	0,16	0,039	5,58	0,15	0,019
3	0,24	0,83	1,83	0,24	2,16	0,09	0,29	0,054	7,49	0,27	0,019
4	0,26	0,77	1,72	0,26	2,17	0,09	0,33	0,042	6,12	0,29	0,016
5	0,33	1,37	1,06	0,22	2,80	0,10	0,61	0,07	10,71	0,42	0,04
6	0,14	0,45	1,69	0,02	2,60	0,01	0,08	0,019	8,84	0,36	0,005
7	0,14	0,51	1,73	0,11	2,09	0,01	0,08	0,012	7,66	0,14	0,005
8	0,13	0,45	1,74	0,09	2,18	0,01	0,38	0,008	8,11	0,09	0,005
9	0,13	0,49	1,68	0,09	2,27	0,01	0,46	0,005	8,21	0,13	0,004
10	0,13	0,60	1,54	0,09	2,66	0,02	0,58	0,044	7,58	0,15	0,005

Примечание: 1, 6 – образцы с добавлением графита аморфного;  
2, 7 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли;  
3 - 5 и 8 - 10 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли и никеля

Металлографический анализ образцов с содержанием аморфного графита показал, что их структура представляет собой мартенсит с остаточным аустенитом в межосевом пространстве. При этом образец №1 из первой партии имеет дендритную структуру и по телу зерен распределены точечные карбиды вольфрама и хрома.

Использование углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного углерода снижает пористость, что отчетливо видно в результате сравнительного анализа образцов №6 (с аморфным графитом) и №7 (с углеродфторсодержащей добавкой). При этом в данном случае наблюдаются микроструктурные изменения. В структуре образца № 7 кроме крупно игольчатого

мартенсита (балл № 10) и небольшого количества остаточного аустенита присутствует феррит в виде отдельной структурной составляющей и в некоторых областях в виде сетки, наблюдаются карбиды дисперсного строения. Таким образом, использование углеродфторсодержащей добавки способствует появлению в структуре ферритной составляющей. Величина зерна по шкале зернистости соответствует № 5 и № 4.

Добавление в состав шихты 0,38 и 0,46% никеля (образцы № 8 и 9) практически не влияет на структурные составляющие стали 35В9Х3СФ. Введение в состав проволоки большего количества никеля 0,58% (образец №10) способствует устранению ферритной составляющей. Структура состоит из крупно игольчатого мартенсита (балл № 10) и небольшого количества остаточного аустенита с зернистостью №6 и №7, присутствуют точечные мелкодисперсные карбиды. Мартенсит имеет более дисперсное строение по сравнению с остальными исследуемыми образцами, размер игл мартенсита составляет 7 – 42 мкм. В данном случае наблюдается снижение пористости.

Таким образом, введение углеродфторсодержащей пыли в состав порошковой проволоки 35В9Х3С приводит к снижению пористости наплавленного слоя и уменьшению количества неметаллических включений:

УДК 621.791:624

## **РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ**

**Патрушев А.О., Липатова У.И., Свистунов А.Д, Айматов В.Г.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.  
канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Исследования показали, что использование барий-стронциевого карбонатита позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, а также повысить десульфуризирующую способность сварочных флюсов.

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, сварной шов, барий-стронциевый карбонатит, неметаллические включения, микроструктура, величина зерна.

Сварочный флюс №1 (флюс-добавка) изготавливался путем смешения барий-стронциевого карбонатита с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 % соответственно. После чего осуществляли выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 300 °С, охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракции 0,45-2,5 мм. Флюс № 2 – флюс на основе шлака производства силикомарганца фракции 0,45-2,5 мм, флюсы № 3, 4, 5 шлак производства силикомарганца фракции 0,45-2,5мм

в смеси с флюс-добавкой (барий-стронциевым карбонатитом с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 %) в количествах 1; 3 и 5 % соответственно.

Сварку под флюсами производили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером 500×75 мм толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250 на режимах:  $I_{св}=700А$ ;  $U_{д}=30В$ ;  $V_{св}=35 м/ч$ .

Визуальный контроль качества сварного шва образцов №1, выполненный с использованием только флюс-добавки показал неудовлетворительное качество - неравномерность формы шва, при этом наблюдалась плохая отделимость шлаковой корки. Остальные образцы - удовлетворительного качества. Из сваренных пластин были вырезаны образцы и выполнены: рентгеноспектральный анализ состава металла швов, металлографические исследования металла сварных швов

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении  $\times 100$ . Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778-70, приведены в таблице 1. Баллы неметаллических включений устанавливали при просмотре всей площади сварных швов нетравленных шлифов. В каждом поле зрения определяли размеры отдельно по каждому виду неметаллических включений методом сравнения с эталонными шкалами.

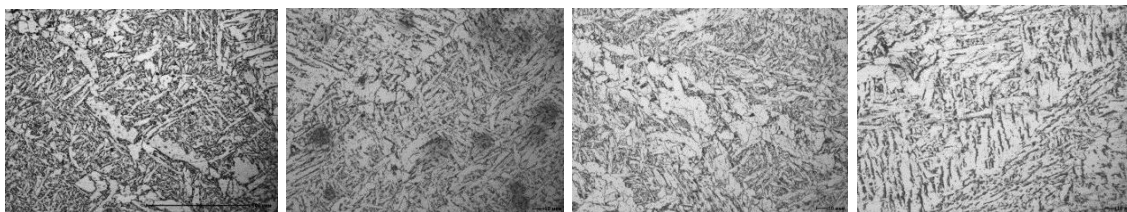
Таблица 1 – Неметаллические включения в зоне сварных швов

Образец №	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	силикаты хрупкие	оксиды точечные
3	4б; 3б; 4а	3б	1а
4	4б; 3а	отс.	1а; 2а
5	4б; 2б; 2а	отс.	1а; 2а
6	4б; 3а; 4а	отс.	1а; 2а; 3а

Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких.

Микроструктура изучалась с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений  $\times 500$  после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении  $\times 100$ . Микроструктуры металла сварных швов приведены на рисунке 1. Металл сварного шва характеризуется образованием структуры феррито-перлита видманштеттовой направленности. При этом в образцах, содержащих стронций и барий наблюдается некоторое снижение величины зерна. Величина зерна в образ-

це, сваренным под флюсом, не содержащим барий-стронциевый карбонатит по шкале зернистости составляет №4, а в образцах (№3, №4, №5), сваренных под флюсом с введением барий-стронциевого карбонатита величина зерна составляет № 4, №5.



а) б) в) г)

Рисунок 1 – Микроструктура сварных швов образцов с добавкой барий-стронциевого карбонатита, %: а) 0; б) 1; в) 3; г) 5

*Выводы:*

Использование барий-стронциевого карбонатита позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, а также повысить десульфурную способность сварочных флюсов.

#### Библиографический список

1. Крюков Р.Е. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом [Текст]/ Р.Е. Крюков, Ю.В. Бендре, Н.А. Козырев, И.В. Осетковский, В.Ф. Горюшкин // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2014. – №10. – С. 25-28.

УДК 621.791:624

## РАЗРАБОТКА НОВОГО СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНЦА

Патрушев А.О., Липатова У.И.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.  
канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

Приведено описание научно-исследовательских работ по изучению качественных характеристик сварных швов и наплавленного металла с использованием новых сварочных флюсов и флюс-добавок.

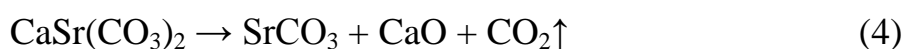
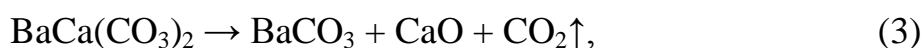
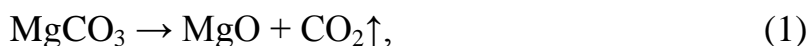
Использование барий-стронциевого карбонатита позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, а также повысить десульфурную способность сварочных флюсов.

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, сварной шов, барий-стронциевый карбонатит, силикоманганец, на основе шлака.

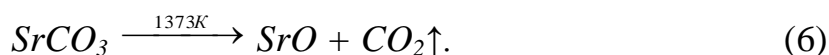


В металлургии одним из перспективных направлений является разработка технологий, позволяющих проводить модифицирование и рафинирование стали барием и стронцием из оксидных материалов, минуя стадии производства лигатур [1-3]. В качестве материала для таких технологий наиболее перспективным является месторождение комплексных карбонатных руд, содержащих кальций, барий и стронций на северо-востоке Иркутской области. Руды имеют следующий минеральный состав: 70 - 80 % стронций-кальций-бариевого карбоната, 10 % калиевого полевого шпата, 10 - 20 % пироксена. Выпуск барий-стронциевого модификатора БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 освоен ООО «НПК Металлтехнопром». Модификатор используется для производства стали, чугуна и цветных сплавов, а также для покрытий сварочных электродов. Барий-стронциевый модификатор содержит: 13,0-19,0% BaO, 3,5 - 7,5 % SrO, 17,5 - 25,5 % CaO, 19,8 - 29,8 % SiO<sub>2</sub>, 0,7 - 1,1 % MgO, 2,5 - 3,5 % K<sub>2</sub>O, 1,0 - 2,0 % Na<sub>2</sub>O, 1,5 - 6,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0 - 0,4 % MnO, 1,9 - 3,9 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,7 - 1,1 % TiO<sub>2</sub>, 16,0-20,0 % CO<sub>2</sub>.

Результаты рентгенофазового анализа [4] показали, что основными соединениями, входящими в состав барийстронциевого модификатора, являются баритокальцит BaCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, кальцит CaCO<sub>3</sub>, кальциостронцианит CaSr(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, доломит MgCO<sub>3</sub> и сидерит FeCO<sub>3</sub>. При этом проведенный дифференциально-термический анализ определил, что до температуры 1223 К происходит диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и кальциостронцианита. Это означает, что при температурах сварочных процессов (1873 - 1923 К) возможно использование данного материала с разложением карбонатных составляющих при температуре 1273 К по реакциям [1]:



с последующей диссоциацией карбонатов бария и стронция по реакциям:



В результате данных реакций образуются основные оксиды CaO, BaO, SrO, MgO и выделяется углекислый газ CO<sub>2</sub>. Выделение CO<sub>2</sub> при диссоциации карбонатов бария и стронция создает защитную атмосферу для свариваемых изделий. Расчеты [5, 6] показывают, что при разложении 1 кг CaCO<sub>3</sub> (н.у.) образуется 0,224 м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, 1 кг MgCO<sub>3</sub> – 0,267 м<sup>3</sup>, 1 кг FeCO<sub>3</sub> – 0,192 м<sup>3</sup>, 1 кг MnCO<sub>3</sub> – 0,194 м<sup>3</sup>, 1 кг Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 0,211 м<sup>3</sup>. Соответственно, при разложении 1 кг BaCO<sub>3</sub> – 0,114 м<sup>3</sup>, 1 кг SrCO<sub>3</sub> – 0,152 м<sup>3</sup>. При нагревании до темпера-

туры сварочных процессов 1800°C (2073 К) происходит расширение газа в 7,6 раза. По-видимому, без учета затрат на разложение карбонатов наиболее оптимальным является использование  $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$ ,  $BaCa(CO_3)_2$  и  $CaSr(CO_3)_2$ , как компонентов, позволяющих получать наибольшее количество  $CO_2$  при разложении 1 кг материала.

Диссоциация карбонатов, содержащихся в барий-стронциевом карбонатите ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $BaO$ ,  $SrO$ ), повышает основность шлака и по-видимому способствует рафинированию металла сварного шва от неметаллических включений. Считается, что помимо вышеизложенного, барий и стронций, являясь модификаторами, по-видимому, оказывают влияние на металлическую структуру сварного шва [4].

*Выводы:*

Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого карбонатита в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

#### Библиографический список

1. Дерябин А.А. Эффективность нанотехнологий модифицирования рельсовой стали барием [Текст]/ А.А. Дерябин, В.В. Павлов, В.В. Могильный и др. // Сталь. 2007. № 11. С. 134 - 141.
2. Дерябин А.А. О механизме модифицирования стали щелочноземельными металлами [Текст]/ А.А. Дерябин, Е.Ю. Берестов// Электрометаллургия. 2008. №6. С. 35 -38.
3. Рябчиков И.В. Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами [Текст]/ И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, Н.П. Лякишев, А.С. Дубровин. - М.: Metallurgy, 1983. - 272 с.
4. Рожихина И.Д. Модифицирование стали барием и стронцием [Текст]/ И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, В.И. Дмитриенко, М.А. Платонов //Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2015, Т.58, №15, с.871-875.
5. Крюков Р.Е. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом [Текст]/ Р.Е. Крюков, Ю.В. Бендре, Н.А. Козырев, И.В. Осетковский, В.Ф. Горюшкин // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2014. – №10. – С. 25-28.
6. R.E. Kryukov. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding [Текст]/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev 2015 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВОГО КАРБОНАТИТА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

**Патрушев А.О., Липатова У.И., Махин Д.И.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.  
канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: Kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru*

На основе результатов лабораторных исследований показано положительное влияние барий-стронциевого карбонатита при сварке под флюсом

Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, сварной шов, барий-стронциевый карбонатит, образцы.

В ходе исследования, в серии опытов проходящих лабораторных условиях изготавливали и исследовали различные составы сварочных флюсов.

Сварочный флюс №1 (флюс-добавка) изготавливался путем смешения барий-стронциевого карбонатита с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 % соответственно. После чего осуществляли выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 300 °С, охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракции 0,45-2,5 мм. Флюс № 2 – флюс на основе шлака производства силикомарганца фракции 0,45-2,5 мм, флюсы № 3, 4, 5 шлак производства силикомарганца фракции 0,45-2,5мм в смеси с флюс-добавкой (барий-стронциевым карбонатитом с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 %) в количествах 1; 3 и 5 % соответственно.

Сварку под флюсами производили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером 500×75 мм толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250 на режимах: I<sub>св</sub>=700А; U<sub>д</sub>=30В; V<sub>св</sub>=35 м/ч.

Химические составы флюсов и металла сварных швов приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 - Химический состав флюса, %

№ образца	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	F	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	SrO	S	P
1	0,87	32,52	12,15	1,02	3,54	9,96	-	2,41	2,48	14,24	4,86	0,25	0,21
2	9,58	50,26	18,51	7,98	10,55	1,54	0,38	0,41	0,61	отс.	отс.	0,13	0,05
3	8,11	47,64	29,79	6,19	6,97	0,31	0,21	0,27	отс.	0,25	0,10	0,15	0,01
4	7,96	48,28	28,36	6,15	7,05	0,42	0,33	0,43	0,03	0,61	0,21	0,15	0,02
5	8,19	48,44	28,86	5,08	7,04	0,54	0,31	0,43	0,04	0,65	0,25	0,15	0,02

Таблица 2 – Химический состав сварных швов

Образец №	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Al	S	P	Sr	Ba
1	0,11	0,13	0,53	0,02	0,05	0,10	0,002	-	0,030	0,021	0,0004	0,004
2	0,09	0,71	1,51	0,03	0,10	0,11	0,014	0,023	0,019	0,013	отс.	отс.
3	0,08	0,54	1,38	0,02	0,04	0,06	0,016	0,012	0,011	0,009	0,0004	0,0012
4	0,08	0,51	1,33	0,02	0,03	0,06	0,015	0,021	0,010	0,008	0,0004	0,0021
5	0,09	0,57	1,41	0,02	0,03	0,04	0,020	0,020	0,008	0,009	0,0004	0,0033

Как видно из таблиц, происходит незначительное восстановление бария и стронция из материала, причем изменение химического состава сварного шва указывает на повышение степени десульфурации при использовании флюс-добавки.

*Выводы:*

1. Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого карбонатита в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

2. Использование барий-стронциевого карбонатита позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, а также повысить десульфурующую способность сварочных флюсов.

#### Библиографический список

1. Рябчиков И.В. Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами [Текст]/ И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, Н.П. Лякишев, А.С. Дубровин. - М.: Металлургия, 1983. - 272 с.

2. Рожихина И.Д. Модифицирование стали барием и стронцием [Текст]/ И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, В.И. Дмитриенко, М.А. Платонов // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2015, Т.58, №15, с.871-875.

3. Крюков Р.Е. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом [Текст]/ Р.Е. Крюков, Ю.В. Бендре, Н.А. Козырев, И.В. Осетковский, В.Ф. Горюшкин // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2014. – №10. – С. 25-28.

4. R.E. Kryukov. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding [Текст]/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev 2015 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91.

## НАНОМЕТАЛЛУРГИЯ ВОЛЬФРАМА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Баротов Ф.Б.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

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

Рассмотрены основные направления развития нанометаллургии вольфрама и проведена оценка эффективности применения его в наносостоянии в современном материаловедении.

Ключевые слова: вольфрам, нанопорошки, плазмометаллургия, свойства.

Вольфрам и его соединения играют важную роль в современном материаловедении. При этом около 95 % добываемого вольфрама используется в металлургии. Чистый вольфрам применяется для изготовления электронно-лучевых трубок, в производстве тиглей для испарения металлов, как конструкционный материал для космических и других аппаратов, эксплуатируемых при высоких температурах, является непременной составляющей лучших марок инструментальной стали [1]. Достаточно востребованы и сплавы вольфрама, обладающие многими замечательными свойствами. Так называемый тяжелый металл из сплава вольфрам – никель – медь служит для изготовления контейнеров, в которых хранят радиоактивные вещества. Его защитное действие на 40 % выше, чем у свинца. Этот сплав применяют и в радиотерапии, так как он создает достаточную защиту при сравнительно небольшой толщине экрана. Сплавы карбида вольфрама с кобальтом настолько тверды, что могут частично заменить алмаз при бурении скважин, по-прежнему широко применяются в конструкциях аппаратов высокого давления для синтеза сверхтвердых материалов. Псевдосплавы вольфрама с медью и серебром рекомендуются в качестве материала для рубильников и выключателей электрического тока высокого напряжения и служат в шесть раз дольше обычных медных контактов [2].

Значительные объемы потребления вольфрама обуславливают необходимость разработки мероприятий по его ресурсосбережению и рециклингу. При этом важным направлением является повышение эксплуатационных свойств и срока службы изделий из вольфрамсодержащих материалов за счет использования вольфрама в нанодисперсном состоянии. Действительно, благодаря существенным отличиям в размерах стандартные порошки вольфрама (10-2 мкм) и его нанопорошки (100-5 нм) обладают различными физико-химическими свойствами. Нанопорошки химически более активны, легко взаимодействуют с кислородом и монооксидом углерода. При спекании заготовок из нанопорошков возможно получение мелкозернистой структуры с размером зерна на порядок меньшим, чем при применении порошков

стандартной гранулометрии. Поэтому сплавы, произведенные из нанопорошков, обладают более высокими механическими свойствами, а изделия из них – увеличенным сроком службы. В связи с этим разработка эффективных технологий производства нанопорошков вольфрама является актуальной задачей современной порошковой металлургии.

Проведенный анализ научно-технической литературы позволяет выделить следующие способы получения нанопорошков вольфрама:

1. Способ электрического взрывания проводников.

Нанопорошки получают на опытно-промышленных установках, основными элементами которых являются генератор импульсных токов, блок осциллографической регистрации разрядного тока в контуре и напряжения на взрываемом проводнике, разрядная камера. Электрический взрыв проводников осуществляют в режиме «быстрого взрыва». В разрядной камере находится азот или другие газы при пониженном давлении порядка 0,3 атм. Недостатком данного способа является неоднородный гранулометрический состав нанопорошка – от 200 до 5 нм. Основными параметрами, влияющими на дисперсность порошка вольфрама, являются газовая среда и давление в разрядной камере [3].

2. Плазмометаллургический способ.

Плазменное восстановление кислородных соединений или солей вольфрама с получением металлического порошка можно осуществлять водородом или продуктами конверсии углеводородов. Так, обрабатывая  $WO_3$  в аргоно-водородной плазме при 4000 – 5000 °С, используя конвертированный газ, состоящий только из СО и водорода, обеспечивают полное восстановление оксидов вольфрама до металла при избытке восстановителя не ниже двукратного. Процесс происходит в плазмотронах [4]. При производстве нанопорошков вольфрама необходимо подбирать тип и устройство плазмотрона. Получают порошки вольфрама со средним размером частиц около 50 нм и удельной поверхностью 6-8 м<sup>2</sup>/г.

Наиболее эффективным способом получения нанопорошков вольфрама является плазмометаллургический. Он позволяет получать порошки однородного гранулометрического состава достаточно высокой чистоты.

Сведения о фирмах, заявивших о себе как поставщиках нанопорошков вольфрама и материалов на его основе, приведены в таблице 1.

Имеющаяся информация не позволяет оценить уровень технического освоения производства нанопорошков (крупнолабораторный, опытный, промышленный) в российской и зарубежной металлургической практике. Выполненный в этом направлении в 70-80-е годы значительный объем научных и прикладных исследований, главным образом научным коллективом Института металлургии и материаловедения РАН под руководством академика РАН Цветкова Ю.В., заложил необходимые технологические основы нанометаллургии вольфрама, требующие в настоящее время дальнейшего развития. Учитывая роль и место вольфрама в современном материаловедении, можно ожидать государственной поддержки этого направления и финансирования

его как одного из приоритетных проектов Российской корпорации нанотехнологий, учрежденной Федеральным законом РФ № 139-ФЗ от 19 июля 2007 года «для реализации государственной политики в сфере нанотехнологий, развития инновационной инфраструктуры в сфере нанотехнологий, реализации проектов создания перспективных нанотехнологий и nanoиндустрии».

Таблица 1 – Сведения о поставщиках нанопорошков вольфрама и характеристики нанопорошков

Фирма – поставщик	Вольфрамсодержащие материалы и их характеристики		
	Состав	Наночуровень, нм	Стоимость, руб/кг
Nanostructured & Amorphous Materials, Inc., США [2]	W 99,9 %	60-10	*
	W 99,0 %	50	*
	W – Cu 6 %	50-100	*
	W – Cu 10 %	50-100	*
	W – Cu 15 %	50-100	*
	W – Cu 20 %	50-100	*
	W – Cu 25 %	50-100	*
	W – Cu 40 %	50-100	*
	W – Mn – Al	*	*
	W – Ni – Cu	*	*
	W – Ni – Fe	*	*
	WC 99,5 %	90-300	*
	WC – Co 8 %	60-250	*
	WC – Co 12 %	60-250	*
	WS <sub>2</sub>	20-50	*
ООО «Экос-Сибирь» [2]	W 99,9 %	500-5000	3000
	W 99,9 %	1000	3000
	W	2-10	18000
	W	10-100	12000
	W	100-1000	6000

\* - сведения не приведены

#### Библиографический список

1. Каламазов Р.У. Высокодисперсные порошки вольфрама и молибдена /Р.У. Каламазов, Ю.В. Цветков, А.А. Кальков.– М.: Металлургия, 1988.–192 с.
2. Производство и применение нанопорошков / Интернет - <http://ropnano.ru/>.
3. Ильин А.П. Получение нанопорошков вольфрама методом электрического взрыва проводников / А.П. Ильин [и др.]// Известия Томского политехнического университета, 2004. - № 4. – С. 68-70.
4. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т.1. Производство металлических порошков: Учебник для вузов / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий. – М.: «МИСИС», 2001 – 368 с.

## КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БОРИДОВ ХРОМА: АКТУАЛИЗАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Мацела Е.В.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

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

Проведена актуализация и систематизация научно-технической информации о кристаллической структуре и кристаллохимических свойствах боридов хрома.

Ключевые слова: бориды хрома, структура, кристаллохимические свойства.

Целью настоящей работы является актуализация и систематизация научно-технической информации о кристаллической структуре боридов хрома – твердых, износостойких, жаропрочных и химически инертных материалах, достаточно востребованных в современном материаловедении.

Диаграмма состояния системы хром-бор представлена на рисунке 1 [1–4].

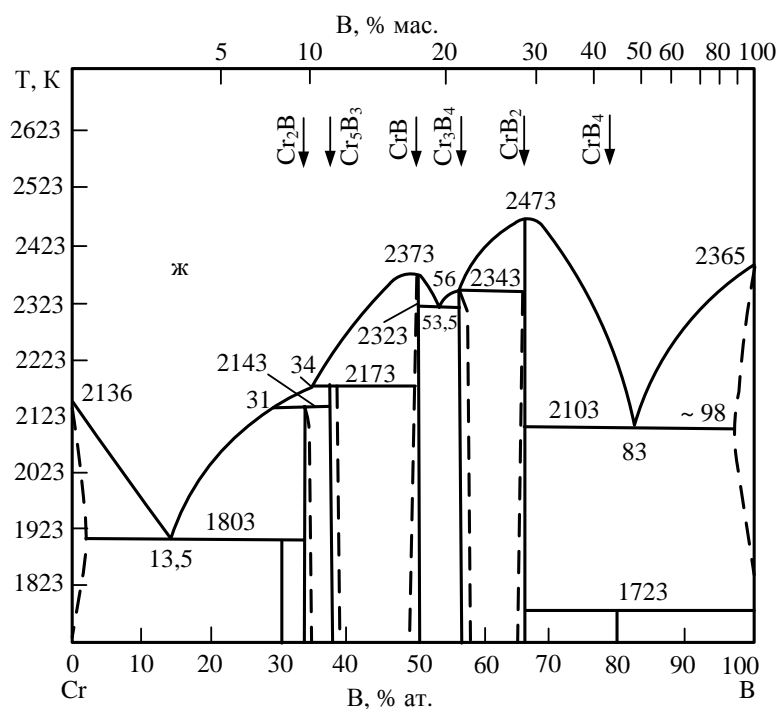


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы хром-бор

В системе образуется шесть боридов: Cr<sub>2</sub>B, Cr<sub>5</sub>B<sub>3</sub>, CrB, Cr<sub>3</sub>B<sub>4</sub>, CrB<sub>2</sub>, CrB<sub>4</sub>. CrB<sub>2</sub> существует в концентрационных пределах 66,7 – 72 % (ат.). Бориды хрома характеризуются высокой температурой плавления: CrB и CrB<sub>2</sub> плавятся конгруэнтно при 2373 и 2473 К соответственно. Cr<sub>2</sub>B, Cr<sub>5</sub>B<sub>3</sub> и Cr<sub>3</sub>B<sub>4</sub>



образуются по перитектическим реакциям:



В системе подтверждено существование трех эвтектических равновесий:



Боридообразующий элемент хром входит в число переходных металлов первой группы (Sc, Ni, V, Cr, Mn, Fe, Co), в атомах которых отсутствует 3d-подгруппа и при образовании соединений с неметаллами происходит заполнение недостроенных электронных групп [7 – 10]. Валентно связанные атомы бора в бориде могут быть представлены в виде изолированных пар ( $\text{Cr}_2\text{B}$ ); одинарных прямолинейных, зигзагообразных, сдвоенных, тройных цепочек ( $\text{CrB}$ ); сеток (графитоподобные плоские, плотноупакованные или дефектные, гофрированные и др.) ( $\text{Cr}_3\text{B}_4$  и  $\text{CrB}_2$ ), а также разной степени сложности каркасов (октаэдры, кубооктаэдры, икосаэдры и их комплексы) ( $\text{CrB}_4$ ). Взаимодействие между атомами металла и бора в бориде относительно слабое, поэтому их структуру рассматривают как две слабо связанные подрешетки. Однако преобладающей является металлическая связь Cr-Cr, которая определяет такие свойства как высокая твердость и температура плавления.

Атомы бора в структурном типе  $\text{AlB}_2$  образуют графитоподобные сетки, перпендикулярные оси z, а вся структура представляет последовательное чередование гексагональных слоев из металлических атомов, расположенных в узлах гексагональной плотноупакованной решетки с малым отношением c/a, и слоев из атомов бора, образующих гексагональную двухмерную сетку. Структурный тип  $\text{AlB}_2$  и родственные ему типы различаются формой чередования слоев и атомов металла или бора в слоях (рисунок 2) [5].

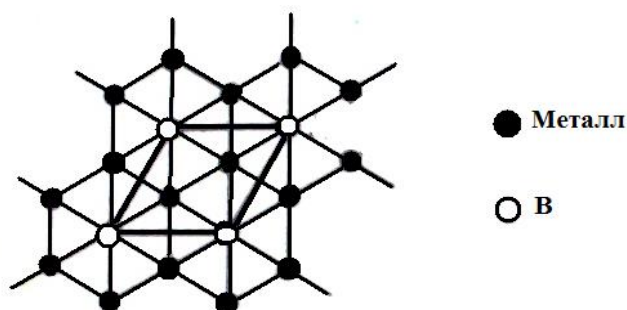


Рисунок 2 – Слои из атомов металла и атомов бора в структурном типе  $\text{AlB}_2$

Структуры и кристаллохимические характеристики боридов хрома приведены в таблице 1 [6 – 8].

Таблица 1- Структура и кристаллохимические характеристики бора, хрома и его боридов

Фаза	Структура	Область гомогенности		Пространственная группа	Структурный тип	Период решетки, нм			с/а	Плотность, $\rho \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	
		% ат.	% мас с.			a	b	c		рентгеновская	пикнометрическая
B	Ромб.	-	-	$R\bar{3}m$	B	0,506	-	-	0,576	2,46	2,45
Cr	Кубич.	-	-	Fm3m	W	-	-	-	-	7,19	7,18
Cr <sub>2</sub> B	Тетр.	32,5-34	9,09-9,66	$D_{4h}^{18} - I4/mcm$	CuAl <sub>2</sub>	1,471	0,741	0,425	0,832	6,57	6,11
Cr <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	Тетр.	36-37,5	10,4-11,1	$D_{4h}^{18} - I4/mcm$	Cr <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	0,544	-	1,007	1,954	6,12	6,10
CrB	Ромб.	48-50	16,1-17,8	$D_{2h}^{17} - Cmcm$	TaB	0,297	0,786	0,293	-	5,76	-
Cr <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	Ромб.	58-62,5	22,3-25,7	$D_{2h}^{25} - Immm$	Ta <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	0,299	1,302	0,295	-	6,11	6,05
CrB <sub>2</sub>	Гекс.	66-70	28,8-32,7	$D_{6h}^1 - D6/mmm$	AlB <sub>2</sub>	0,297	-	0,307	1,035	5,60	5,22
CrB <sub>4</sub>	Ромб.	-	-	$D_{2h}^{25} - Immm$	-	0,474	0,548	0,287	-	-	-

#### Библиографический список

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. В 3 т. Т. 1 / под ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
2. Портной К.И. Диаграмма состояния системы Cr–B/ К.И. Портной, В.М. Ромашов, И.В. Романович// Порошковая металлургия.– 1969.- № 4.– С. 51–57.
3. Портной К.И. Бинарные диаграммы состояния ряда элементов с бором / К.И. Портной, В.М. Ромашов// Порошковая металлургия.–1972.–№ 5. – С. 48–56.
4. Арабей Б.Г. О диаграмме состояния системы Cr – B/ Б.Г. Арабей, В.А. Глухов// Неорганические материалы.– 1978. – Т. 14.- № 4. – С. 662 –664.
5. Кузьма Ю.Б. Кристаллохимия боридов / Ю.Б. Кузьма. – Львов: Высшая школа. Издательство при Львов. ун-те, 1983. – 160 с.
6. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения: справочник/ Г.В. Самсонов, И.М. Виницкий.– 2-е изд. перераб. и доп.– М.: Металлургия, 1976. – 560 с.
7. Электронный каталог России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/Хром>. – Загл. с экрана.
8. Падерно Ю.Б. Особенности структурообразования эвтектических сплавов боридов d- и f-переходных металлов/ Ю.Б. Падерно, В.Н. Падерно, В.Б. Филиппов// Порошковая металлургия.– 1992.– № 8.– С. 73 – 80.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

**Алексеева Т.И.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

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

Проведен анализ применения карбида циркония в составе твердых сплавов, антиэмиссионных, абразивных и коррозионностойких покрытий.

Ключевые слова: карбид циркония, твердые сплавы, функциональные и коррозионностойкие покрытия.

Приоритетные направления современного разнопрофильного машиностроения требуют материалов, способных устойчиво работать в условиях воздействия высоких температур (более 1000 К), больших нагрузок, агрессивных сред. В этой связи постоянно повышается роль и значение синтетических тугоплавких сверхтвердых соединений – карбидов, боридов, нитридов, оксидов и их композиций. Среди карбидов переходных металлов карбид циркония по сочетанию специальных свойств входит в лидирующую группу, уникально совмещая такие практически значимые свойства, как твердость, тугоплавкость, коррозионная стойкость в жидких, газовых средах и металлических расплавах, износостойкость. Проведенный ранее анализ доступной научно-технологической литературы, содержащей результаты исследования свойств и способов получения карбида циркония, подтверждает, что основные представления по этим вопросам сформированы в 60-70 годах XX столетия главным образом усилиями научной школы члена-корреспондента АН Украины Самсонова Г.В., содержат характеристики свойств и условия получения крупнозернистых порошков и компактированных образцов. Системные исследования карбида циркония в нанокристаллическом состоянии практически не проводились. Наряду с этим в научной литературе крайне ограничено представлена информация о реальных сферах применения карбида циркония в современной технике. В связи с этим целью настоящей работы является анализ наиболее технологически и экономически привлекательных направлений применения карбида циркония и обоснованное прогнозирование новых подходов к его использованию.

Проведенный анализ научно-технической литературы свидетельствует о положительном технологическом опробовании карбида циркония стандартной гранулометрии в составе твердых сплавов, антиэмиссионных, абразивных и коррозионностойких покрытий и позволяет прогнозировать такие сферы его эффективного применения в наносостоянии, как производство поликристаллических сверхтвердых материалов и изделий из них, электроосаждение композиционных металлматричных покрытий в гальванотехнике,

формирование защитных смачиваемых покрытий катодов электролизеров в металлургии алюминия.

В технологии твердых сплавов подтверждена целесообразность замены карбидом циркония карбидов тантала, титана и хрома, в сплавах ТТК, ТК, КХН, введение его в качестве добавок в сплавы БВТС, однако отмечаются определенные проблемы применения его в качестве компонента различных твердых сплавов введу плохой смачиваемости металлами групп железа, обычно используемыми в качестве связок. Карбид циркония положительно опробован в составе следующих твердых сплавов:

1) в составе твердых сплавов группы ТТК, обычно содержащих до 5-20 % TaC, 3-15 % TiC, 8-12 % Co, остальное WC, взамен дорогостоящего TaC; сплавы этой группы являются достаточно универсальными, т.к. применяются для обработки как углеродистых сталей, так и различных чугунов;

2) в составе твердого сплава WC – ZrC – Co группы ТК, по своим свойствам практически равнозначного сплавам WC – TiC – Co;

3) в составе твердого сплава группы БВТС COT 30 на карбонитридной основе –  $(Ti_{0,95}Zr_{0,02}Nb_{0,10}Ta_{0,09})C_{0,53}N_{0,47}$ ; сплав имеет  $\delta_{изг}$  1000 МПа, HRA 90 ед., средний размер зерна карбонитридной фазы 2-4 мкм, стойкость при резании в 4 раза выше, чем у сплава КНТ 16;

4) в составе твердого сплава группы БВТС TiC – VC – ZrC – NbC – Ni – Mo (марки Т и ТП);

5) в составе карбидохромовых твердых сплавов группы КХН10-40  $Cr_3C_2 - Ni$  (Ni + Co + Fe + Mo + Cu) для частичной замены  $Cr_3C_2$ ; сплавы обладают высокой твердостью, окалиностойкостью, противостоят износу и коррозии в агрессивных расплавах и жидкостях, имеют низкую склонность к схватыванию и намагничиваемости и применяются в основном для изготовления фильер, матриц и оправок для протяжки черных и цветных металлов, пресс-форм и других износостойких деталей.

В технологии покрытий предложены способы формирования эффективных высоконадежных покрытий следующих типов: интерметаллического антиэмиссионного состава  $Pt_3Zr$  на сетках мощных генераторных ламп, абразивного состава ZrC на частицах алмазных порошков, используемых для изготовления отрезного, шлифовального и сверлильного инструмента, коррозионностойкого состава Zr – ZrC на керамических порошках.

В технологии сверхтвердых материалов внедрено в промышленных масштабах применение нанокристаллических нитридов, карбонитридов, карбидов, боронитридов переходных металлов IV – Va групп и их композиций с металлическими порошками в качестве компонентов и иницилирующих добавок при спекании материалов на основе нитрида бора и алмаза, что позволило создать материалы, содержащие до 30 % и более наноконпонентов, характеризующиеся повышенной ударной вязкостью и химической инертностью.

В технологии гальванических композиционных металломатричных покрытий в процессах никелирования, цинкования, хромирования внедрено

применение нанокристаллических боридов и карбидов  $\text{CrB}_2$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{SiC}$  в качестве модифицирующих добавок, обеспечивающих получение высокоплотных покрытий с высоким комплексом физико-механических свойств за счёт формирования мелкозернистой структуры с низкой пористостью.

В технологии производства алюминия электролизом фторидного криолито-глиноземного расплава выполнен значительный объем исследований и разработано немало технических предположений по повышению срока службы катода алюминиевого электролизера путем защиты его смачиваемым алюминием покрытием. Такое покрытие должно быть химически инертным к расплавам алюминия и электролита, прочным, высокоэлектропроводным, износостойким, хорошо смачиваться алюминием. В составе функциональной основы такого покрытия принципиально могут быть использованы бориды и карбиды титана и циркония. Описанные в литературе результаты и технические решения предполагают пока применение только диборида титана. Можно предположить, что дальнейшее развитие этого направления совершенствования конструкций алюминиевых электролизеров и повышения технико-экономических показателей процесса электролитического производства алюминия могут быть связаны с расширением номенклатуры используемых материалов и повышением их доступности за счет разработки эффективных технологий производства, обеспечивающих снижение их реальной стоимости до уровня менее 100 долл. США / кг.

УДК 621.762

## **АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО И МИРОВОГО РЫНКА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА ЦИРКОНИЯ**

**Алексеева Т.И.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

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

Проведен анализ российского и мирового рынка нанокристаллического карбида циркония, определены наиболее востребованные технологии его производства и сферы эффективного применения.

Ключевые слова: карбид циркония, производители и поставщики, технологии, техническое назначение.

Карбид циркония входит в группу высокотемпературных, сверхтвердых, огнеупорных, износостойких материалов, востребованных в различных сферах современного машиностроения. Введение его в обращение в нанокристаллическом состоянии открывает перспективы создания на его основе материалов с новым уровнем эксплуатационных свойств.

Представленная ведущими зарубежными производителями нанопо-

рошков металлов и их соединений научно-техническая информация содержит технологические сведения о плазменных процессах получения карбида циркония, приведенные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Информация о производителях карбида циркония, реализуемых ими технологических вариантах его получения и основных областях применения

Среди наиболее перспективных направлений ведущие места занимают способы получения нанопорошка карбида циркония в плазменном потоке аргона и водорода (плазмосинтез), и осаждение из парогазовой фазы. В настоящее время действующими лидерами среди производителей карбидов на мировом рынке являются научно-производственные фирмы – «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.» (США), «Hefei Kaier Nanotechnology & Development Ltd. Co» (Китай), «NEOMAT Co» (Латвия), «PlasmaChem GmbH» (Германия), которые производят 97 %-ый ZrC размер-

ностью 10 – 60 нм партиями от 5 – 100 г до нескольких килограммов. На сегодняшний день данными производителями установлен диапазон цен от 400 до 2000 долл. США/кг.

Рынок ближнего зарубежья представлен несколькими предприятиями и лабораториями Украины: ООО «Гормашинструмент» (Киев), ТОВ «ООО НПП Разработка и Внедрение Новых Материалов» (Киев), ООО «Укринтеллектсервис» (Киев), ООО «Сплав» (Днепропетровск), ООО «Стар Лтд» (Донецк), ЧП «Прогресс» (Донецк), которые производят порошок ZrC, соответствующий ТУ 6-09-03-03-408-754 [34]. Настоящие ТУ распространяются на карбид циркония квалификации "чистый", применяемый в составе жаропрочных сплавов и в составе катодов с высокой работой выхода электронов.

Отечественный рынок в большинстве своем представлен небольшими предприятиями и лабораториями, получающими карбид циркония карботермическим способом, плазмосинтезом, механосинтезом, СВС, осаждением из парогазовой фазы.

Компания из Уфы ИПК ЮМЭКС продает высокоогнеупорный ZrC в виде порошка серого цвета с температурой плавления 3530<sup>0</sup>С, гарантийный срок которого 36 месяцев, по цене составляющей 50 руб/кг.

АО «УЗПХ» производит и поставляет карбид циркония классификации «ч». Уральский завод промышленной химии (АО «УЗПХ») – это современное химическое предприятие полного цикла, продукция которого востребована не только на рынках России и стран Таможенного союза, а также в высокотехнологичных странах дальнего зарубежья: Япония, Австралия, Канада, США. Реализация продукции на внутренний рынок осуществляется через официальный Торговый дом – ООО «РИВЬЕРА», г. Москва.

ООО «Альтерхим» (г. Дзержинска) производит и поставляет карбид циркония квалификации «ч», соответствующий ТУ 6-09-03-408-75, и реализует партии от 1 кг по оптовым и розничным ценам.

ООО «Редметурал» (г. Екатеринбург) занимается поставкой качественной продукции из редкоземельных металлов на всей территории Российской Федерации и стран СНГ. Основная продукция металлы (молибден (Mo), ниобий (Nb), тантал (Ta)), лигатуры на основе алюминия (AlB, AlZr<sub>10</sub>, AlTi<sub>5</sub>B<sub>1</sub>, AlMg<sub>5</sub>, AlBe<sub>3</sub>), лигатуры на основе магния (MgZr, MgNd), карбиды (TaC, NbC, VC, TiC, ZrC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Mo<sub>2</sub>C) и др. Карбид циркония поставляется в виде фракционированных порошков 3-5, 40-60, 40-100мкм, и реализуется по договорной цене.

ООО ПКФ «Синтез-Продукт» - один из крупнейших поставщиков химических реактивов, предлагающий поставку химической продукции во все регионы России и страны СНГ – реализует порошок карбида циркония по договорным ценам.

Анализ отечественного и мирового рынка карбида циркония и его сегментов свидетельствует о достаточно разнообразных предложениях производителей, ориентирующихся главным образом на поставку карбида циркония для абразивов и огнеупоров, высокотехнологических объектов (пленоч-

ные покрытия, металлокерамические мишени), решения задач исследовательского характера. Предлагаемый к реализации карбид циркония значительно отличается по химическому составу, дисперсности, уровню цен, объемам поставок. При этом рынок нанокристаллического карбида циркония обеспечивается главным образом зарубежными производителями, что обуславливает необходимость отечественного освоения его производства как единственного направления эффективного импортозамещения.

УДК 669.7 (075)

## **СЫРЬЕВАЯ БАЗА ПРОИЗВОДСТВА МОЛИБДЕНА**

**Комрони М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.**

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

Описаны типы месторождений молибдена, основные виды молибденовых минералов. Рассмотрена сырьевая база производства молибдена в зарубежных странах и в России.

Ключевые слова: молибден, минеральная сырьевая база, месторождение, молибденит, медно-молибденовые руды, молибдено-вольфрамовые руды.

Молибден относится к группе редких металлов. Благодаря тугоплавкости он является одним из важнейших легирующих металлов. Кларк молибдена в земной коре составляет  $1,7 \cdot 10^{-4}$  %. Концентрация молибдена в промышленных месторождениях в 500–1000 раз выше, чем его кларк в земной коре. В природе известно семнадцать молибденовых минералов. Производство молибдена осуществляется преимущественно из собственно молибденовых, медно-молибденовых и молибдено-вольфрамовых руд. Все промышленные месторождения молибдена гидротермального происхождения. Содержание молибдена в перерабатываемых рудах 0,1–0,5 %. В некоторых углистых сланцах и золе углей установлено постоянное присутствие молибдена до 0,03–0,10 %. Однако минералогические формы молибдена в углях не выяснены, а промышленные методы извлечения его не разработаны.

Выделяют месторождения молибдена следующих промышленных типов:

- а) штокверковые, содержащие прожилки и вкрапленность либо молибденита с пиритом, либо молибденита с халькопиритом;
- б) жильные;
- в) скарновые неправильной формы, располагающиеся или вдоль контакта известняков с гранитами, или вдоль мощных зон разломов вблизи контактов этих пород.

Наиболее важны для промышленности штокверковые месторождения. В них заключены основные запасы молибдена. Среди штокверковых место-



рождений выделяются собственно молибденовые месторождения и медно-молибденовые. Оруденение обычно представляет собой массив окварцованных гранитных пород, пронизанных множеством кварцево-молибденитовых прожилок мощностью от миллиметра до нескольких сантиметров; глубина распространения оруденения значительна.

Мировые прогнозные ресурсы молибдена составляют около 20 млн. т, из них подтвержденные – свыше 12 млн. т. Следует отметить, что минерально-сырьевая база молибдена характеризуется чрезвычайно высокой степенью концентрации запасов: около 80 % подтверждённых запасов мира заключено примерно в 30 крупных месторождениях, около 50 % содержится в 8 сверхкрупных объектах.

Крупнейшими странами – держателями запасов являются США, Китай, Чили, Перу и Канада, на долю которых приходится 75 % подтверждённых запасов. По запасам молибдена первое место занимают США, где только одно месторождение Клаймакс (штат Колорадо) обладает запасами почти в 1,0 млн. т. Оно расположено в Скалистых горах на высоте 3700 м. Залегает это месторождение в докембрийских гранитах, гнейсах и кристаллических сланцах.

Форма рудного тела трубообразная и выражена тремя концентрическими зонами. Первая – окварцованные граниты и гнейсы с вкрапленностью магнетита и пирита; содержание молибдена – сотые доли. Средняя зона кольцевого сечения мощностью 100–400 м представлена сильно окварцованными гнейсами с множеством рудоносных кварцевых прожилок. Промышленное молибденовое оруденение приурочено к внутренним частям этой зоны, мощность его 75–120 м при содержании более 0,5 % Мо. Оруденение разведано на глубину более 400 м. Третья зона – ядро диаметром 120–300 м – сложена окварцованными породами с содержанием молибдена до 0,1 %. В этом месторождении молибденит иногда так тонко распылен в кварце, что не виден невооруженным глазом. В руде присутствуют кроме того следующие минералы: пирит, в небольших количествах халькопирит, сфалерит и вольфрамит (среднее содержание оксида вольфрама 0,04 %). В настоящее время в Клаймаксе из хвостов молибденовой флотации получают до 1000 т в год вольфрамового концентрата.

В остальных зарубежных странах разрабатываются, в основном, мелкие молибденовые месторождения. Около 300 тыс. т молибдена заключено в медно-порфириновых рудах [1, 2].

Государственным балансом запасов Российской Федерации учитывается почти 1,9 млн. т разведанных и предварительно оцененных запасов молибдена: это составляет около 5 % мировых (29 месторождений Мо, четыре из которых – только с забалансовыми запасами).

Российская минерально-сырьевая база молибдена характеризуется высокой концентрацией: более 80 % запасов, около двух третей прогнозных ресурсов и практически вся добыча металла сосредоточены на юге Сибири – на территории Восточно-Забайкальской, Западно-Забайкальской (Республика Бурятия) и Алтае-Саянской (Республика Алтай, Хакасия и Тыва) металлоген-

нических провинций. В рудах таких объектов молибдену сопутствуют медь, иногда золото, серебро и рений.

Крупнейшим в России объектом этого геолого-промышленного типа является Бугдаинское месторождение в Восточно-Забайкальской металлогенической провинции – в нём заключено более 30 % российских запасов металла. Однако по качеству руд, содержащих в среднем 0,08 % молибдена, оно уступает зарубежным аналогам.

Сравнительно богатые руды заключены в недрах эксплуатируемого Жирекенского месторождения того же геолого-промышленного типа, находящегося здесь же. Среднее содержание молибдена несколько превышает 0,1 %, однако запасы существенно меньше (3,4 % российских).

В этой же провинции в пределах Стрельцовского рудного поля, сконцентрированы молибден-урановые месторождения (содержание молибдена от 0,05 до 0,27 %). Молибден является попутным компонентом, извлечение его признано нерентабельным.

В Западно-Забайкальской провинции разведано два крупных молибденовых штокверковых объекта: Орекитканское месторождение, запасы которого составляют 19 % российских, а руды по качеству не уступают зарубежным (около 0,1 % Мо) и Мало-Ойногорское, заключающее более 8 % запасов металла страны, но с бедными рудами (в среднем 0,05 % Мо).

Одно из двух российских разрабатываемых месторождений, Сорское (6,6 % запасов, среднее содержание Мо в рудах 0,059 %), также относимое к молибденовому штокверковому геолого-промышленному типу, находится в Алтае-Саянской металлогенической провинции.

Около 9 % российских запасов молибдена заключено в скарновых вольфрамовых месторождениях Северо-Кавказской металлогенической провинции, в которых Мо присутствует как попутный компонент. Разведано всего два таких объекта, главным из которых является Тырнаузское месторождение, заключающее 7,5 % российских запасов (среднее содержание молибдена 0,041 %).

Наибольшими перспективами расширения российской минерально-сырьевой молибдена обладает Уральская металлогеническая провинция. Здесь сосредоточено более 20 % прогнозных ресурсов страны и почти все ресурсы высоких категорий, хотя они невелики (60 тыс. т) [1, 2].

Российская добыча молибдена составляет примерно 2,8 % мировой добычи. По этому показателю Россия (вместе с Арменией) занимает седьмое-восьмое место в мире. Практически всю добычу молибдена в России ведут две компании: ООО «Сорский ГОК» и ОАО «Жирекенский ГОК», отрабатывающие одноимённые месторождения в Хакасии и Забайкальском крае.

#### Библиографический список

1. Абрамов А.А. Обогащение руд цветных металлов: учебник для вузов /А.А. Абрамов, С.Б. Леонов. – М.: Недра, 1991. – 574 с.  
Сырьевая база для производства молибдена [Электронный ресурс]. –

Режим доступа: <http://metal-archive.ru/osnovy-metallurgii/1649-syrevaya-baza-dlya-proizvodstva-molibdena.html>.

УДК 662.74:504.06

## **СМОЛИСТЫЕ ОТХОДЫ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА: ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

**Коновалова Х.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.**

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

В работе рассмотрены смолистые отходы коксохимического производства (КХП), а именно фусы, кислая смолка и пр., которые по сложившейся практике используются в качестве эмульсионной присадки к угольной шихте, пластифицирующей добавки для частичного брикетирования угольных шихт, материалов для строительной индустрии. Намечены перспективы применения техногенных твердых отходов коксохимии.

Ключевые слова: смолистые отходы, промышленные отходы, фусы, кислая смолка.

Производство кокса из каменного угля является одним из основных, обеспечивающих работу горно-металлургического комплекса. Помимо кокса в этом производстве получают ряд химических продуктов, в том числе каменноугольную смолу. Разгонкой последней производят ряд ценных фракций, находящих применение в химической, металлургической и других отраслях промышленности. В настоящее время основным способом адекватного использования смолистых отходов является их подача в угольную шихту, идущую на коксование.

Тем не менее, до сих пор на большинстве коксохимических заводов отходы вывозят в отвал. Хотя это более простой и относительно дешевый способ уничтожения отходов, однако, в связи с повышением требований к охране окружающей среды, он не должен применяться в будущем.

Смола и различные сорта каменноугольного пека в значительных объемах экспортируются, в том числе в такие промышленно развитые страны, как Англия, Италия, Япония и т. д.

Систематизация литературных источников [1-8] позволяет выявить наиболее перспективные направления использования техногенных твердых отходов коксохимии:

- известна технология производства электродной продукции с использованием специально подготовленных вторичных смолистых материалов КХП;
- полимеры бензольных отделений передаются дорожно-строительным предприятиям;

– смолы и масла биохимустановок направляются в смолоперегонный цех;  
 – каменноугольные фусы и кубовые остатки цеха фталевого ангидрида добавляются в угольную шихту, идущую на коксование.

Систематизационная схема смолистых отходов коксохимического производства (КХП) [1-8] представлена на рисунке 1.

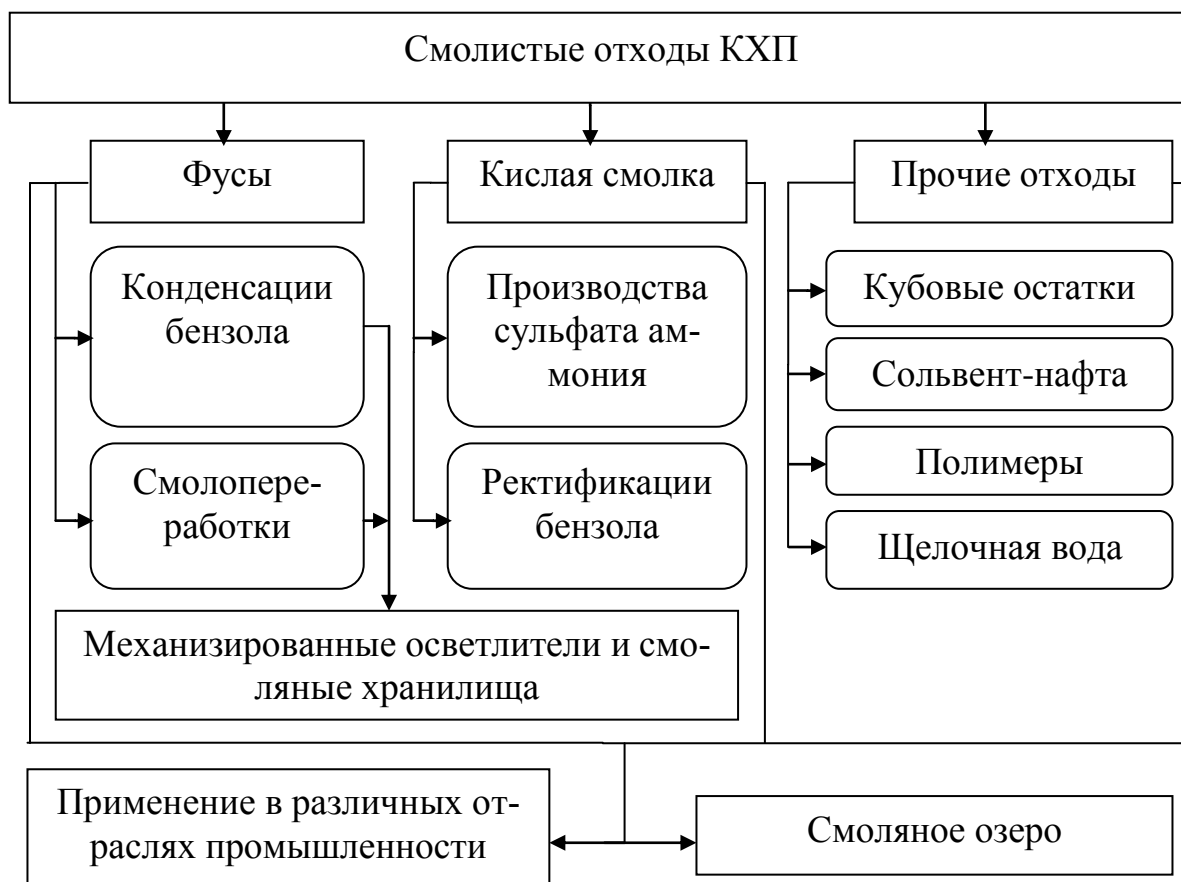


Рисунок 1 – Систематизационная схема смолистых отходов КХП

### 1. Фусы

Одним из наиболее массовых отходов коксохимического производства являются каменноугольные фусы из механизированных осветлителей и от очистки смоляных хранилищ.

*Фусы* – тяжелые остатки каменноугольной смолы, которые содержат: смолистые вещества (50-80 %); фенол; угольную и коксовую пыль, выносимой газом из коксовых печей; железистые и другие соединения. Плотность фусов 1300-1400 кг/м<sup>3</sup>, размер твердых включений 0,1 – 5 мм. Фусы оседают на дно механических отстойников и осветлителей и по физическим свойствам представляют собой тяжелую вязкую массу [2].

#### *Применение:*

Одним из перспективных способов утилизации каменноугольных фусов является переработка их на собственном производстве в шихте на коксовании. Фусы смешивают в соотношении 1:2–1:0,5 с резиносодержащей крошкой и подают в шихту на коксование в количестве 3–5% от массы шихты. Достоинства данного способа заключаются в универсальности, в простоте

те и малооперационности. При этом наблюдается увеличение выхода и качества металлургического кокса и химических продуктов коксования [3].

Следующий способ заключается в использовании фусов совместно с кислыми смолами сульфатного отделения и цеха ректификации в качестве пластифицирующей добавки для брикетирования угольных шихт [4].

Не менее важная область применения фусов – строительная индустрия. На основе фусов изготавливаются материалы для защитных покрытий бетонных, железобетонных и металлических изделий. Такие составы получают при растворении фусов в уайт-спирте и других растворителях с добавлением поливинилхлоридной смолы и последующим отстаиванием. Покрытия обладают устойчивой гидрофобностью, высокой прочностью и водостойкостью.

## *2. Кислая смола*

*Кислая смола* – остатки конденсации легкой смолы из коксового газа и продукты полимеризации непредельных соединений, так же кислая смола образуется при очистке бензола серной кислотой. Кислая смола, представляет собой черную вязкую массу с плотностью 1280 – 1300 кг/м<sup>3</sup>, содержащую серную кислоту до 15 – 20 %, бензольные углеводороды 15 – 30 % и полимеры 50 – 60 % [5].

### *Применение:*

Кислая смола нашла применение в качестве присадки к угольной шихте, идущей на коксование. Используется в виде эмульсии, которая состоит из кислой смолки сульфатного отделения и ректификации сырого бензола, а так же отработанной кислоты инден-кумароновых смол. Добавление растворителей (полимеров, получаемых в процессе улавливания сырого бензола из коксового газа), эмульгаторов (кубовых остатков) и нейтрализующих компонентов (щелочных вод) необходимо для получения нейтральных и устойчивых эмульсий.

Другие области применения кислой смолки – дорожное строительство. На ее основе производят битумы разных марок, добавки к цементному клинкеру для интенсификации помола и активизации твердения цемента, после нейтрализации смолку можно использовать для производства дорожных дегтей и вместо столярного клея.

## *3. Прочие отходы КХП*

*Полимеры* содержат инден-кумароновые смолы, которые применяются в производстве строительных плиток, различных лаков, линолеума, типографских красок, пластмасс и т.д. Неиспользуемые полимеры передаются в смоляные хранилища.

*Кубовые остатки* содержат смолистые вещества, тяжелые углеводороды, которые совместно с пековыми дистиллятами, антраценовым и фенольными маслами используются при приготовлении шпалопропиточного масла, горючей смеси для мартеновских печей, лака для изложниц. Кубовые остатки широко используются в качестве топлива.

*Сольвент-нафта* содержит легкие погоны поглотительного масла, нафталин. Температура начала кипения не ниже 180 °С, содержание воды не

более 5 %. Используется в качестве растворителя при производстве лаков.

*Щелочная вода* образуется при нейтрализации химпродуктов. Содержание свободной щелочи 0,5–4 %. Щелочные воды отпариваются от бензольных углеводородов и вывозятся на установку утилизации. Отработанная щелочь вместе с тяжелым бензолом подается в куб редистилляции для отпарки. Остаток вместе с сольвент-нафтой передается в смоляные хранилища.

#### *Выводы.*

Представленные в данной работе способы применения смолистых отходов коксохимического производства являются наиболее перспективными в настоящее время, но требуют большего внимания для эффективной реализации. Экспорт смолистых отходов в другие страны можно считать одним из возможных решений для поддержания экономики угольных и металлургических регионов. Развитие цехов по переработке коксохимических отходов, в частности фусов, кислой смолки и пр. помогут решить проблемы не только с размещением отходов, но и с экономией невозобновляемых ресурсов и улучшением экологической обстановки.

#### Библиографический список

1. Утилизация смолистых вторпродуктов в коксохимии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newchemistry.ru/letter>.
2. Фусы, переработка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-ecology.info/term/43173>.
3. © FindPatent.ru - патентный поиск, 2012-2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/246/2468071/>.
4. Елисеевич А.Т. Брикетирование углей со связующим. – М.: Недра, 1972. – 216 с.
5. Коновалова Х.А. Экологические аспекты утилизации и применения отходов коксохимического производства / Х.А. Коновалова, О.А. Полях // в сб.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / под общей ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк, СибГИУ, 2016. – С. 330-334.
6. Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: Сб. докладов. Второй международной научно-практической конференции / Под ред. Е.П. Волынкиной: СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – 313 с.,ил.
7. Пономарев Н.С. Некоторые аспекты утилизации и применения промышленных отходов коксохимического производства/ Н.С. Пономарев, Х.А. Коновалова, О.А. Полях // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. – Москва-Новокузнецк, 2016. – В. 37. – С.199-206.
8. Терентьева И.М. Особенности процесса коксования угольных шихт с использованием отходов коксохимического производства / И.М. Терентьева, О.А. Полях// в сб.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / под общей ред. Л.П. Мышляева. – Новокузнецк, СибГИУ, 2012. – С. 26-29.

## **КОМПЛЕКСНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИСКУССТВЕННЫХ ВОЛОКОН ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА**

**Павловская Е.Д., Чистюхин Е.А., Джалолов Х.О.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Ноздрин И.В.**

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

Проведена аттестация химического и фазового составов цинксо­дер­жащих шламов предприятий по производству искусственных волокон За­падно-Сибирского региона. Установлено, что цинк в образцах представлен в основном сульфатами и карбонатами, причем его содержание изменяется в широких пределах - от 10 до 40 % масс. Основные примеси находятся в виде сульфата кальция и оксидов кремния и алюминия. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности переработки данного материала как пирометаллургическим (вельцеванием), так и гидрометаллургическим (выщелачивание) способами.

Ключевые слова: искусственное волокно, цинксо­дер­жащий шлам, вельцевание, выщелачивание.

Цинк относится к группе основных по объемам производства и по­требления цветных металлов. В 2015 году его производство составило 13,9 млн. тонн уступая лишь алюминию и меди [1]. При этом потребление цинка неуклонно растет год от года. В связи с этим пропорционально увеличивается количество цинксо­дер­жащих отходов. Вопросы рециклинга цинка осо­бенно остро стоят перед отечественными переработчиками, так как в насто­ящее время освоены лишь процессы эффективной переработки богатых от­ходов с содержанием цинка более 40 %, а более бедные материалы практи­чески не используются [2]. Однако рост накопленных отходов, обострение экологических вопросов, связанных с хранением этих материалов и неиз­бежное ужесточение природоохранного законодательства выводит задачу их переработки на первый план. Для разработки эффективной технологии из­влечения цинка из отходов, в первую очередь, необходимо аттестовать дан­ные материалы по количеству и составу.

В работе проведена комплексная аттестация запасов, химического и минералогического состава шламов предприятий по производству искус­ственных волокон Западно-Сибирского региона («Сибволокно» г. Зелено­горск, «Красноярские волокна») с целью разработки рекомендаций по их пе­реработке. Исследования проводились совместно с инженерно-техническим центром Челябинского цинкового завода.

По данным технических отчетов предприятий установлено, что общее количество цинка в шламоотстойниках «Красноярских волокон» и «Сибво-

локна» и составляет около 20000 и 25000 тн соответственно при среднем содержании цинка от 16 до 21 %. Такое количество цинка сопоставимо с годовой производственной программой среднего цинкового завода. Кроме того переработка данного материала позволяет уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, особенно с учетом факта расположения шламонакопителей «Красноярских волокон» в городской черте.

Отбор проб производился из различных мест отстойников с помощью стальных штанг: по периметру отстойников в теплое время года, с поверхности - зимой. Глубина отбора проб варьировалась от 0,3 до 4 м. Установлено, что цвет образцов зависит от содержания основных примесей и изменяется от светло-серого до светло-коричневого или бурого. Во всех образцах присутствуют остатки целлюлозного волокна существенно повышающие влагоудерживающую способность шлама. Материал представляет собой глиноподобную массу влажностью от 40 до 80 %. Крупность частиц материала находится в пределах 0,1 – 2,5 мм. Насыпной вес отобранных проб находится в диапазоне 0,87 – 1,25 г/см<sup>3</sup>, а плотность (истинная) 1,60 – 1,68 г/см<sup>3</sup>.

Результаты химического анализа отобранных проб приведены в таблице. Для сравнения приведены составы цинксодержащих шламов производства искусственных волокон на Балаковском заводе волокнистых материалов и Светлогорского РУП «Химволокно» (республика Беларусь), аттестованных в химической лаборатории Челябинского цинкового завода.

Следует отметить, что химический состав образцов шламов предприятий, расположенных в г. Зеленогорске, г. Красноярске и г. Балаково коррелирует между собой, что связано со схожей технологической схемой получения волокна на этих заводах. Более высокое содержание цинка образцов с шламонакопителей ООО «Сибволокно» объясняется тем, что технологические сточные воды этого производства не разбавлялись прочими стоками, в том числе и хозяйственными, как на остальных предприятиях. Существенно более высокое содержание цинка и другой минералогический состав в образцах, полученных на Светлогорском «Химволокне», объясняется использованием схемы нейтрализации кислотных стоков каустической содой вместо известкового молока как на других рассматриваемых производствах.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности переработки данного материала как пирометаллургическим (вельцеванием), так и гидрометаллургическим (выщелачивание) способами.

Таблица 1– Химический состав цинксодержащих шламов предприятий искусственного волокна

Компонент	Химический состав образцов шлама, % масс.			
	Красноярск	Зеленогорск	Балаково	Светлогорск
Цинк общий	10,8 - 22,3	14,2 - 29,6	21,2	46,7
Цинк растворим.	н/о	18,6	13,6	45,7



Продолжение таблицы 1

Компонент	Химический состав образцов шлама, % масс.			
	Красноярск	Зеленогорск	Балаково	Светлогорск
Цинк водораств.	н/о	0,33	0,12	0,36
Железо	0,80 - 1,65	1,92 – 2,70	1,5	1,55
Свинец	0,029	0,21	0,041	0,13
Кадмий	н/о	0,0004	0,005	0,0033
Медь	0,022	0,009	0,011	0,011
Никель	н/о	0,012	0,009	0,011
Кобальт	н/о	0,004	0,0031	0,0023
Олово	н/о	0,023	0,041	Н/о
Хлор	н/о	0,071	н/о	0,028
Фтор	н/о	0,044	н/о	0,005
Алюминий	0,95	3,05	н/о	н/о
Мышьяк	н/о	0,007	0,0026	0,001
Сурьма	н/о	0,0025	0,0018	0,0048
Кремнезем	0,5	7,21	11,2	10,97
Оксид кальция	н/о	1,73	10,3	0,19
Сера общая	н/о	16,27	16,9	1,76
Оксид магния	н/о	Н/о	0,79	0,24

Библиографический список

1. Материалы World Bureau of Metal Statistics (WBMS) [Электронный ресурс]/Statistic. – Режим доступа: <http://www.wbms.com>.
2. Тарасов А.В. Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья/ А.В.Тарасов, А.Д.Бессер, В.И.Мальцев.– М.: Гинцветмет, 2004, С. 20 – 41.
3. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов. Справочник в 3-х томах. Т. 3. Вторичная металлургия тяжелых цветных металлов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008, С. 199 – 206.

## **ПЕРЕРАБОТКА ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА**

**Чистюхин Е.А., Джалолов Х.А., Павловская Е.Д.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Ноздрин И.В.**

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

В работе обобщены материалы исследований количества, химического и фазового составов цинксодержащих шламов предприятий по производству искусственного волокна Западно-Сибирского региона, а также рассмотрены вопросы их переработки. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование для переработки данного типа отходов как пирометаллургической технологии – вельцевания, так и гидрометаллургической – выщелачивания.

Ключевые слова: цинксодержащие шламы, искусственные волокна, отходы производства, вельцевание, выщелачивание.

Вопросы переработки вторичного цинкового сырья остро встали на повестку дня в отечественной цветной металлургии относительно недавно 15 - 20 лет назад [1]. В связи с концентрацией всего производства в рамках двух предприятий – Челябинского цинкового завода и завода «Электроцинк» г. Владикавказ и удовлетворительной обеспеченностью этих предприятий цинковыми концентратами, внедрение процессов переработки отходов смежных производств не стояло на повестке дня. Использовались лишь богатые по цинку (содержание цинка более 50 %) отходы горячего цинкования (гартцинк) и дроссы от производства сплавов [2].

Инициатором активных работ в этом направлении в середине 90-х годов стал флагман российской цинковой отрасли – Челябинский цинковый завод. Вопросы использования вторичного сырья встали на повестку дня из-за острого дефицита цинковых концентратов, обусловленного недоступностью отечественного сырья, связанного с переделом собственности в добывающих отраслях, возросшей стоимостью цинка на мировом рынке и затрат на логистику вследствие роста тарифов на перевозки. В эти годы в рамках программы «Сырье» были предприняты усилия по расширению рудной базы цинковых концентратов, аттестованы характеристики и запасы вторичного цинка, представленные отходами предприятий черной и цветной металлургии, а также ряда химических производств, проведены исследовательские и проектные работы по внедрению новых и модернизации действующих технологических процессов для переработки вторичного сырья. К данным работам привлекались сотрудники и студенты Сибирского государственного индустриального университета.

В работе обобщены сведения о видах, количестве и химическом составе цинксодержащих шламов от очистки сточных вод и отработанных технологических растворов отечественных предприятий по производству искусственных волокон. Количество подобных накопленных материалов оценивается около 200 тыс. тонн по цинку. Такое количество сопоставимо с годовыми программами крупнейших цинковых заводов. На примере разработок процессов утилизации отходов и опыта применения данных технологий на предприятиях Сибирского федерального округа (ООО «Сибволокно», ООО «Крас ноярские волокна» и др.) показана их технологическая и экономическая эффективность.

Анализ химического и фазового состава шламов различных предприятий показывает, что цинк в них представлен карбонатами, сульфатами и сульфидами. Основными балластными примесями являются оксиды кальция и кремния. Наблюдается большой разброс данных по химическому составу шламов даже в пределах одного предприятия, что определено как изменениями параметров технологических режимов предприятий, так и условиями складирования и хранения отходов. Общее содержание цинка в рассматриваемых материалах варьируется в пределах 11 – 31 %, окиси кальция – 4-16 %, окиси кремния – 4-8 %. Подтверждено наличие сульфидной серы в образцах шламов, достигающих, в некоторых случаях, 2 %. Следует отметить наличие в шламах остатков целлюлозного волокна и, в ряде случаев, следов органических примесей, которые негативно влияют на процессы прямого выщелачивания шламов и фильтрования продуктов. Для удаления органической составляющей исследуемых материалов рекомендовано введение технологической стадии прокаливания шламов.

Опыт переработки шламов по технологии, используемой на действующих заводах, подтверждает эффективность применения для этих целей процесса вельцевания [3]. Экономически эффективное содержание цинка в шламах, при этом, должно превышать 14 %. Прямое выщелачивание отработанным электролитом показало низкое извлечение цинка, сопровождаемое расстройством штатного технологического процесса. Основным фактором, сдерживающим использование стандартной технологии, является высокая стоимость транспортировки рассматриваемых материалов, связанная с удаленностью предприятий от действующих цинковых заводов. Этот факт вызывает необходимость разработки мобильных технологий переработки шламов на месте.

Учитывая особенности рассматриваемых материалов предлагаемые технологии позволяют получать цинк в виде оксида или сульфата цинка, имеющих широкое применение. Такие процессы представляют собой, в той или иной степени, аналог вельцпроцесса при получении технического оксида цинка, который дополняется рядом гидрометаллургических переделов при получении сульфата или высококачественного оксида. Особенностью предлагаемых технологий является необходимость включения обязательной двух- или трехстадийной сушки шламов, что обусловлено их высокой влагоудерживающей способностью.

## Библиографический список

1. Тарасов А.В. Metallургическая переработка вторичного цинкового сырья/ А.В.Тарасов, А.Д.Бессер, В.И.Мальцев.– М.: Гинцветмет, 2004, С. 20 – 41.
2. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов. Справочник в 3-х томах. Т. 3. Вторичная металлургия тяжелых цветных металлов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008, С. 199 – 206.
3. Козлов П.А. Вельц-процесс/ П.А. Козлов. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002, С. 101 – 109.

УДК 661.522

## ОСОБЕННОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ АММИАКА ПРИ ОЧИСТКЕ КОКСОВОГО ГАЗА

**Попов А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

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

Проведено исследование особенностей улавливания аммиака при очистке коксового газа. Рассмотрены различные способы улавливания аммиака: сатураторный, бессатураторный, круговой фосфатный способ. На основе их сравнительного анализа осуществлён выбор оптимальной технологии.

Ключевые слова: улавливание аммиака, сатураторный способ, бессатураторный способ, круговой фосфатный способ.

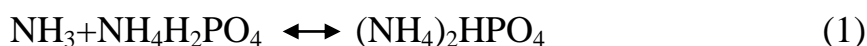
Очистка коксового газа от аммиака производится серноокислотным способом с использованием в качестве реагента, связывающего аммиак, серную кислоту. Целью данной работы является изучение особенностей улавливания аммиака при очистке коксового газа.

В настоящее время применяются два способа очистки коксового газа от аммиака с получением сульфата аммония: полупрямой - сатураторный и прямой – бессатураторный, особенности которых рассмотрены в работе [1]. Один способ от другого отличается как аппаратным оформлением, так и технологическими параметрами процессов. По первому способу аммиак и другие вредные компоненты газа, а также пиридиновые основания улавливается в аппаратах барботажно-погружного типа, называемых сатураторами, с выпадением соли сульфата аммония непосредственно на днище аппарата, по второму способу прямой коксовый газ, содержащий аммиак орошается кислотным раствором соли бисульфата аммония в двухступенчатых аппаратах колонного типа (абсорберах) с выпадением кристаллов в другом аппарате – испарителе.

В последнее время появились технологии, исключющие использование для улавливания аммиака крепкую серную кислоту [2-4]. Наиболее при-

емлемым и апробированным из имеющихся способов является технология улавливания аммиака круговым фосфатным способом, разработанная федеральным государственным унитарным предприятием «ВУХИН». По этой технологии аммиак из газа улавливается, а затем разрушается термическим способом в энерготехнологическом реакторе с получением безвредных веществ (водяной пар и газообразный азот), которые выбрасываются в атмосферу без загрязнения окружающей среды. В качестве побочного продукта получается пар с технологическими параметрами соответствующими техническим условиям для пара среднего давления, который используется в технологии улавливания, чем снижаются затраты на приобретение энергоресурсов. Вместо серной кислоты в процессе используется ортофосфорная кислота, которая находится в замкнутом цикле и используется многократно. В процессе улавливания и последующей десорбции аммиака происходит регенерация циркулирующего раствора, затраты на приобретение ортофосфорной кислоты для пополнения цикла ниже затрат на приобретение серной кислоты в 40 раз, потребное количество ортофосфорной кислоты по сравнению с серной снижается более чем в 300 раз.

Круговой фосфатный способ (КФС) улавливания аммиака растворами ортофосфатов аммония основан на следующей обратимой химической реакции:



Аммиак селективно абсорбируется раствором моноаммонийфосфата МАФ ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) при температуре  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 < 50^\circ\text{C}$ , при этом образуется диаммонийфосфат ДАФ ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ). При нагреве раствора до температуры  $> 100^\circ\text{C}$  ДАФ, разлагается на МАФ и аммиак. Аналогично десорбции аммиака из надсмольной воды на аммиачных колоннах, аммиак отгоняется водяным паром из фосфатного раствора в колонном аппарате. Схема получения сульфата аммония круговым фосфатным способом представлена на рисунке 1 [2].

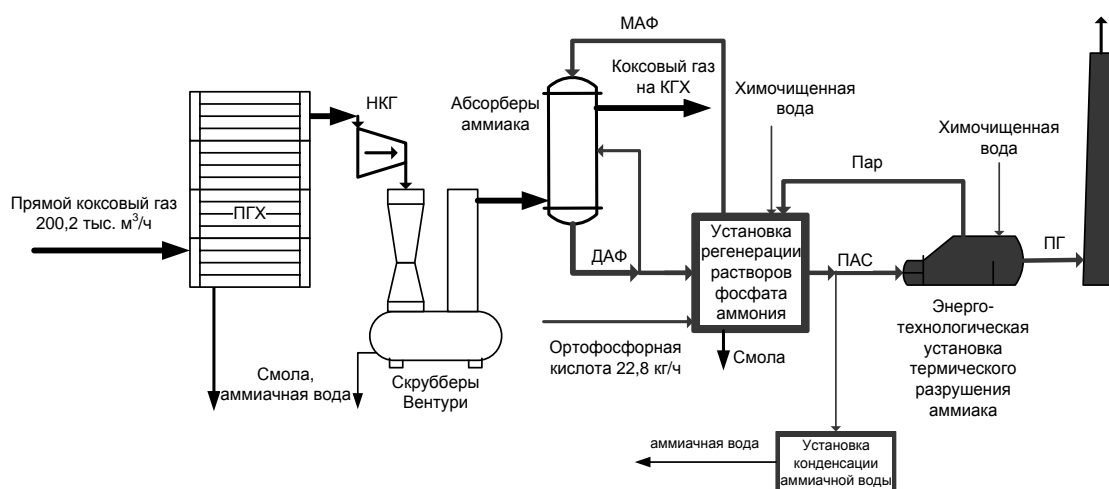


Рисунок 1 – Принципиальная схема получения сульфата аммония круговым фосфатным способом

Коксовый газ, охлажденный в первичных газовых холодильниках до температуры  $< 35^{\circ}\text{C}$ , нагнетателями подается в скрубберы Вентури (СВ). В них очищается от аэрозолей и смолы циркулирующей надсмольной воды. Газовый конденсат и избыток циркулирующей воды поступают в промежуточный сборник. Эффективность очистки газа в скрубберах Вентури достигает 90 % и содержание смолы в газе после них не превышает  $0,5 \text{ г/м}^3$ , что является необходимым условием для надежной работы установки очистки коксового газа от аммиака круговым фосфатным способом. Затем газ подается в абсорбер аммиака, состоящий из двух ступеней. В нижней форсуночной ступени абсорбера циркулирующим раствором диаммонийфосфата абсорбируется из газа около 50 % аммиака. После этого газ проходит через верхнюю ступень абсорбера, где на пластинчатых тарелках раствором моноамонийфосфата абсорбируется до остаточного содержания  $< 0,05 \text{ г/м}^3$ . Одновременно раствором извлекаются  $< 65$  % содержащихся в газе легких пиридиновых оснований. Далее коксовый газ обрабатывается по технологии, включающей конечное охлаждение и извлечение бензольных углеводородов каменноугольным поглотительным маслом. Раствор ортофосфатов аммония после абсорбера отстаивается в отстойнике, в котором отделяется извлеченная из газа смола (верхний слой). Для розжига печи-реактора и поддержания температурного режима в аммиачной топке сжигается небольшое количество обратного коксового газа ( $150\text{-}250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Вторая топка печи-реактора служит только для сжигания коксового газа и обеспечения максимальной производительности котла-утилизатора (сезонно, по требованию балансов паропотребления на коксохимпроизводстве).

При рассмотрении трех видов технологий очистки коксового газа от аммиака, можно сделать вывод, о том, что круговой фосфатный способ является наиболее эффективным. Это обусловлено следующими факторами. Во-первых, за счет замены серной кислоты на меньшее количество ортофосфорной кислоты; во-вторых, процесс улавливания аммиака идет в непрерывном цикле, что сокращает потребление пара в связи с утилизацией вторичных ресурсов; в-третьих, очистка коксового газа более эффективна, по сравнению с другими способами.

#### Библиографический список

1. Попов А.С. Особенности сатураторного и бессатураторного способов получения сульфата аммония / А.С. Попов, Л.С. Ширяева // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сб. тр. Всероссийской науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (01-03 июня)/ СибГИУ.– Новокузнецк, 2016.– Вып. 20.– Ч. III. Естественные и технические науки. - С. 342-345.
2. Дмитриев М.М. Краткий справочник коксохимика. Химическая промышленность/ М.М Дмитриев, Я.М Обуховский – М.: 1976. – С.197.
3. Кауфман А.А. Технология коксохимического производства/ А.А Кауфман, Г.Д Харлампович – Екатеринбург: 2005. – С.288.
4. Лейбович Р.Е. Технология коксохимического производства/ Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов – М.: 1982. – С.360.

## **СПОСОБЫ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

**Старцев С.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

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

Рассмотрены основные способы сухого тушения кокса. Проведена оценка целесообразности применения различных типов установок для реализации процесса тушения.

Ключевые слова: кокс, тушение кокса, установка сухого тушения кокса.

Сухое тушение с экономичным использованием тепла кокса до настоящего времени в большинстве стран не получило широкого применения. Это связано с преодолением целого ряда технических и особенно экономических трудностей. За прошедшие годы предложено и испытано большое число способов тушения кокса [1].

Целью настоящей работы: является сравнительный анализ способов сухого тушения кокса, изучение их технологических особенностей и перспектив применения.

Известно четыре основных способа сухого тушения кокса: инертным газом, отопительными (доменным и генераторным) газами, паром и горячей водой под давлением и за счет теплоизлучения раскаленного кокса.

Первый способ заключается в том, что в камере тушения противотоком через движущуюся коксовую засыпь проходит инертный газ (состав его близок к составу дымовых газов). Этот способ является единственным, воплотившимся в конструкции промышленных установок сухого тушения кокса (УСТК) [2].

Второй и третий способы промышленного применения пока не имеют, однако ведутся проектные разработки установки по производству восстановительного газа. Промышленные УСТК, соответствующие четвертому способу, эксплуатируются только на коксогазовых заводах с малой производительностью. Самая маленькая УСТК такого типа имеет суточную производительность 1,5 т кокса.

УСТК имеют различное оформление тушильного объема. Тушильный объем УСТК – это то замкнутое пространство, которое заполнено неподвижной или движущейся коксовой засыпью и в котором происходит сухое тушение кокса. Можно выделить следующие конструктивные формы тушильного объема: камера (бункер) с форкамерой или без нее (обычно в таких камерах находятся 8-10 выдач коксовых печей); контейнер (камера) - в тушильном объеме находится одна выдача коксовой печи; камера – коксовая

засыпь в ней образуется одной или несколькими выдачами кокса из печей; жаровая труба – тушильный объем выполнен в виде жаровой трубы большого котла с прямым подогревом воды и раскаленный кокс в тушильный объем вводится в специальном контейнере, рассчитанном на одну выдачу кокса [3].

Применение форкамеры является прогрессивным решением, позволяющим по сравнению с камерными (бункерными) УСТК достигать такие преимущества, как:

а) выравнивание кокса по готовности в форкамеры способствует повышению физико-механических показателей его качества;

б) непрерывное поступление раскаленного кокса из форкамеры в зону тушения гарантирует большую стабильность параметров режима работы тепло утилизационного устройства УСТК (особенно при циклических и других остановках коксовых печей);

в) осуществление загрузки раскаленного кокса в форкамеру способствует уменьшению выбросов инертного газа из контура циркуляции УСТК [1].

В мировой практике сухого тушения кокса сейчас считаются наиболее перспективными камерные (бункерные) УСТК конструкции Гипрококса. Камерная УСТК, состоящая из четырех-семи камер тушения, предназначена для охлаждения кокса, производимого на двух коксовых батареях с печами большой емкости (30 и 41,6 м<sup>3</sup>). Внедряемые в России УСТК имеют годовую производительность, равную годовой производительности блока коксовых печей (1,4 – 2,0 млн. т валового кокса).

Коксотушильная камера состоит из форкамеры, зоны газоотводящих косых ходов, основной части камеры и нижней части с дутьевым устройством.

Форкамера, зона косых ходов и основная часть камеры тушения выложены из шамота повышенной прочности, обыкновенного шамота, легковесного шамота, изоляционного кирпича и красного кирпича. Кладка этих зон армирована кожухом из листовой стали. Зона дутьевых устройств выполнена из монолитного бетона, футерованного внутри чугунами и базальтовыми плитами. Элементы этой зоны работают при низких температурах (180 – 250 °С) и подвержены только эрозионному износу массой гравитационно опускающегося кокса (при нормальных условиях эксплуатации износ чугуновых и базальтовых плит весьма незначителен) [3].

Внутренняя часть форкамеры футерована шамотом повышенной прочности. Следует отметить, что, несмотря на высокую температуру в этой зоне (950–1100 °С), износ огнеупорной кладки здесь весьма незначителен. Наиболее быстро разрушается зона косых ходов и основная часть камеры тушения. Существует несколько объективных причин, вызывающих повышенный износ этих частей коксотушильной камеры, основными из которых являются:

1) непрерывное колебание температуры кокса (следовательно, и кладки) по высоте газоотводящих каналов (косых ходов). Как показали температурные измерения, в зависимости от режима работы УСТК температура при-



стеночного слоя кокса на уровне нижних рядов косых ходов колеблется в пределах 300–700 °С;

2) механическое воздействие на огнеупоры движущейся массы кокса, в результате чего на консолях косых ходов происходят сколы от одного до трех крайних кирпичей; на стенках основной части камеры тушения появляются раковины и потертости различной глубины;

3) износ кладки за счет абразивной коксовой пыли, содержащейся в циркуляционном газе;

4) разрушительное действие футеровки камеры в результате воздействия окиси углерода, содержащейся в циркуляционном газе.

По мере освоения и усовершенствования отдельных узлов конструкции УСТК число остановок должно быть не более предусмотренного планом. Большое значение для сохранности отдельных зон кладки имеет качество поставляемых для строительства огнеупоров. В первую очередь это относится к шамоту повышенной прочности. На состояние кладки камеры в большой мере влияют количество потушенного кокса и число остановок с полным охлаждением и повторных пусков. В последние годы для восстановления кладки зоны тушения камер стали применять метод торкретирования [4].

Наряду с достоинствами УСТК имеет и ряд недостатков, это высокие расходы на содержание, угар кокса, истирание кокса о стенки камеры тушения и унос коксовой пыли. Кроме того, циркулирующий газ УСТК является сильно токсичным и взрывоопасным.

#### Библиографический список

1. Давидзон Р.И. Мастер установки сухого тушения кокса / Давидзон Р.И. – М.: Металлургия, 1980.-192с.

2. Старцев С.С. Сравнительный анализ сухого и мокрого тушения кокса / С.С. Старцев, Л.С. Ширяева // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сб. тр. Всероссийской науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (01-03 июня) / СибГИУ. – Новокузнецк, 2016. – Вып. 20. – Ч. III. Естественные и технические науки. - С. 353-356.

2. Лейбович Р.Е. Технология коксохимического производства/ Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.

3. Иванов Е.Б. Технология производства кокса/ Е.Б. Иванов, Д.А. Мучник. – Киев.: Высшая школа, 1976. – 232 с.

4. Харлампович Г.Д. Химическая технология твердых горючих ископаемых/ Г.Д. Харлампович, Г.Н. Макаров. – М.: Химия, 1986. – 393с.

## **ПРОИЗВОДСТВО ДИБОРИДА ТИТАНА: ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ**

**Ефимова К.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, email: kafcmet@sibsiu.ru*

Работа выполнена в СибГИУ при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках договора № 7112ГУ/2015.

Исследованы и систематизированы сведения о состоянии производства диборида титана, его отечественного и мирового рынка. Установлено, что основными способами получения диборида титана являются карботермический, магниетермический и газофазный.

Ключевые слова: газофазный способ получения, нанопорошки, производство, диборид титана, диоксид титана, хлорид титана, бор, графит.

Проведен анализ, свидетельствующий о том, что базовыми способами получения диборида титана являются карботермический, магниетермический и газофазный. Эти сведения предполагают наличие многокомпонентной и весьма разнообразной сырьевой базы, охватывающей такие сырьевые материалы, как титан, бор, их оксиды и хлориды, углерод в виде сажи и отходов графита, карбид бора. Анализ российской сырьевой базы показал, что рынок сырья полностью обеспечен российскими фирмами-производителями [1-10].

Карботермический способ включает печное углеродотермическое восстановление оксидов титана и бора, реализуемое в диапазоне температур 1473-2273 К, в следующих вариантах: с использованием компактированной шихты в формирующейся при восстановлении газовой среде и в вакууме, из высокодисперсной и механоактивированной шихты. Как правило, диборид титана подвергается химическому обогащению и может быть получен в виде порошка существенно различного размерного диапазона: от нано- до микроуровня. Близкий по физико-химической сущности к карботермическому карбидоборотермический способ не получил существенного технологического развития, что обусловлено, возможно, необходимостью применения высокостоимостного карбида бора, ранее в России практически не производимого.

Магниетермический способ включает, как правило, внепечное магниетермическое восстановление оксидов титана и бора и химическое рафинирование диборида для удаления свободного магния выщелачиванием соляной кислотой, реализуемое с использованием компактированной шихты и меха-

ноактивированной шихты. Способ обеспечивает получение диборида титана нано-и микропорошкового уровня.

СВС-способ получения диборида титана самостоятельного технологического развития не получил, но может быть весьма перспективен в дальнейшем для производства керамических материалов, содержащих диборид, для применения их в качестве многокомпонентных катодов - мишеней для магнетронного распыления с целью формирования практически на любых материалах защитных покрытий, противостоящих единовременному воздействию повышенных температур, агрессивных сред и различных видов износа. В работе [11] описан успешный опыт получения керамических материалов на основе боридов титана и хрома способом СВС-компактирования.

Механоактивация диборида титана как способ перевода его в наносостояние обычно реализуется в высокоэнергетических мельницах и в настоящее и ближайшее время по своему техническому развитию и производительности будет соответствовать лабораторному уровню.

Газофазный способ получения диборида титана, включающий проведение процесса боридообразования в условиях плазменного потока, является в настоящее время единственным известным вариантом перехода от периодических процессов к непрерывному. Это несомненное технологическое преимущество дополняется возможностью производства диборида в нанокристаллическом состоянии. Нанокристаллический диборид титана занимает устойчивую позицию в нанопродукции, предлагаемой такими известными поставщиками наноматериалов, как «American Elements», «Nanostructured&Amorphous Materials Inc.», «Plasma Chem GmbH», «NEOMAT Co.» [12-16]. Информация, представляемая этими предприятиями, не содержит подробных сведений о технологии получения диборида. Но анализ заявляемых ими характеристик диборида: содержание  $TiB_2$ , наноуровень и методы его определения, отпускная цена указывает на двухстадийный процесс, включающий плазменный синтез и рафинирование полученных диборидсодержащих продуктов. Достигнутые этими производителями показатели позволяют рассматривать плазменный вариант как наиболее перспективный для получения нанокристаллического диборида титана.

Анализ отечественного и мирового рынка диборида титана свидетельствуют о достаточно разнообразных предложениях производителей, ориентирующихся главным образом на поставку диборида титана для конструкционной керамики, функциональных покрытий, решения высокотехнологических исследовательских и прикладных задач. Диборид титана, заявляемый к поставкам фирмами-производителями, существенно отличается по химическому составу, дисперсности, отпускным ценам и объемам поставки. При этом стратегически важный нанопорошковый сегмент рынка полностью закрывается зарубежными поставщиками [58]. Это обуславливает постановку

и решение в качестве приоритетной задачи разработки и развития российской нанотехнологии производства диборида титана.

#### Библиографический список

1. Vestkhimprom [электронный ресурс] URL: <http://vestkhimprom.ru/tag/> (дата обращения 30.11.2016).
2. Polema [Электронный ресурс] URL: [<http://www.polema.net/>] (дата обращения 30.11.2016).
3. Normin [Электронный ресурс] URL: [<http://normin.ru/>] (дата обращения 30.11.2016).
4. NaBond [Электронный ресурс] URL: <http://www.nabond.com/> (дата обращения 30.11.2016).
5. СМЗ [Электронный ресурс] URL: [http://www.smw.ru/product/redm/titan/tetrahlid\\_titana.pdf](http://www.smw.ru/product/redm/titan/tetrahlid_titana.pdf) (дата обращения 30.11.2016).
6. ЮМЭКС [Электронный ресурс] URL: [<http://www.umeks.ru/>] (дата обращения 30.11.2016).
7. БОР [Электронный ресурс] URL: [<http://www.russianbor.com/ru/>] (дата обращения 30.11.2016).
8. Авиабор [Электронный ресурс] URL: [<http://www.aviabor.ru/>] (дата обращения 30.11.2016).
9. Уралинвест [Электронный ресурс] URL: [<http://www.ufa-uralinvest.ru/index.php>] (дата обращения 30.11.2016).
10. ГрафитЭл [Электронный ресурс] URL: [<http://www.graphitel.ru/>] (дата обращения 01.12.2016).
11. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения: Справочник/ Г.В. Самсонов, И.М. Виницкий.- 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия,1976.– 560 с.
12. AMERICAN ELEMENTS [электронный ресурс] URL: [<https://www.americanelements.com/>] (дата обращения 05.12.2016).
13. NanoAmor. [Электронный ресурс] URL: [[www. Nanoamor.com](http://www.nanoamor.com)] (дата обращения 05.12.2016).
14. Plasma Chem [Электронный ресурс] URL: [<http://www.plasmachem.com>] (дата обращения 05.12.2016).
15. Neomat Nano Powders [электронный ресурс] URL: [[www. neomat.lv](http://www.neomat.lv)] (дата обращения 05.12.2016).
16. Маркетинговое исследование рынка нанопорошков [электронный ресурс] URL:[[http://www.fimip.ru/shared/projects/1319/PRJ001319\\_1.pdf](http://www.fimip.ru/shared/projects/1319/PRJ001319_1.pdf)] (дата обращения 06.12.2016).

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА: МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ

Ефимова К.А.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

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

Проведен анализ и систематизация сведений о применении диборида титана в современной технике. Предполагается эффективное применение нанокристаллического диборида титана в качестве компонента керамических материалов для технологии осаждения функциональных наноструктурных покрытий, компонента покрытия катода алюминиевого электролизера.

Ключевые слова: диборид титана, микропорошок, нанокристаллический, металлокерамика, катод алюминиевого электролизера, конструкционные материалы, СВС-способ.

Исследования способов получения, свойств, областей применения диборида титана  $TiB_2$ , получили развитие более 50-ти лет назад научной школой известного российского ученого-материаловеда Самсонова Г.В. Со временем прикладной интерес к дибориду титана растет: в течение последних 10-ти лет в изданиях, индексируемых в базах данных «Scopus» и «Web of Science», размещено 120 публикаций, содержащих технологическую информацию о его производстве и применении.

Можно выделить следующие области применения  $TiB_2$ :

*Металлокермические инструментальные и конструкционные материалы.* Высокая твердость и модуль упругости  $TiB_2$  позволяют эффективно применять его в производстве броневой керамики и заменить высокостойкий карбид бора  $B_4C$  [1].

Введение в сплав  $(Ti,Cr)B_2$  медно-никелевой связки значительно улучшает его прочностные характеристики и позволяет использовать для производства режущего и бурильного инструмента [2]. Сплавы систем  $TiB_2$ -Mo,  $TiB_2$ -Cr обладают высокой жаропрочностью и используются для изготовления разнопрофильных высокотемпературных деталей (детали газовых турбин, металлургических печей и др.) [3].

*Огнеупорные и абразивные материалы.* Высокая термоокислительная устойчивость позволяет эффективно применять порошок  $TiB_2$  в качестве ингибитора окисления в составе высокотемпературного огнеупора на основе композиции  $MgO - C$ , для футеровок кислородных конверторов сталеплавильного производства [4]. Высокая твердость диборида титана позволяет применять его в качестве абразива в составе абразивных паст и шлифовального инструмента, обеспечивающих при обработке пластичных металлов и сплавов более высокую чистоту поверхности, чем шлифование синтетиче-

ским алмазом [5]. Диборид титана в составе оксидной композиции  $Al_2O_3+ZrO_2+TiB_2$ , получаемой СВС-способом, эффективно применяется для финальной обработки-доводки технического стекла [6].

*Напыляемые и наплавляемые материалы.* Диборид титана в составе материалов напыляемых и наплавляемых покрытий, значительно повышает их физико-химические свойства.

Напыление композиционных порошков НХТБ с добавками  $TiB_2$  позволяет увеличить ресурс работы современных двигателей, повысить рабочие температуры отдельных деталей, защитить их от высокотемпературной коррозии и увеличить износостойкость узлов [7]. Напыление плазменным распылителем частиц  $TiB_2$  крупностью 40 – 100 мкм с дистанции 100 мм, позволяет получить износо- и термостойкие покрытия на стали [8]. Защитные покрытия толщиной 0,6-1,2 мм с использованием диборида титана напыляются гидридо-плазменной технологией, разработанной ИФПМ СО РАН, на металлические катоды для создания неугольных катодных материалов [9].

Электродшлаковая наплавка с использованием порошковой проволоки, в состав наполнителя которой входит диборид титана (8-25 %), позволяет получить наплавленный металл с высокой износостойкостью в условиях абразивного износа без ударных нагрузок [10].

*Материалы модифицирующих комплексов.* Введение в расплав алюминия брикетированного нанокристаллического диборида титана, позволяет получать наноструктурированные лигатурные сплавы Al-Cu что способствует измельчению структуры и влияет на прочностные свойства сплава за счет дополнительного легирования алюминиевого твердого раствора [11].

*Керамические материалы для технологии осаждения функциональных наноструктурных покрытий.* Магнетронное распыление СВС-катодовмишеней, полученных на основе боридов титана и хрома, применяется для создания многофункциональных наноструктурных пленок (МНП), обладающих высокой твердостью, прочностью, термической стабильностью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью. Благодаря этим свойствам МНП применяются для защиты поверхности изделия и инструмента от одновременного воздействия повышенных температур, агрессивных сред и различных видов износа: режущий и штамповый инструмент, прокатные валки, детали авиационных двигателей, газовых турбин и компрессоров, подшипники скольжения, сопла для экструзии стекла и минерального волокна и др. [12].

*Материалы смачиваемых покрытий катодов алюминиевых электролизеров.* Эффективность применения  $TiB_2$  в качестве компонента материала покрытия для смачиваемых катодов алюминиевых электролизеров описана в работах [13-15]. Исследовались различные варианты катодных покрытий: горячепрессованные плитки из  $TiB_2$ , композиционное покрытие  $TiB_2$ +связка ( $TiB_2$ +порошок графита+смола/пек; 30-60 %  $TiB_2$  + 40-60 % антрацита + 5-20 % порошка графита + 5-20 % пека;  $TiB_2$  + смола/пек,  $TiB_2$  +  $Al_2O_3$  +  $H_2O$ ). Покрытие с  $TiB_2$  обеспечивает смачивание угольного катода алюминием, имеет высокое сопротивление внедрению натрия, одновременно сочетает

достаточную твердость, прочность на изгиб, износостойкость, сцепление с основой, способствует снижению катодного падения напряжения и повышению катодного выхода алюминия по току. Технологически предпочтительнее применение  $TiB_2$  + связующее. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего развития технологической базы его производства. Диборид титана получаемый традиционными способами (СВС и печной синтеза) имеет размер частиц диапазона 5-10 мкм. Предполагается, что введение  $TiB_2$  в состав суспензии с размером частиц 0,1 – 1 мкм и меньше будет способствовать повышению физико-механических и защитных свойств покрытия.

#### Библиографический список

1. Электронный каталог ГПНТБ России [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит., поступающей в фонд ГПНТБ России. – режим доступа: [[http://www.virial.ru/materials/arm\\_ceramic/](http://www.virial.ru/materials/arm_ceramic/); 3.02.2015] – Загл. с экрана.
2. Murthy T.S.R.Ch. Development and Characterization of  $(Ti,Cr)B_2$  based Composites / T.S.R.Ch. Murthy, J.K. Sonber, K.Sairam, R.D. Bedse // BARC Newsletter, No. 349, 2016, 1-10 pp.
3. Бор, его соединения и сплавы / Г.В. Самсонов [и др.]. – Киев : Изд-во АН УССР, 1960. – 590 с
4. Электронный каталог ГПНТБ России [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит., поступающей в фонд ГПНТБ России. – режим доступа: [[http://unichim.ru/back/tmp\\_file/667039036.pdf](http://unichim.ru/back/tmp_file/667039036.pdf); 3.02.2015] – Загл. с экрана.
5. Бориды: Тематическая консультация для студентов механических специальностей / Сост.: доц. А.Е.Иванцов, доц. Г.А.Рожкова; Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2006, - 19 с.
6. Амосов А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учеб.пособие / А. П. Амосов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов; Под науч. ред. В. Н. Анциферова. - М.:Машиностроение-1, 2007. - 567 с.
7. Уманский А.П. Влияние дисперсных добавок диборида титана на структуру и свойства HVOF - покрытий системы  $(Ni-Cr-Si-B) - TiB_2$  / А.П. Уманский, А.Е. Терентьев, М.С. Стороженко, В.М. Кисель, Ю.И. Евдокименко, В.Т. Варченко // Авиационно-космическая техника и технология, - 2013. - № 9. – С. 188 – 194
8. Горшков Б.Н. Технологический процесс нанесения покрытий из некоторых боридов переходных металлов методом плазменного напыления. Б.Н. Горшков, Ю.П. Кудрявцев, В.С. Лоскутов, В.А. Неронов, В.В. Алексеев/ Порошковая металлургия, - 1980. - №5(209)., С. 73-76
9. Гальченко Н.К. Принципы формирования защитных покрытий на основе диборида титана на поверхности металлических катодов при плазменном напылении. Н.К. Гальченко, В.П. Самарцев, К.А.Колесникова, С.И. Белюк, В.Г. Гальченко/ Вестник ТГУ, - 2013. - т.18, вып.4, С. 1815-1816

10. Артемьев А.А. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла / А.А. Артемьев, Г.Н. Соколов, В.И. Лысак // *Металловедение и термическая обработка металлов*, - 2011. - №12. – С. 32 – 37.

11. Бродова И.Г. Синтез алюминиевых композитов с наноразмерными частицами карбида и борида титана / И.Г. Бродова [и др.] // *Письма о материалах* - 2013 - т.3 – с. 91-94

12. Левашов Е.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез перспективных керамических материалов для технологии осаждения функциональных наноструктурных покрытий/ Е.А. Левашов [и др.]// *Изв. вузов. Цветная металлургия* – 2010 - №5 – с. 27-53

13. Pat. EP2493813 A1 Methods of making titanium diboride powders/ Jianagesh A. Sikhar; publ. 05.09.2012 – 4 p.

14. Subramanian C. Synthesis and consolidation of titanium diboride / C. Subramanian, T.S.R.Ch. Murthy, A.K. Suri// *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – Vol. 25, Issue 4. – 2007. – pp. 345–350

15. Pat. EP 2748119 B1 Titanium diboride granules as erosion protection for cathodes; publ. 30.11.2016 – 6p.

УДК 621.762

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИБОРИДА ТИТАНА В ПОКРЫТИИ КАТОДА АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

**Ефимова К.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

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

Работа выполнена в СибГИУ при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках договора № 7112ГУ/2015.

Проанализированы технологические перспективы применения диборида титана в качестве основного компонента смачиваемого покрытия углеродсодержащих катодов с улучшенными физико – механическими и защитными свойствами.

Ключевые слова: алюминий, диборид титана, электролизер, смачиваемый катод, углеграфитовые материалы

Сплавы алюминия широко используются во многих отраслях машиностроения вследствие их малой плотности и относительно высокой прочности. Непрерывно растет мировое производство первичного алюминия, достигая в настоящее время объема порядка 37,3 млн. т/год [1]. Получают товарный алюминий электролизом фторидного криолит-глиноземного распла-



ва, содержащего растворенный глинозем  $Al_2O_3$ , при температуре  $940\div 970^\circ C$ . Процесс реализуется в горизонтальных электролизерах с углеграфитовыми анодами и катодами. При этом в ваннах электролизеров реальным катодом является расплавленный алюминий, под слоем которого находится углеграфитовая футеровка со сроком эксплуатации 5-8 лет. Главный недостаток такой подины – несмачиваемость расплавленным алюминием. Поэтому между подиной и жидким алюминием накапливается тонкий слой электролита, способствующий проникновению натрия в кристаллическую решетку углеродсодержащих материалов подины и ее разрушению. В связи с этим в последние 20 лет в мировой практике расширяется объем исследований и технологических предложений, направленных на выбор материалов для облицовок футеровок катода, формирования на ней смачиваемых покрытий или производства объемных изделий ее компонентов [2, 3].

В настоящее время наиболее эффективным функциональным материалом для смачиваемых катодов алюминиевых электролизеров признан диборид титана  $TiB_2$ . Это подтверждается результатами масштабных промышленных экспериментов, проведенными в разное время компаниями «Грейт Лейкс», «Рейнольдс Металл» (США), «Комалко» (Австралия), Шеньяньжэнским СВУ (Китай) [2-6]. Исследовались различные варианты катодных покрытий: горячепрессованные плитки из  $TiB_2$ , композиционное покрытие со связкой ( $TiB_2$ +порошок графита+смола/пек; 30-60 %  $TiB_2$  + 40-60 % антрацита + 5-20 % порошка графита + 5-20 % пека;  $TiB_2$  + смола/пек,  $TiB_2$  +  $Al_2O_3$  +  $H_2O$ ). Покрытия наносились на подину плиточной облицовкой, заливкой и уплотнением вибрацией, распылением, окрашиванием. Во всех случаях отмечается снижение катодного падения напряжения (до 15-30 мВ), повышение выхода по току (на 1-2 %), улучшение стабильности энергетических параметров электролизера, снижение повреждений катодных блоков, возможность снижения (примерно на 1 см) междуполусного расстояния (МПП), технологическая предпочтительность применения  $TiB_2$  + связующее.

В зарубежной практике алюминиевого производства материалы для защитных катодных покрытий алюминиевых электролизеров поставляются фирмой «МОЛТЕК» и имеют торговые марки ТИНОР А, ТИНОР М и утолщенный ТИНОР [2]. ОК «РУСАЛ» также проявляет определенный технологический интерес к созданию и промышленному применению смачиваемых катодов. В 2016 г. её Инженерно-технологический центр совместно с крупнейшим российским производителем углеграфитовых материалов «Группа Энергопром» начал производственные испытания электролизеров с защитными покрытиями катодов на основе композиции  $TiB_2$  + пек в условиях АО «РУСАЛ-Красноярск». Некоторые результаты проведенной оценки перспектив освоения и реализации технологии смачиваемого катода в рамках компании приведены в таблице. Оценка проведена для условий 2015 г. из предположения уменьшения МПП на 1 см, повышения катодного выхода алюминия по току на 1 %, снижения падения напряжения в контакте алюминий-подина на 50 мВ, толщины покрытия 8 мм, удельного расхода  $TiB_2$  0,26кг/т

Al и среднего срока службы электролизера 7 лет.

Таблица 1 - Базовые и ожидаемые показатели производства алюминия ОК «РУСАЛ» (Россия) при применении катодов УГ\* - TiB<sub>2</sub>

Показатели производства алюминия	УГ катоды	УГ - TiB <sub>2</sub> катоды
Производство Al, т/год	3600536	3600536
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т. Al	13500	12428
Снижение потерь электроэнергии, кВт·ч/т. Al	-	1072
Годовой расход электроэнергии кВт·ч/т. Al	48607236000	44747461400
Экономия электроэнергии кВт·час/год	-	3859774600
Экономия в денежном, выражении \$/год	-	85134910
Показатели производства алюминия	УГ катоды	УГ - TiB <sub>2</sub> катоды
Эквивалентное производство Al, т/год	-	311375
Удельный расход TiB <sub>2</sub> , кг/т Al	-	0,26
Потребность в TiB <sub>2</sub> , т/год	-	936
Допустимая цена TiB <sub>2</sub> , \$/кг	-	91
* УГ – угляграфитовые материалы		

Годовая потребность в дибориде титана одного алюминиевого завода, например, Хакасского с одной сверхдлинной серией электролиза с напряжением 1600 В и силой тока 350 кА, с количеством установленных электролизеров 336 производительностью порядка 280000 т алюминия в год составляет 72 т.

Таким образом, применение УГ - TiB<sub>2</sub> катодов является мощным резервом энергосбережения в современном алюминиевом производстве, оцениваемом на уровне 10 %. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего развития технологической базы его производства.

#### Библиографический список

1. Галевский Г.В. Металлургия алюминия: справочник по технологии и оборудованию / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 251 с.
2. Serlire M. Cathodes in Aluminum Electrolysis / M. Serlire, H.A. Oye // Dusseldorf: Aluminum – Verlag, - 2010. - 698 p.
3. Li J. Research progress in TiB<sub>2</sub> wettable cathode for aluminum reduction/ J. Li [et al.] // The Journal of The Minerals. – 2008. - Vol. 60, Issue 8. – P. 32–37
4. Pat. EP2493813 A1 Methods of making titanium diboride powders/

Jianagesh A. Sikhar; publ. 05.09.2012 – 4 p.

5. Subramanian C. Synthesis and consolidation of titanium diboride / С. Subramanian, T.S.R.Ch. Murthy, A.K. Suri// International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – Vol. 25, Issue 4. – 2007. – pp. 345–350.

6. Pat. EP 2748119 B1 Titanium diboride granules as erosion protection for cathodes; publ. 30.11.2016 – бр.

УДК 662.74:658.567.1

## **КОКСОВАЯ ПЫЛЬ КХП: ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Пономарев Н.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.**

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

В работе рассмотрены сложившаяся практика и показаны перспективы использования коксовой пыли коксохимического производства (КХП).

Ключевые слова: коксовая пыль, топливный брикет, синтетический шлак.

Использование в качестве сырья высокодисперсных материалов техногенного происхождения, не представляющих ценности и имеющих большие объемы накоплений, является относительно новым, перспективным и отвечающим требованиям ресурсосбережения направлением в технологических процессах. [1,2]. К числу такого рода материалов относится коксовая пыль коксохимического производства.

Коксовая пыль на коксохимических предприятиях получается в процессе любых технологических операций связанных с коксом (рассортировки валового кокса, сухого тушения кокса, перегрузках кокса и т.д.). Применения практически не находит из-за сложности с разгрузкой и транспортировкой. Возможные направления использования:

– возвращение в шихту коксования в количестве 1 % к массе шихты (что обычно уменьшает объем полезной загрузки угольной шихты);

– переработка «на месте» путем применения разных методов уплотнения и фасовки (не получила достаточного распространения из-за отсутствия приемлемых технологий);

– упаковка в тару (мешки).

В целом, из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности коксовая пыль КХП мало пригодна к прямому использованию. Тем не менее, объемы образования коксовой пыли весьма велики, в среднем на одном коксохимическом предприятии около 18000–20000 т/г. Это повышает актуальность проблемы использования коксовой пыли [1-10].

Проведен анализ отечественных литературных источников, в том чис-

ле и патентный поиск по теме исследования.

Современная угольная сырьевая база очень непостоянная по марочному составу и технологическим свойствам, уголь неравномерно поставляется на заводы, а шихта для коксования является многокомпонентной. Колебания качественных показателей шихты не могут быть ликвидированы только путем организационных мероприятий в угольной промышленности. Потому проблема получения доменного кокса из шихты современного марочного состава, который колеблется, с повышенным участием слабоспекающегося угля и угля, который не спекается, при слоевом процессе коксования может быть решена только путем внедрения новых эффективных технологических процессов подготовки этой шихты с повышением плотности загрузки [7, 8].

Для решения этой проблемы можно использовать отходы коксохимического производства в качестве связующего вещества при частичном брикетировании угольной шихты для коксования, что позволит увеличить количество слабоспекающихся марок угля при коксовании и утилизировать жидкоподвижные отходы производства. Частичное брикетирование является способом уплотнения угольной шихты и добавки связующих веществ. Увеличение плотности шихты при этом составляет 800–870 кг/м<sup>3</sup>, приводит к повышению прочности кокса [7, 8].

Коксовую пыль можно использовать для получения топливных брикетов [9]. Процесс включает смешивание коксовой пыли (с размерами частиц менее 1 мм) со связующим, брикетирование смеси под давлением. В качестве связующего используются техногенные отходы КХП – фусы коксования в количестве 8,0–10 % к массе коксовой пыли. Техническим результатом является получение топливных брикетов повышенной прочности, снижение себестоимости топливных брикетов. Полученные брикеты могут быть использованы в качестве топлива для сжигания в бытовых и промышленных топках, а также для коксования.

Коксовая пыль может быть использована для получения синтетического известково-железистого шлака [10]. Шихта для получения синтетического известково-железистого шлака содержит известковую пыль из отходов известкового производства, коксовую пыль установок сухого тушения кокса и конвертерный шлак или окалину. Шлакообразующие компоненты смешивают, увлажняют, гранулируют до размеров гранул диаметром 0,5–1,27 см, накатывают коксовую пыль на поверхность гранул шихты, сушат и осуществляют термическую обработку сжиганием коксовой пыли в режиме самораспространяющегося горения в потоке воздуха до расплавления и гомогенизации шихты. В результате получается синтетический шлак для рафинирования стали.

Таким образом, коксовая пыль коксохимического производства, помимо непосредственного возврата в производство кокса, может быть использована для получения топливных брикетов и синтетического шлака.

#### Библиографический список

1. Полях О.А. Производство микро- и нанопорошка карбида кремния

на основе техногенного микрокремнезема/ О.А. Полях, В.В. Руднева, Н.Ф. Якушевич, Г.В. Галевский. – Вестник горно - металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. трудов.- Вып. 32.– М.-Новокузнецк: СибГИУ, 2013. - С. 112-131.

2. Полях О.А., Руднева В.В. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. – т 1: Микрокремнезем в производстве карбида кремния (монография) / научный редактор Г.В. Галевский. – М.: Флинта: Наука, 2007. – 248 с.

3. Коновалова Х.А. Экологические аспекты утилизации и применения отходов коксохимического производства / Х.А. Коновалова, О.А. Полях // в сб.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / под общей ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк, СибГИУ, 2016. – С. 330-334.

4. Пономарев Н.С. Некоторые аспекты утилизации и применения промышленных отходов коксохимического производства/ Н.С. Пономарев, Х.А. Коновалова, О.А. Полях// Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. – Москва-Новокузнецк, 2016. – В. 37. – С.199-206.

5. Терентьева И.М. Особенности процесса коксования угольных шихт с использованием отходов коксохимического производства / И.М. Терентьева, О.А. Полях // в сб.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / под общей ред. Л.П. Мышляева. – Новокузнецк, СибГИУ, 2012. – С. 26-29.

6. Ухмылов Г.С. Освоение прогрессивных процессов расширения сырьевой базы коксования за рубежом/ Г.С. Ухмылов // Обзорная информация ин-т «Черметинформация». Серия коксохимическое производство. Вып. 1. – М., 1987. – 45 с.

7. Глущенко И.М. Исследование частичного брикетирования угольной шихты и связующих материалов для заводов Приднестровья / И.М. Глущенко // Кокс и химия, 1988.– С. 27.

8. Дюканов А.Г. Брикетирование угольных шихт перед коксованием и перспективы его совершенствования/ А.Г. Дюканов [и др.]// Кокс и химия, 1990.- С. 13.

9. Патент РФ 2529205, классы МПК: C10L5/06, C10L5/10, C10L5/14, C10L5/28. Способ получения топливных брикетов/ Папин А.В. , Игнатова А. Ю., Кравцов В.П., Макаревич Е.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева" (КузГТУ).- № 2013126134/04; заявл. 06.06.2013; опубл. 27.09.2014. Бюл. № 27

10. Патент РФ 2061060, классы МПК: C21C5/54, C21C5/00, C22B1/24. Шихта для получения синтетического известково-железистого шлака и способ его получения / Маханьков А.В.; Михалев А.А.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Западно-Сибирский металлургический комбинат".- № 92002252/02; заявл. 27.10.1992; опубл. 27.05.1996.

## **КОЛОННЫЕ ФЛОТОМАШИНЫ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Пенкин А.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.**

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

Рассмотрены типы флотационных машин, применяемых в производстве фтористых солей при утилизации угольной пены и других фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства.

Ключевые слова: флотация, аэрация, пульпа, флотационные машины, колонные флотомашин.

Около 20 % от всех отходов, образующихся при производстве цветных металлов в нашей стране, приходится на алюминиевую промышленность. В суммарном объёме отходов, образующихся в ходе производства алюминия, примерно 35 % составляют сырьевые отходы – это отходы, имеющие в своём составе такие компоненты, которые могут быть выделены в процессе переработки в виде вторичного сырья для использования на других предприятиях или в собственном производстве. К основным отходам электролизного производства алюминия относятся: хвосты флотации угольной пены, отработанная футеровка электролизёров, углеродистые шламы и пыль газоочистки.

В настоящее время процесс разделения углеродистой и электролитной составляющих угольной пены чаще всего осуществляется обогащением методом обратной флотации. Аппараты, в которых осуществляется процесс разделения фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства, называются флотационными машинами.

Современный этап развития флотационной техники характеризуется большим разнообразием применяемых флотомашин. Конструкционные особенности флотационных аппаратов в значительной степени определяют технико-экономические показатели процесса, поскольку от конструкции машины зависит эффективность минерализации газовой фазы, а также селективность удаления ценных компонентов из рабочего объёма аппарата.

Классификацию флотационных машин чаще всего производят в зависимости от способа аэрации и перемешивания пульпы. По этому признаку машины разделяют: на механические – перемешивание пульпы и засасывание воздуха осуществляется импеллером; пневмомеханические – перемешивание пульпы осуществляется импеллером, а воздух подаётся принудительно; пневматические – перемешивание и аэрация пульпы осуществляется подачей сжатого воздуха [1].

Переработка угольной пены в настоящее время осуществляется с использованием неэффективных устаревших импеллерных машин. Преимуще-

ствами этих машин являются хорошие гидродинамические параметры, универсальность применения и пригодность для использования в любых технологических схемах, отсутствие потребности в дополнительных источниках воздуха. К недостаткам механических (пневмомеханических) флотомашин относятся: непостоянная аэрационная нагрузка, зависящая от степени износа импеллера и статора, отсутствие регулирования количества воздуха в зависимости от потребностей технологического процесса, сложность конструкции, относительно высокая энергоёмкость и металлоёмкость и т.д.

Современные пневматические флотационные машины подразделяют на:

- аэролифтные (пульпа циркулирует в ванне машины под действием аэролифта и течёт вдоль машины под напором поступающего в машину потока);
- пенной сепарации (пульпа в приёмных желобах подвергается разжижению и аэрации воздухом, эжектируемым при работе брызгал, и воздухом, подаваемым через резиновые пористые трубки, установленные в этих желобах; затем пульпа поступает в пенный слой);
- флотационные колонны (рисунок 1).

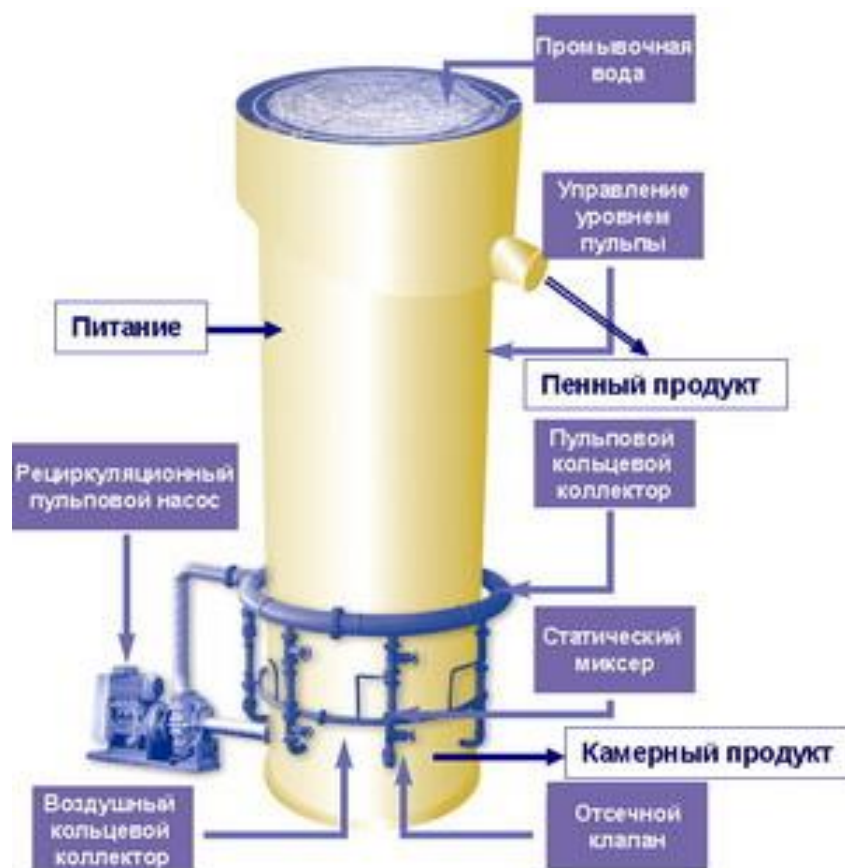


Рисунок 1 – Колонная флотомашина

Высота меняется от 2 до 10 м, а сечение может быть круглым, эллиптическим или прямоугольным. Исходная пульпа по пульпопроводу подаётся в среднюю часть колонны, а воздух из ресивера под необходимым давлением вводится в аэратор.

Флотация в колонне осуществляется при противоточном движении воздушных пузырьков и потоков пульпы. Воздушные пузырьки образуют на поверхности колонны пену, которая орошается для удаления частиц пустой породы водой. При работе колонны скорость нисходящих потоков пульпы должна быть меньше скорости всплывания воздушных пузырьков.

Перспективы внедрения колонных флотомашин с нисходящим пульпо-воздушным потоком на алюминиевых предприятиях обусловлены тем, что при сравнительно высоких качественных и количественных показателях флотации угольной пены, они, в сравнении с импеллерными аппаратами, занимают меньшую площадь, не имеют вращающихся частей и механизмов, потребляют меньше электроэнергии, поддаются полной автоматизации.

Дополнительным преимуществом использования флотационных машин колонного типа является повышенное извлечение в концентрат частиц криолита тонких классов, которое трудно реализовать на действующих механических флотомашин [2].

Первый опыт использования колонных флотационных аппаратов в алюминиевой промышленности был получен на Братском алюминиевом заводе.

#### Библиографический список

1. Куликов Б.П. Переработка отходов алюминиевого производства / Б.П. Куликов, С.П. Истомин. Красноярск: Классик центр, 2004. – 480 с.
2. Черных С.И. Принципы расчета и компоновки пневматических флотационных машин // Цветные металлы. – 1999. – № 5. – С. 87-89.
3. Полонский С.Б. Теория и практика колонных флотационных аппаратов с нисходящим пульпо-воздушным потоком.– Иркутск: ИрГТУ, 2011.– 104 с.
4. Рубинштейн Ю.А. Пенная сепарация и колонная флотация / Ю.А. Рубинштейн, В.И. Мелик, С.Б. Леонов. – М.: Недра, 1989. – 304 с.

УДК 621.762

## **НАНОТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА С БОРОМ И УГЛЕРОДОМ: СОСТОЯНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ**

**Ефимова К.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, email: kafcmet@sibsiu.ru*

Работа выполнена в СибГИУ при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках договора № 7112ГУ/2015.

Представлен аналитический обзор свойств и сфер применения порош-



ков тугоплавких соединений, в частности карбида и борида титана. Изучены перспективы применения нанотехнологий в производстве многофункциональных соединений титана с бором и углеродом –  $TiB_2$  и  $TiC$ .

Ключевые слова: карбиды, бориды, титан, наносостояние, плазмометаллургическое производство, покрытия, керамика, наномодифицирование.

Карбид ( $TiC$ ) титана и борид ( $TiB_2$ ) титана – синтетические материалы, обладающие высокой твердостью, тугоплавкостью, жаропрочностью, износостойкостью. Такой комплекс практически значимых свойств позволяет решать инновационные научно-технологические и конструкторские задачи. Основные свойства и области применения  $TiB_2$  и  $TiC$  представлены в таблице 1.

Таблица 1– Основные свойства и области применения диборида и карбида титана

Основные свойства	$TiB_2$		$TiC$	
	Значение характеристики	Области применения	Значение характеристики	Области применения
Сверхтвердость, микротвердость, ГПа	33	Компонент металллокермаческих твердых сплавов для резания металлов и бурения горных пород; броневая керамика.	29...31	В составе металллокерамических твердых сплавов для обработки резанием деталей; для получистового и получернового точения сталей, цветных металлов, фрезерования сталей и чугунов.
Тугоплавкость, температура плавления, К	3063	Жаропрочные сплавы и изделия (чехлы термопар, плавильные тигли, трубы для перекачки расплавленных металлов).	3523	Керметы для лопастей газовых турбин, роторов; фрикционные диски для самолетостроения; для изготовления направляющих роликов для горячей прокатки стали.

Продолжение таблицы 1

Основные свойства	TiB <sub>2</sub>		TiC	
	Значение характеристики	Области применения	Значение характеристики	Области применения
Сопротивление окислению на воздухе, температура начала окисления, К	1073	Ингибитор в производстве высокотемпературных огнеупоров на основе MgO-C для конвертеров.	1100	Материалы для лопаток турбин реактивных авиационных двигателей, защитных покрытий для сопел и головных частей ракет.
Смачиваемость расплавленным алюминием, краевой угол смачивания, град.	38	Компонент защитных покрытий катодов алюминиевых электролизеров.	149	В качестве диффузионных барьеров при получении карбоалюминиевого композиционного материала.

Новые перспективы применения карбида и бориды титана открываются при использовании его в наносостоянии. Карбид титана применяется при поверхностном модифицировании сплавов, сверхтвердых материалов и др. [1]. Диборид титана - в электролитическом производстве алюминия в качестве компонента смачиваемого покрытия катодов электролизеров, защищающего их от разрушающего воздействия криолитоглиноземного расплава [2].

Результаты исследования плазмотехнологических вариантов получения боридов и карбидов и их реализации достаточно подробно описаны в целом ряде публикаций, изданных в различное время, в том числе последних [3-5].

Разработка и освоение технологии плазмометаллургического производства диборида и карбида титана включает моделирование взаимодействия сырьевого и плазменного потоков, экспериментальное исследование, обсуждение механизма боридо- и карбидообразования, физико-химическая аттестация нанодисперсных продуктов. Ниже приведены уравнения, описывающие зависимость содержания бориды и карбида от основных технологических факторов, допустимые пределы изменения параметров боридо- и карбидообразования в условиях промышленного реактора мощностью 150 кВт и основные характеристики диборида и карбида титана (таблица 2).

$$[\text{TiB}_2] = -152 + 0,04T_0 + 0,005T_3 - 0,13[\text{B}] + 1,66\{\text{H}_2\} - 0,0006T_3\{\text{H}_2\} \quad (1)$$

$$[\text{TiC}] = 17,321 + 0,0105 T_0 - 0,0156 T_3 + 0,18 \{\text{CH}_4\} - 3,43 \{\text{H}_2\} - 0,42\{\text{N}\} \quad (2)$$

где  $T_0$  – начальная температура плазменного потока, К;

$T_3$  – температура закалки продуктов боридо- и карбидообразования;

[B] – содержание бора в шихте (в % от стехиометрически необходимого);

{CH<sub>4</sub>} – количество углеводорода (в % от стехиометрически необходимого);

{H<sub>2</sub>} – концентрация водорода в плазмообразующем газе, % об.;

{N} – количество атомарного азота в плазмообразующем газе (в % от стехиометрически необходимого для образования циановодорода).

Таблица 2 - Допустимые пределы изменения параметров синтеза борида и карбида титана в промышленном реакторе мощностью 150 кВт и их основные характеристики

Параметры синтеза и характеристики	TiB <sub>2</sub>	TiC
Состав газа - теплоносителя, % об.:		
- азот / водород / метан	74/25/1	99/-/1
Технологический вариант синтеза	Ti+B+H <sub>2</sub>	Ti+CH <sub>4</sub>
Производительность по сырью, кг/ч	4,16	3,2
Количество бора в шихте, % от стехиометрического	100-125	–
Количество карбидизатора, % от стехиометрического	–	120-140
Начальная температура плазменного потока, К	н.м. 5400	н.м. 5400
Температура закалки, К	2300-2800	2300-2800
Фазовый состав	TiB <sub>2</sub>	TiC
Содержание основной фазы, %	92-93	93-93,5
Выход основной фазы, %	91,5-92,5	92-92,5
Производительность, кг/ч	4,16	3,7
Интенсивность, кг/ч·м <sup>3</sup>	2447	2105
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	43000	34000
Размер* частиц, нм	36,0	35,0
Форма частиц	Шаровидная	Огран. куб.
Окисленность** нанопорошка x10 <sup>7</sup> , кг O <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>	1,42	4,5
* - рассчитывался по величине удельной поверхности;		
** - определялась после выдержки на воздухе в течение 24 ч.		

#### Библиографический список

1. Кипарисов С.С. Карбид титана: получение, свойства, применение /С.С. Кипарисов, Ю.В. Левинский, А.П. Петров.М.: Металлургия, 1987.216 с.
2. Serlire M. Cathodes in Aluminum Electrolysis / М. Serlire, Н.А. Oye // Dusseldorf: Aluminum – Verlag, - 2010. - 698 p.
3. Ширяева Л.С. Производство и применение карбида титана (оценка,

тенденции, прогнозы) / Л.С. Ширяева, А.К. Гарбузова, Г.В. Галевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. - № 2(195). – С. 100 – 108.

4. Галевский Г. В. Применение плазменного нагрева в производстве высокотемпературных боридов и карбидов / Г. В. Галевский, В. В. Руднева, И. В. Ноздрин, С. Г. Галевский, К. А. Ефимова // Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра: материалы XIV Всеукраинской науч.-практ. конф. (апрель 2016). – Киев, 2016. – С. 248 – 259.

5. Efimova K.A. Synthesis and properties of nanoscale titanium boride / K.A. Efimova, G. V. Galevsky, V. V. Rudneva // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 91 (2015) 012002 doi:10.1088/1757-899X/91/1/012002

УДК 669.716:621.745

## **ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Al-Si**

**Малюх М.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Попова М.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,*

*г. Новокузнецк, e-mail: [maluyh\\_ma@umi.sibsiu.ru](mailto:maluyh_ma@umi.sibsiu.ru)*

Представлены результаты исследований влияния совместного легирования кремнием и медью на температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) алюминиевых сплавов. Установлено, что совместное легирование снижает ТКЛР гораздо эффективнее, чем отдельное легирование кремнием и медью сравнимых концентраций.

Ключевые слова: температурный коэффициент линейного расширения, алюминий, кремний, медь, легирование.

В настоящее время конструкторы предъявляют повышенные требования к материалам, обладающим нужными значениями ТКЛР. Так, для космического приборостроения необходимо сочетание высокой стабильности размеров в широком интервале температур, коррозионной стойкости и малого удельного веса, так как облегчение выводимых на орбиту конструкций и приборов способствует значительной экономии топлива [1].

Этим требованиям отвечают сплавы Al с Si, так как Al – легкий и пластичный металл, обладающий хорошей коррозионной стойкостью. ТКЛР у него достаточно велик ( $\alpha_{0-100} = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), однако легированием кремнием его можно значительно снизить [2]. Кремний легок ( $\gamma = 2420 \text{ кг/м}^3$ ), имеет весьма низкий ТКЛР ( $\alpha_{20-300} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ).

Медь, также как и кремний, является важнейшим легирующим элементом алюминия. Сплавы системы Al–Si–Cu широко применяются в машиностроении как конструкционные материалы и их свойства постоянно повышаются [3]. Авторским коллективом [4] подробно изучались сплавы Al–

Cu, чтобы определить возможность использования Cu в новых композициях легких сплавов с контролируемым тепловым расширением.

Большой предшествующий опыт изучения теплового расширения сплавов Al – Si и Al – Cu позволяет заключить, что они могут иметь широкий спектр ТКЛР (от 22 до  $11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), величина которого, в первую очередь, определяется содержанием легирующих элементов [5]. Поэтому целью настоящей работы являлось исследование возможности уменьшения ТКЛР сплава Al-Si за счет совместного легирования этими элементами.

Наиболее сильное влияние меди на ТКЛР сплавов Al – Si проявляется при больших ее содержаниях. Например, легирование сплава Al – 30 % Si медью в количестве 40% позволяет получить легкий инвар с  $\alpha = 6,0 \div 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . В таблице 1 представлены результаты легирования медью сплавов на основе алюминия (Al – 30÷50 % Si). Полученные тройные сплавы имеют низкий ТКЛР, слабо изменяющийся во всем температурном интервале испытаний.

Таблица 1 – Тепловое расширение алюминиевых сплавов Al-Si-40 % Cu

Сплав	Коэффициент линейного расширения $\alpha \times 10^6 \text{ K}^{-1}$ при температуре, °C								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Al-30%Si	14,0	15,4	15,9	16,6	17,2	18,2	18,2	17,1	16,5
Al-30%Si-40 % Cu	<b>6,1</b>	<b>6,2</b>	<b>6,2</b>	<b>6,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,5</b>	<b>7,6</b>	<b>7,8</b>	<b>8,0</b>
Al-40%Si	12,5	13,3	13,5	13,9	14,5	12,8	11,9	11,7	10,9
Al-40%Si-40 % Cu	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>6,7</b>	<b>6,2</b>	<b>6,3</b>	<b>6,3</b>	<b>6,7</b>	<b>7,0</b>
Al-50%Si	11,13	11,00	10,89	10,90	9,86	9,39	11,90	7,92	7,87
Al-50%Si-40 % Cu	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,6</b>	<b>4,0</b>	<b>3,7</b>	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>4,0</b>

Изучив влияние меди на ТКЛР сплавов Al – Si в широком диапазоне концентраций легирующих элементов, вызывает интерес *совместное влияние кремния и меди при их равном содержании в сплаве*. На рисунках 1-3 представлены результаты по изменению линейного расширения следующих тройных сплавов: Al-20 % Si-20 % Cu, Al-30 % Si-30 % Cu, Al-40 % Si-40 % Cu.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что совместное легирование кремнием и медью гораздо эффективней, чем раздельное легирование сравнимых концентраций.

*Вывод:* Тройные сплавы Al-Si-Cu имеют более низкий ТКЛР, чем двойные сплавы Al-Si и Al-Cu сравнимых концентраций.

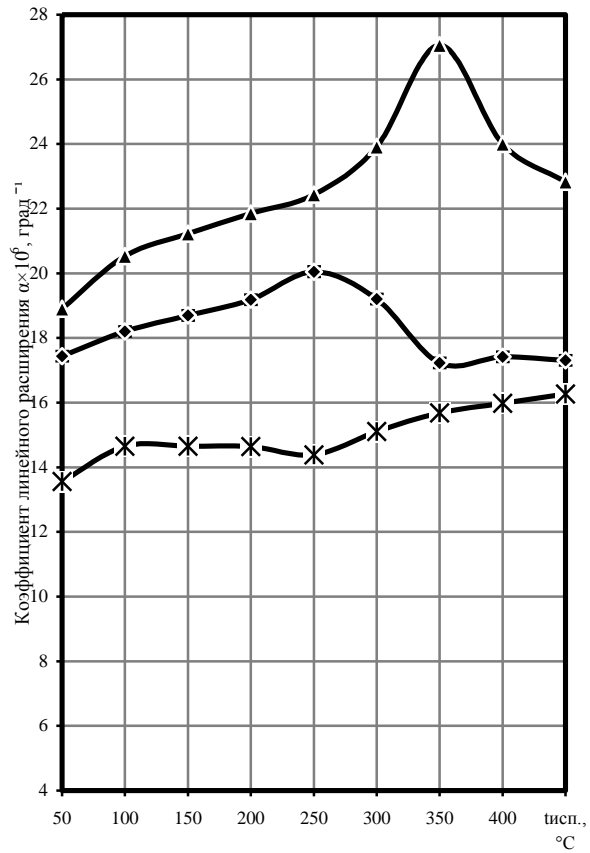


Рисунок 1 - Линейное расширение сплава Al - 20 % Si – 20% Cu

- ◆— Al - 20 % Si
- ▲— Al – 20% Cu
- ✕— Al - 20 % Si – 20% Cu

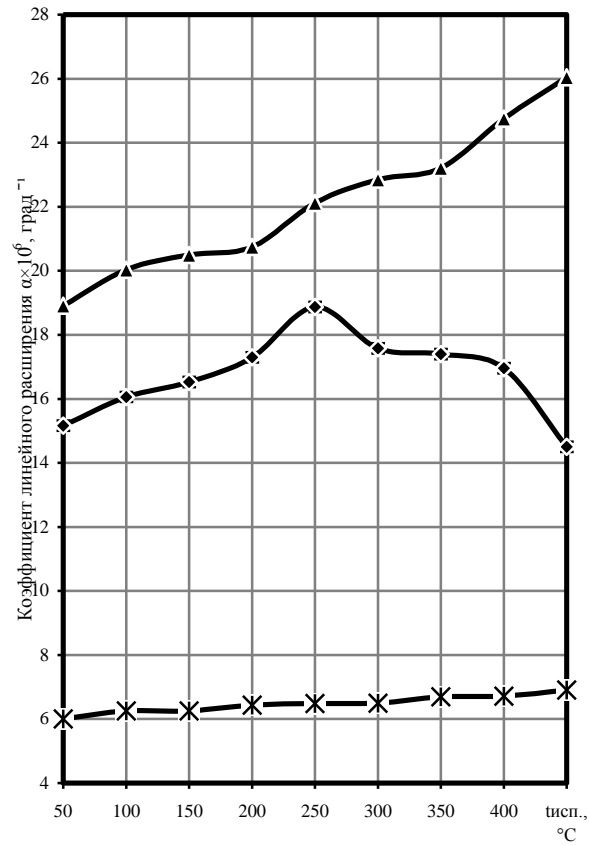


Рисунок 2- Линейное расширение сплава Al - 30 % Si – 30% Cu:

- ◆— Al - 30 % Si
- ▲— Al– 30% Cu
- ✕— Al - 30 % Si – 30% Cu

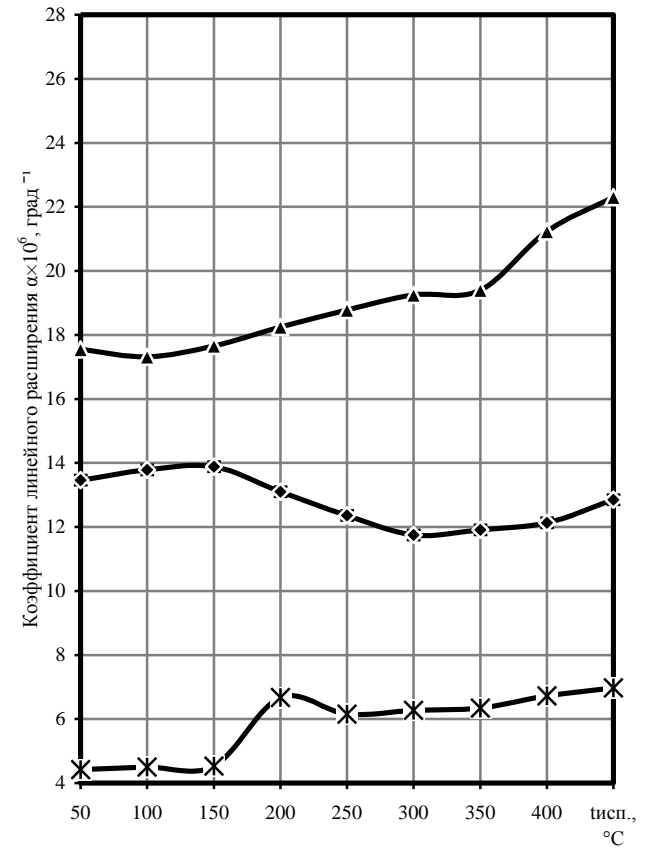


Рисунок 3- Линейное расширение сплава Al - 40 % Si – 40% Cu

- ◆— Al - 40 % Si
- ▲— Al – 40% Cu
- ✕— Al - 40 % Si – 40% Cu

### Библиографический список

1. Афанасьев В.К. Перспективы развития легких сплавов с малым тепловым расширением для космической техники / В.К. Афанасьев, М.В. Попова // *Металлургия машиностроения*. – 2012. – № 6. – С. 8 – 13.
2. Афанасьев В.К. О влиянии кремния на тепловое расширение алюминия А7 / В.К. Афанасьев, А.В. Горшенин, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.А. Старостина (М.А. Малюх). // *Металлургия машиностроения*. – 2010. – № 6. – С. 23-26.
3. Chang-Yeol Jeong. High Temperature Mechanical Properties of Al-Si-Mg-(Cu) Alloys for Automotive Cylinder Heads // *Materials Transactions* – Vol. 54. – 2013. – №. 4. – P. 588-594.
4. Афанасьев В.К. Особенности влияния меди на линейное расширение алюминия А7 / В.К. Афанасьев, А.В. Горшенин, М.А. Старостина (М.А. Малюх), Е.В. Первакова, И.В. Дегтярева // *Металлургия машиностроения*. – 2010 г. – № 3. – С. 30 – 34.
5. Попова М.В. Некоторые пути получения алюминиевых инваров / М.В. Попова; под рук. В.К. Афанасьева // *Обработка металлов*. - 2004. - № 3 (24). - С. 16 - 19.

## IV. ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 669.04674:62.56

### ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОТОПЛЕНИЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ НА ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ

Сафонова Я.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коротков С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: yanamil94@mail.ru*

Проведен расчет вредных выбросов в атмосферу от котла № 9 Западно-Сибирской ТЭЦ при использовании в качестве топлива угля и промпродукта. Вариантом снижения выбросов может быть перевод отопления котлоагрегата с твердого топлива на природный газ.

Ключевые слова: уголь, промпродукт, природный газ, выбросы.

Производство тепловой энергии на источниках теплоснабжения (ТЭЦ и котельных) имеет побочный эффект в виде выброса загрязняющих веществ в атмосферу [1].

Основные выбросы - это твердые частицы золы, оксиды серы ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ), оксиды азота ( $NO_x$ ). Если сгорание топлива прошло не полностью, то в атмосферу выбрасываются такие вещества, как угарный газ (CO), углеводороды CH, и бенз(а)пирен  $C_{20}H_{12}$ . Это целый ряд химических соединений, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду [2].

Для снижения вредных выбросов предлагается изменить способ отопления котлоагрегатов, с переводом их на отопление природным газом.

Котел № 9 Западно-Сибирской ТЭЦ филиала АО ЕВРАЗ ЗСМК относится к типу Е-420-140, имеет следующие характеристики:

1. Паропроизводительность, т/ч	420
2. Давление пара в барабане, кгс/см <sup>2</sup>	155
3. Давление перегретого пара, кгс/см <sup>2</sup>	140
4. Температура перегретого пара, °С	545
5. Температура питательной воды, °С	230

Отопление котла осуществляется углем марки ГЖ ОК – 2 шахты Распадской, и промпродукта ЦОФ ЗСМК. Состав горючих масс угля и промпродукта представлены в таблице 1.



Таблица 1 - Состав горючих масс угля и промпродукта

Уголь ГЖ ОК – 2, ш. Распадская		Промпродукт ЦОФ ЗСМК	
Вещество	Содержание, %	Вещество	Содержание, %
C	79,5	C	79
H	5,8	H	6,4
O	12,8	O	12,5
N	1,48	N	1,84
S	0,42	S	0,26

Зольность и влажность топлива составляют 26,45 % и 2,62 % для промпродукта, 19,36 % и 16,81 % – для угля соответственно. Для очистки газов от взвешенных частиц при работе котлов II очереди на твердом топливе установлены электрофильтры типа ПГДС-4×70 – 4 шт, и УГ-2-4×74 – 6 шт.

Состав природного газа, %:

93,2 CH<sub>4</sub>; 0,7 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 0,6 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; 0,6 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>; 4,9 N<sub>2</sub>.

Расчет образования вредных выбросов при работе котлоагрегата на твердом топливе и природном газе выполнен при условии равной тепловой мощности, затраченной на выработку 1 тонны пара по методике [3]. Результаты расчета приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 - Количество образующихся вредных веществ при сжигании угля и газообразного топлива

Компонент	Выброс вредных веществ при сжигании угля, т/ча	Выброс вредных веществ при сжигании природного газа, т/час	Сокращение, т/час
Диоксид азота	0,25	0,0000338	0,24996
Оксид азота	0,04	0,00021	0,03979
Ангидрид сернистый (SO <sub>2</sub> )	0,46	-	0,46
Оксид углерода	1,27	0,001	1,269
Твердые частицы	0,913	-	0,913
Бенз(а)пирен	0,00000127	0,00000115	0,12
всего	2,93	0,0012	2,9288
Сокращение выбросов %			99,959

Таблица 3 - Количество образующихся вредных веществ при сжигании промпродукта и газообразного топлива

Компонент	Выброс вредных веществ при сжигании промпродукта, т/час	Выброс вредных веществ при сжигании природного газа, т/час	Сокращение, т/час
Диоксид азота	0,22	0,0000338	0,219966
Оксид азота	0,035	0,00021	0,03479
Ангидрид сернистый (SO <sub>2</sub> )	0,4	-	0,4
Оксид углерода	1,104	0,001	1,103
Твердые частицы	0,79	-	0,79
Бенз(а)пирен	0,00000117	0,00000115	0,02
всего	2,55	0,0012	2,5488
Сокращение выбросов %			99,952

Анализ результатов произведенных расчетов позволяет сделать следующие выводы: использование природного газа, в качестве топлива позволяет существенно сократить массу выброса вредных веществ в атмосферу; при сжигании природного газа отсутствуют такие вредные выбросы как зола и сажа (твердые частицы), а также оксиды серы; выбросы вредных веществ могут сокращаться до 99 % при переводе отопления котлоагрегата с угля и промпродукта на природный газ.

#### Библиографический список

1. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / В.В.Абрамов и др.; под общей ред. В.Я. Путилова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.– 388 С.: ил.
2. С.Г. Коротков, Н.Е. Козлова Экологические аспекты добычи и утилизации шахтного метана // Вестник Сибирского государственного индустриального университета: научный журнал / Министерство образования и науки РФ; редкол.: Е.В. Протопопов (гл. ред.) [и др.]. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – № 4(14). – С. 59-63.
3. Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно-допустимый выбросов (ПДВ) для предприятия.– М.: Госкомприрода, 1989.

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ДОМЕННОГО ЦЕХА**

**Садковский В.С.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Павлович Л.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Проведена оценка экологического риска производственной деятельности доменного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» от загрязнения атмосферного воздуха организованных и неорганизованных источников. Выявлено, что неканцерогенный экологический риск превышал приемлемый уровень 4-х источников.

Ключевые слова: экологический риск; доменный цех; организованные; неорганизованные источники выбросов; неканцерогенные и канцерогенные экологические риски.

Все известные технологические процессы, производство чугуна, стали и их последующего передела сопровождаются образованием больших количеств отходов в виде вредных газов и пыли, шлаков, шламов, сточных вод, содержащих различные химические компоненты, скрапа, окалины, боя огнеупоров, мусора и других выбросов, которые загрязняют атмосферу, воду и поверхность земли. Все металлургические переделы являются источниками загрязнения пылью, оксидами углерода и серы [1]. Экологическая обстановка доменного предприятия России неблагоприятна.

В основу нормирования загрязнения окружающей среды, с полной защитой здоровью человека от вредных компонентов в атмосферу предлагается внедрение концепции экологического риска (такая концепция лежит в основе государства экологической политики США с 80-х годов прошлого века) [2].

Экологический риск – вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей природной среде, или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие отрицательного воздействия на окружающую среду.

Изучение экологических рисков, сохранение жизни и здоровья работников в процессе производственной деятельности и снижение давления на окружающую среду за счет уменьшения выбросов в атмосферу доменного производства является актуальной задачей.

Целью работы является исследование экологических рисков от производственной деятельности для здоровья работающего персонала от выбросов в атмосферу доменного производства.

За объект исследования принята промплощадка ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» (Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат) [3].

Оценку риска для здоровья проводили согласно «Руководству по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» [4] по методике, представленной ранее [5-8].

Доменный цех имеет 10 источников организованных и неорганизованных выбросов: аварийное приемное устройство аспирационной системы (АС) № 3 АС-1-2 (источник № 137); литейные двory доменной печи (Д.П.) № 1 (источник № 138); перегрузочные станции 1-2, конвейера АС-1,2,6,7 (источник № 139); здание воздухонагревателей (источник № 140); воздухонагреватели Д.П. № 1-3 (источник № 141); цех водоснабжения (ЦВС) Д.П. № 1 (источник № 142); аварийное приемное устройство № 2 (источник № 143); межконтурное пространство Д.П. № 1-3 (источник № 144); перегрузочные станции 3,4,4в,5,5а (источник № 145); литейные двory Д.П. № 3 (источник № 146).

Выбросы загрязняющих веществ: неканцерогенные вещества – оксид железа, оксид углерода, диоксид серы, пыль  $SiO_2 < 20\%$ , диоксид азота, окись азота, коксоагломерационная пыль, сероводород, оксид магния, оксид кальция, оксид алюминия; канцерогенные – бенз(а)пирен. Результаты расчетов экологического риска представлены в таблице 1. Приемлемый (допустимый) экологический риск (0,02 или 2% на 1000 работающих) дали 6 источников: 140, 141, 142, 143, 145, 146. Остальные 4 источника показали высокий и очень высокий уровень риска. Неканцерогенный риск превышал приемлемый уровень от 1,5 до 4 раза. Наибольший риск показали источники: 137, 138.

Приоритетными неканцерогенными загрязнителями являлись оксид углерода и коксоагломерационная пыль. Особенно наглядно превышение допустимого уровня экологического риска видно на рисунке 1. Максимальные приземные концентрации коксоагломерационной пыли из источников, превышающих допустимый экологический риск, соответствовали  $0,288 \div 0,623 \text{ мг/м}^3$ ; оксида углерода –  $0,27 \div 4,84 \text{ мг/м}^3$ .

Неканцерогенный экологический риск превышал допустимую норму (0,02) 4-х источников выбросов: 137 – более чем в 2,5 раза; 138 – в 4 раза; 139 – в 2,3 раза; 144 – в 1,5 раза. Канцерогенный экологический риск не превышал допустимую норму. Высота источников выбросов не влияла на величину экологического риска. Решение экологических проблем доменного цеха возможно только технологическим путем – усовершенствование процесса доменной плавки.

Таким образом, были выявлены практические значения риска от производственной деятельности ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» и показано, что 4 источника организованных выбросов неканцерогенных веществ превышали приемлемый (допустимый) показатель экологического риска.

Таблица 1 – Экологический риск от выбросов в атмосферу доменного цеха

№	Наименование источника	Вид источника выбросов	Число источников, шт	Высота источника, м	Наименование выбросов	Количество выбросов, г/с	Risk	Уровень превышения приемлемого Risk
137	Аварийное приемное устройство №3 АС-1-2	Труба	2	8	Коксоагломерационная пыль	1,9	0,05	в 2,5 раза
					Общий риск		0,05	
138	Литейные дворы Д.П. №1	Труба	1	60	Оксид железа,	8,75	0,003	в 4 раза
					Пыль $SiO_2 < 20\%$ ,	4,39	0,0000035	
Оксид углерода,	123,38	0,009						
Серы диоксид,	20,56	0,07						
Бенз(а)пирен	0,000578	0,0000001						
Общий риск		0,08						
139	Перегрузочные станции 1-2, конвейера АС-1,2,6,7.	Труба	4	18	Коксоагломерационная пыль	7,66	0,046	в 2,3 раза
					Общий риск		0,046	
140	Здание воздухонагрев.	Фонарь	3	37	Оксид углерода	4,85	0,0003538	Низкий
					Общий риск		0,0003538	
141	Воздухонагрев. Д.П. № 1-3.	Труба	3	85	Пыль $SiO_2 < 20\%$	0,76	0,000002	Приемлемый риск
					Оксид углерода	204,91	0,0009	
Серы диоксид	3,18	0,0003						
Азота диоксид	2,55	0,02						
Окись азота	0,41	0,00003						
Бенз(а)пирен	0,000011	$0,2 \cdot 10^{-7}$						
Общий риск		0,02						
142	ЦВС ДП №1.	Труба	1	60	Коксоагломерационная пыль	0,151	0,000516	Низкий
					Общий риск		0,000516	

Продолжение таблицы 1

№	Наименование источника	Вид источника выбросов	Число источников, шт	Высота источника, м	Наименование выбросов	Количество выбросов, г/с	Risk	Уровень превышения приемлемого Risk
143	Аварийное приемное устройство №2.	Труба	17	8	Коксоагломерационная пыль	7,66	0,001	Низкий
					Общий риск			
144	Межконтурное пространство Д.П. №1-3.	Газ сбросной клапан	6	82	Коксоагломерационная пыль	0,39	0,0276	в 1,5 раза
					Оксид углерода	79,69	0,00251	
					Сероводород	0,0017	0,0000007	
					Бензапирен	0,000042	0,0000001	
Общий риск			0,03					
145	Перегрузочные станции 3,4,4в,5,5а.	Труба	12	23	Коксоагломерационная пыль	45,77	0,02	Приемлемый риск
					Общий риск			
146	Литейные дворы Д.П. №3.	Фонарь	1	60	Оксид железа	10,10	0,0013048	Низкий
					Оксид магния	0,07	0,00032	
					Оксид кальция	0,20	0,0005	
					Оксид алюминия	0,05	0,00063	
					Пыль SiO <sub>2</sub> <20%	5,07	0,0000052	
					Оксид углерода	112,99	0,0005882	
					Серы диоксид	18,83	0,0019766	
					Общий риск			
Общий риск по цеху							0,25327	



Рисунок 1 – Зависимость значения риска от источника выбросов в атмосферу доменного цеха

#### Библиографический список

1. Большина Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012.– 155 с.
2. Ваганов П.А. Применение концепции экологического риска в природоохранном законодательстве США/// Правоведение, 2001.– № 5.– С. 84-89.
3. Бланк инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха промплощадки ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Новокузнецк, 2011.– 53 с.
4. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки (Р2.2.1766-63).– М.: Гигиена труда, 2003.– 12 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – М.: Ленинград. Гидрометеиздательство, 1987.– 97 с.
6. Щербо А.П. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска/А.П. Щербо, А.В. Киселев, К.В. Негриенко - СПб., 2002. – 376 с.
7. Павлович Л.Б. Оценка экологического риска от производственной деятельности коксохимического производства/ Л.Б. Павлович, Е.В. Медведская, Д.В. Суржигов, В.Г. Лупенко - Кокс и химия, 2013. –№ 5. – С.30-40.
8. Павлович Л.Б. Снижение давления на окружающую среду на базе расчетов экологического риска / Л.Б. Павлович, А.А. Осокина, Д.В. Суржигов, В.Г. Лупенко – Кокс и химия, 2016.–№ 9.– С. 40-48.

## **ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОЗОЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ТОПЛИВО МЕТОДОМ МАСЛЯНОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

**Злобина Е.С.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Папин А.В.,  
канд. биол. наук, доцент Игнатова А.Ю.**

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва,  
г. Кемерово, e-mail: Zlobina94@mail.ru*

Метод масляной агломерации позволяет решить проблему накопления промышленных отходов, улучшить экологическую обстановку в городах и регионах, использовать низкокачественные угольные отходы и получать из них продукт, который в дальнейшем может использоваться в энергетической и коксохимической промышленности.

Ключевые слова: углемасляный концентрат, угольные шламы, переработка, отходы.

Переработке отходов производства уделяется большое внимание, особенно в последнее время. Возможность экономии ресурсов, создания нового продукта на основе отработанного сырья являются весьма привлекательными аспектами. Ввиду этого, в производственный процесс всё активнее внедряются технологии и оборудование, позволяющие сделать производство практически безотходным, наносящим минимальный вред окружающей среде и наибольшую пользу для общества.

Отходы угольной отрасли наносят непоправимый ущерб окружающей среде. Водоемы, воздух загрязнены мелкими частицами пыли и минеральных примесей, которые уносятся ветром и дождевой водой с полигонов и хранилищ тонкодисперсных угольных отходов. Возникает дисбаланс в экосистемах, нарушаются естественные круговороты в природе. Страдает фауна: животные лишаются привычной среды обитания, от вибрационного и шумового загрязнения они вынуждены мигрировать и искать новые места жительства.

Учитывая масштабы высокой угледобычи в Кемеровской области (в 2016 г.- 227,4 млн. т) и достаточно высокую производительность углеобогачительных фабрик, количество образующихся отходов составляет значительную цифру. Департамент угольной промышленности региона сообщил в начале 2017 года, что за 2016 год объем угля, переработанного на углеобогачительных фабриках, составил 159, 8 млн. т, и было получено 73, 1 млн. т концентрата [1]. Остальное количество (более 80 млн. т) представляет собой неликвидную продукцию. Возможность перевода хотя бы части этих отходов в полезное сырьё, позволит сделать угледобывающую и углеперерабатывающую отрасль более эффективной, прибыльной и привлекательной для



инвесторов. Сократится величина ущерба, наносимого данной отраслью промышленности на здоровье населения и окружающую среду.

Рассмотрим подробнее технологию переработки отходов угольного производства методом масляной агломерации. Данный метод является эффективным при обогащении тонкодисперсного сырья, что доказано рядом экспериментов. Выход концентрата составляет до 85 %. Метод применим для обогащения тонкодисперсных угольных шламов, угольной и коксовой пыли, технического углерода и другого аналогичного сырья [2-4].

Для исследования физико-химических свойств исходного сырья был проведён технический анализ по гостированным методикам для каменного угля: влага аналитическая ( $W^a$ )-ГОСТ 11014-2001, зольность ( $A^d$ )-ГОСТ 11022-95, выход летучих веществ ( $V_t^{daf}$ )-ГОСТ 6382-2001, теплота сгорания ( $Q_s^r$ )-ГОСТ 147-95, общая сера ( $S_t^d$ )-ГОСТ 2059-95. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технический анализ исходных углеводородных отходов

Наименование	мас. %				$Q_s^r$ , ккал/кг
	$W^a$	$A^d$	$V_t^{daf}$	$S_t^d$	
Угольный шлам	1,2	45,3	24,1	0,5	6250-6500
Коксовая пыль	1,74	16,66	3,5	0,42	7280-7430
Пиролитический углерод	1,18	15,8	8-12	3,4	6390-6650

После обогащения по методу масляной агломерации с применением в качестве связующего реагента отработанного машинного масла был проведён повторной технический анализ, только теперь уже углемаляного концентрата. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты технического анализа углемаляного концентрата

Наименование концентрата	мас. %				$Q_s^r$ , ккал/кг
	$W^a$	$A^d$	$V_t^{daf}$	$S_t^d$	
из угольного шлам	2,0	5,8	24,4	0,33	6540-6770
из коксовой пыли	3,9	4,5	3,3	0,3	7550-7580
из пиролитического углерода	7,5	4,6-5,1	8,0-12,0	1,5	6500-6600

Основными факторами, влияющими на выход готового продукта (его количество и качество) и эффективности метода в целом являются аппаратное исполнение процесса, исходное сырьё, время обогащения и связующий реагент.

Значительное снижение зольности всех образцов доказывает эффективность метода масляной агломерации для обогащения тонкодисперсного

углеродсодержащего сырья.

Полученные концентраты могут использоваться как основа для получения твёрдого (брикетированного) топлива [2], а также как высококалорийная низкосольная добавка к углю. По теплотворной способности углемаляный концентрат не уступает сортовому углю: концентрат – 6860-6980, а иногда и до 8500 ккал/кг, уголь – 6200-6700 ккал/кг. Эти цифры могут варьироваться в зависимости от обогащаемого сырья, исходного содержания в нём углерода. Не исключено сочетание концентрата с шихтой для коксования, так как их характеристики идентичны [2,3].

Получаемый углемаляный концентрат, по анализу внутреннего рынка, будет стоить практически в 2 раза дешевле своего прямого аналога – концентрата из рядового угля. Это указывает на целесообразность и экономическую эффективность переработки угольных шламов по методу масляной агломерации. Переработка тонкодисперсных угольных отходов снизит техногенную нагрузку на окружающую среду.

*Исследования поддержаны грантом программы У.М.Н.И.К.-2014. Договор № 3821ГУ1/2014 от 17.10.2016*

*Исследования выполнены в рамках государственного задания № 10.782.2014/К.*

#### Библиографический список

1. ТАСС. Информационное агентство России. Добыча угля в Кузбассе в 2016 г. выросла более чем на 5%, до 227, 4 млн.т [Электронный ресурс]. – Режим доступа - <http://tass.ru/tek/3935523>.

2. Папин А.В. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки / А.В. Папин, А.Ю. Игнатова, А.В. Неведров, Т.Г. Черкасова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 43-49.

3. Папин А.В. Расширение сырьевой базы коксохимических производств / А.В. Папин, А.В. Неведров, Е.В. Жбырь // Вестник КузГТУ. - 2010. - №4. - С. 136-137.

4. Popov V. Composite fuel based on residue from tyre and secondary polymer pyrolysis / V. Popov, A. Papin, A. Ignatova, A. Makarovskikh // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 20. Сер. "XX International Scientific Symposium of Students, Postgraduates and Young Scientists on "Problems of Geology and Subsurface Development"/ - 2016. - С. 012065.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Брызгалова А.Ю., Семичева И.Р.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Павлович Л.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Выполнена информационно-патентная проработка и проведен анализ содержания тяжелых металлов в сточных водах металлургического предприятия.

Ключевые слова: черная металлургия, сточные воды, загрязнение, окружающая среда, гидросфера, токсичность, здоровье, мониторинг, очистка, металлургическое производство, тяжелые металлы: алюминий, железо, марганец, медь, молибден, никель, хром, цинк.

Состояние окружающей природной среды является важнейшим фактором, определяющим жизнедеятельность человека и общества. Высокие концентрации многих химических элементов и соединений, обусловленные техногенными процессами, обнаружены в настоящее время в атмосфере, в воде, в почве, а также в растениях [1, 2].

Одним из сильнейших по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением является загрязнение тяжелыми металлами. Тяжелые металлы в качестве загрязнителей окружающей среды уже сейчас занимают второе место по степени опасности, уступая пестицидам и значительно опережая такие широко известные загрязнители, как двуокись углерода и серы.

На сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой более 40, или химические элементы с удельным весом выше  $5 \text{ г/см}^3$ : V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. [3, 4].

Опасность загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами объясняется, прежде всего, широким спектром их действия на организм человека. Тяжелые металлы влияют практически на все системы организма, оказывая токсическое, аллергическое и канцерогенное действия [5].

Проблема загрязнения тяжелыми металлами водной оболочки Земли как никогда становится актуальна, так как поступление их в гидросферу среду связано с активной деятельностью человека. Такие отрасли промышленности как черная и цветная металлургия занимают лидирующие позиции по загрязнению сточных вод тяжелыми металлами [7, 8].

На примере АО «ЗСМК», был проведен анализ содержания тяжелых металлов в сточных водах металлургического производства.

АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический

комбинат» – одно из крупнейших предприятий черной металлургии страны с полным металлургическим циклом. Основным видом деятельности является производство металлопроката строительного и машиностроительного ассортимента.

Западно–Сибирский металлургический комбинат не имеет своих водозаборных сооружений из поверхностных источников. Водохозяйственная система ЗС ТЭЦ – АО «ЕВРАЗ ЗСМК», проектной производительностью 94 750,0 м<sup>3</sup>/час, включает в себя оборотную систему водоснабжения ЗС ТЭЦ и объединенную систему АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с общим комплексом гидротехнических сооружений и коммуникаций.

Источниками водоснабжения АО «ЗСМК» являются водозабор ЗС ТЭЦ на реке Томь, городской водопровод, подземные воды, каптируемые скважинами, система внешнего водооборотного цикла комбината, состоящая из пруда-охладителя и шламонакопителя.

Пруд–охладитель обеспечивает аккумуляцию и отстаивание талых и дождевых вод с территории АО «ЗСМК» и ЗС ТЭЦ с последующим их использованием в оборотном цикле. Пруд–охладитель предназначен для снижения теплового загрязнения и возврата охлажденных сточных вод в производство.

Шламонакопитель АО «ЗСМК» является звеном оборотного цикла гидрозолошламоудаления и служит для складирования твердых промышленных отходов, поступающих по трубопроводным системам гидравлического транспорта, как от собственного производства, так и ЗС ТЭЦ и ЦОФ «Кузнецкая». Система оборотного водоснабжения гидроотвала имеет дебаланс в количестве 67,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут, образующийся за счёт снижения забора осветленной воды потребителями.

Промливневые сточные воды в пруду-охладителе и производственные стоки в шламонакопителе подвергаются механической очистке.

АО «ЗСМК» имеет следующие организованные выпуски сточных вод в водные объекты:

- Выпуск № 1 – сброс продувочных сточных вод из пруда-охладителя комбината по каналу в земляном русле в Антоновскую протоку и далее в р. Томь в объеме 60,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут (22000 тыс. м<sup>3</sup>/год).

- Выпуск № 2 – сброс осветленных дебалансных вод со шламохранилища через отводящий канал в земляном русле в озеро Узкое и далее в р. Томь в количестве 67,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут (24800 тыс. м<sup>3</sup>/год).

Под выполнение природоохранных мероприятий на выпуски №1,2 установлены лимиты сброса на уровне фактического содержания загрязняющих веществ.

В таблицах 1, 2, 3 представлена информация о содержании тяжелых металлов в оборотной системе водоснабжения АО «ЗСМК».

Таблица 1 – Сведения по результатам контроля воды после БХУ

Наименование ингредиента	Размерность	ПДК	Среднее значение за 2014г	Среднее значение за 2015г
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,27	0,61
Железо раст.формы	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,88	8,26
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,016	0,059
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	1	0,018	0,015
Молибден	мг/дм <sup>3</sup>	0,25	< 0,05	< 0,05
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	< 0,05	< 0,05
Хромб+	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,014	0,006
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	1	< 0,05	< 0,05

Таблица 2 – Сведения по результатам контроля шламовой воды отстойника углеобогатительной фабрики (УОФ) КХП

Наименование ингредиента	Размерность	ПДК	Среднее значение за 2014г	Среднее значение за 2015г
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,490	0,468
Железо раст.формы	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,320	1,010
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,162	0,060
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	1	0,019	0,015
Молибден	мг/дм <sup>3</sup>	0,25	< 0,05	< 0,05
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	< 0,05	< 0,05
Хромб+	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,010	0,007
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	1	0,074	0,032

Таблица 3 – Сведения по результатам контроля выпуска №2 (после шламоохранилища)

Наименование ингредиента	Размерность	ПДК	Среднее значение за 2014г	Среднее значение за 2015г
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,268	0,207
Железо раст.формы	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,19	0,16
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,02	0,042
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	1	0,00058	0,00078
Молибден	мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,058	-
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	<0,005	<0,005
Хромб+	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,0044	0,0039
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	1	0,0186	0,0153

По значениям, представленным в таблицах, можно сделать вывод о том, что содержание алюминия по результатам контроля воды после БХУ превышает значения ПДК на  $0,11 \text{ мг/дм}^3$  в 2015 году, а железо растворимое превышает значения ПДК на  $0,58 \text{ мг/дм}^3$  в 2014 году и на  $7,96 \text{ мг/дм}^3$  в 2015 году.

По результатам контроля шламовой воды содержание марганца в 2014 году превысило ПДК на  $0,062 \text{ мг/дм}^3$ , а железо растворимой формы в 2014 году превысило ПДК на  $0,02 \text{ мг/дм}^3$  и  $0,71 \text{ мг/дм}^3$  в 2015 году соответственно.

Из результатов контроля выпуска №2 (после шламохранилища) видно, что содержание тяжелых металлов не превышают ПДК.

Таким образом, исследование содержания тяжелых металлов в сточных водах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» показало, что сброс осветленных дебалансных вод со шламохранилища через отводящий канал в озеро Узкое и далее в реку Томь полностью соответствует значению ПДК, очистка от тяжелых металлов является эффективной.

#### Библиографический список

1. Чикенева И.В. Особенности накопления тяжелых металлов в изучаемых растительных сообществах и их воздействие на окружающую среду / И.В. Чикенева // Известия ОГАУ. – 2013. – № 2. – С. 228-231.
2. Позняк С.С. Содержание тяжелых металлов Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co и Sn в почвах / С.С. Позняк / М.: «Проблемы региональной экологии» № 6, 2011.
3. Онищенко Г.Г./ Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин и др. // М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. - 408 с. - Библиогр.: С.305-324.
4. Зиятдинов Н.Н. Системный подход к повышению эффективности биологической очистки промышленных сточных вод / Н.Н. Зиятдинов // Казань, 2011.- 39с.
5. Гордин, И.В. Технологические системы водообработки / И.В. Гордин, -Л.: Химия, 2013, -264с.
6. Жмур Н.С. / Технологические и биологические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками // М.: Акварос, 2003. – 512с.
7. Ковалева, Н.Г. Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности/ Н.Г. Ковалева, В.Г. Ковалев// М.: Химия, 2011.- 160с.
8. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении/ А.М. Когановский, Н.А.Клименко, Т.М. Левченко, и др.- М.: Химия.- 2012.- 288с.

## **СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ Г.НОВОКУЗНЕЦКА**

**Рогозина А.В., Обголец Е.О.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Павлович Л.Б.**

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

В работе представлены результаты исследования патентно-информационных источников по содержанию тяжелых металлов в почвах их свойствам и особенностям. Представлен атомно-эмиссионный спектрографический анализ почв и сухого остатка снега города Новокузнецка на содержание тяжелых металлов. Показано, что содержание тяжелых металлов в почвах города Новокузнецка превышают ПДК.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвы, сухой остаток, снег, ПДК, атомно-эмиссионная спектроскопия, анализ, превышение ПДК.

Тяжелые металлы стоят на одном из первых мест по токсичности среди загрязняющих веществ, за которыми необходимо вести наблюдения в каждой из сред. Почва - основная среда, в которую проникают тяжелые металлы из атмосферного воздуха и вод. Она же является вторичным источником загрязнения атмосферы и водной среды, попадающих из неё в Мировой океан. Также проблема загрязнения почв состоит в том, что растения впитывают в себя тяжелые металлы, а затем употребляются в пищу как человеком, так и животными [1].

Современное промышленное производство постоянно улучшается и модернизируется, в связи с этим появляется необходимость прогноза и знание закономерного распределения тяжелых металлов в атмосфере и литосфере. Для получения таких данных, осуществляется постоянный мониторинг содержания тяжелых металлов почве и атмосфере, это позволяет следить за поступлением тяжелых металлов в окружающую среду.

Почва – это место наибольшего скопления тяжелых металлов, в ней они могут находиться в различных химических соединениях. В почвенном растворе химические соединения присутствуют в форме свободных катионов и ассоциатов с компонентами раствора. В твердой части почвы они находятся в форме обменных катионов и поверхностных комплексных соединений, в виде примесей глинистых минералов, в форме собственных минералов, устойчивых осадков малорастворимых солей [2, 7].

Если рассматривать твердые металлы с точки зрения таблицы Менделеева, то их число составит свыше 40 элементов, чьи атомные массы выше 50 атомных единиц, или элементы, чей вес выше 5 г/см<sup>3</sup>. Но нужно отметить, что не все тяжелые металлы несут одинаковую опасность для живых организмов. По классу опасности, токсичности и способностью к накоплению признаны такие металлы, как ртуть, молибден, свинец, цинк, олово, ко-

бальт, никель, кадмий, никель и медь [3].

На перемещение тяжелых металлов оказывает влияние не только специфика поверхности твердых фаз, но и инфильтрационные характеристики почв. Процесс трансформации поступивших в почву тяжелых металлов включает следующие стадии:

- преобразование оксидов металла в гидроксиды (карбонаты, гидрокарбонаты);

- растворение гидроксидов тяжелых металлов (карбонатов, гидрокарбонатов) и адсорбцию соответствующих катионов металла твердыми фазами почв;

- образование фосфатов тяжелых металлов и их соединений с органическим веществом почвы [4, 8].

В данный момент, человечество имеет большие познания о распространении в различных видах почвы таких металлов, как Cu, Zn, Co и Mo и др. К сожалению, о редких и рассеянных элементах (Cr, Hg, Pb, Cd, Sn) информации мало, хотя именно они являются опасными загрязняющими веществами. К тому же, мы не можем исключать того факта, что существуют химические элементы, еще не найденные и не установленные. Так же в почвах содержащиеся тяжелые металлы могут вступать в химическую реакцию друг с другом, при этом создавая совершенно новые элементы и соединения. Накопление тяжелых металлов в почве обусловлено влиянием ряда взаимосвязанных процессов, включающих круговороты органического и неорганического вещества, окислительно-восстановительные реакции, осаждение, растворение, адсорбцию и десорбцию [5].

С помощью атомно-эмиссионного анализа в СибГИУ был проведен анализ проб почвы и сухого остатка снега г. Новокузнецка, отобранных в течении года. Результаты анализов приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Атомно-эмиссионный спектрографический анализ сухого остатка снега

Элементы	Массовая доля элементов		ПДК, м <sup>2</sup> /кг (почвы)
	%	Мг/кг	
Mn	0,05-0,7	500-7000	1500
Ni	0,002-0,03	20-300	4
Cu	0,01-0,1	100-1000	3
As	0,003-0,01	30-100	3
Cr	0,02-0,3	200-2000	6
Pb	0,01-0,03	100-300	32-130
Cd	0,0003-0,0007	3-7	0,5-2
Mo	0,0003-0,001	3-10	10,0
Sb	0,01-0,02	100-200	4,5
Sn	0,001	10	4,5
Co	0,0003-0,0007	3-7	5,0
W	<10 <sup>-3</sup> -0,001	10-10	10,0
Zn	0,05-1,0	500-10000	23



Таблица 2 – Атомно-эмиссионный спектрографический анализ почв

Элементы	Массовая доля элементов		ПДК, м <sup>2</sup> /кг (почвы)	Превышение ПДК
	%	Мг/кг		
Mn	0,1-10	1000-10000	1500	0,66-6,66
Ni	0,001-0,1	10-1000	4	2,5-2500
Cu	0,001-0,02	10-200	3	3,3-66,7
As	0,003-0,01	30-100	2	15-50
Cr	0,005-0,1	50-1000	6	8,3-27,8
Pb	0,002-0,1	20-1000	130	< -7,7
Cd	0,0003-0,001	3-10	7	< -1,4
Sb	0,003-0,1	30-1000	4,5	6,6-2222
Zn	0,001-0,5	10-5000	23	< -217

В снеге г. Новокузнецка, отобранном в ноябре месяце присутствует все тяжелые металлы: Mn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd, Sb, Zn и др. Всего обнаружено 13 элементов с содержанием от 3 до 10000 м<sup>2</sup>/кг. ПДК для снега не установлены. Если сравнивать с ПДК почвы колеблется от 1,4 до 444 раз. Наибольшее превышение наблюдается по Cu, Zn, Sb, Cr, Ni.

В почве обнаружено 9 тяжелых металлов: Mn, Ni, Cu, Cr, Pb, Zn, Cd, Sb. От 3 до 10000 м<sup>2</sup>/кг. Наиболее значительное содержание отмечается для Mn, Ni, Cu, Zn. Превышение ПДК наблюдается для всех элементов.

Результаты исследования содержания тяжелых металлов в почвах города Новокузнецка показали, что в условиях урбанизированных территорий почти все химические элементы обладают повышенной нагрузкой на окружающую среду.

Городские почвы имеют повышенное содержание тяжелых металлов в верхнем слое, т.к. выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду по закону гравитации оседают на поверхности почвы, постепенно накапливаясь в ней.

#### Библиографический список

1. Садовникова, Л.К. Экология окружающей среды при химическом загрязнении/ учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2008. – 334 с.
2. Глазовская М.А. Геохимия природных и антропогенных ландшафтов– М.: Изд-во МГУ, 2007. – 350 с.
3. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях.– М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв.– М.: Академ. проект, 2007. – 237 с.
5. Киреева Н.А. Микробиологические процессы в нефте-загрязненных почвах. – Уфа: БГУ, 2005. – 172 с.
6. Орлов Д.С., Садовником Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана

биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 2011. – 168 с.

7. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова - М.: Наука, 2005.– 263 с.

8. Мудрый И.В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения. – М.: Гигиена и санитария, 2008. – 187 с.

УДК 544.47

## **КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ВЫБРОСОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА БАЗЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ**

**Дятлова К.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Павлович Л.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Исследованы металлургические шлаки Кузбасского региона в качестве катализаторов глубокого окисления. Из всех испытанных шлаков каталитической активностью обладают конвертерный (ЗСМК) и селикомарганцевый (ЗСЭЗ) шлаки.

Ключевые слова: металлургические шлаки, катализатор, каталитическая очистка, глубокое окисление, конвертерный шлак, селикомарганцевый шлак.

Защита воздушного бассейна является актуальной задачей. Особенно остро стоит эта проблема на коксохимических предприятиях. При высокотемпературном пиролизе каменного угля и последующем улавливании и переработке химических продуктов коксования образуется в среднем 5-8 кг/т кокса вредных выбросов в атмосферу.

Выбросы при термической переработке угля разнообразны по составу и свойствам, содержат ряд токсичных с экологической точки зрения веществ: монооксид углерода, оксиды азота, сероводород, цианистый водород, оксиды серы, аммиак, фенолы, пиридиновые основания, бензольные углеводороды, ароматические многоядерные соединения, в т.ч. аценафтен, нафталин, метилнафталины, инден, индан, бензанитрил, дифенил, индол, флуарен, антрацен, фенантрен, флуорентан, пирен, бенз(а)пирен и др. [1-3]. Для углекоксовых цехов характерно наличие угольной и коксовой пыли. Для всех выбросов цехов коксования, улавливания, переработки смолы и, имеющих место на ряде коксохимических заводов, цехов окисления нафталина вофта-левый ангидрид, является преобладающими выбросы ароматических веществ, в т.ч. канцерогенных. Особую опасность из которых представляет бенз(а)пирен.

Для обезвреживания выбросов, содержащих органические соединения, наиболее рациональным является метод каталитического окисления, кото-

рый протекает при сравнительно низких температурах (300 – 550 °С), что более экономично, чем термическое сжигание [4–6]. Возможно эффективно проводить процесс при малых концентрациях уделаемых примесей, достигая высокую степень обезвреживания 99–100 %. Процесс осуществляется по непрерывной схеме, обеспечивает стабильную очистку в течение длительного времени и может быть полностью автоматизирован.

Разработан ряд окисных кобальтовых, меднокобальтовых, меднохромовых катализаторов на основе отвальных и передельных металлургических шлаков [7–9].

Для обезвреживания выбросов пиролиза угля особенно важным является подбор катализаторов, что вызвано присутствием в выбросах, наряду с высокомолекулярными органическими соединениями неорганических веществ, таких как  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , паров воды, угольной и коксовой пыли.

Установлено, что аммиак, присутствующий в отработанном воздухе пекоподготовки в количестве  $1,5 \text{ г/м}^3$ , не оказывает влияние на процесс окисления углеводородов [3, 10].

Основное значение имеет постоянное присутствие в коксохимических выбросах значительных количеств сероводорода и оксидов серы. Считается установленным, что причиной дезактивации окисных катализаторов полного окисления в присутствии сернистых соединений является образование сульфатов [11]. В присутствии ароматических соединений идет реакция восстановления сульфатов органическими соединениями с образованием сульфитов, которые термически не устойчивы и разлагаются с выделением  $\text{SO}_2$  и оксида переходного металла.

Испытаны электросталеплавильный восстановленный и электросталеплавильный (кислый) шлаки Новокузнецкого металлургического комбината (НкМК), конверторный и доменный шлаки Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК), отвальный шлак силикомарганца Никопольского завода ферросплавов (НЗФ), силикомарганцевый шлак Западно – Сибирского электрометаллургического завода (ЗСЭЗ) и шлак ферросилиция Кузнецкого завода ферросплавов (КЗФ). Результаты представлены в таблице 1.

Все испытанные шлаки обладают каталитической активностью в реакции глубокого окисления [12]. Она зависит от химического состава, физико-химических свойств, от состава и свойств окисляемого соединения. Каталитическую активность шлаков в реакции окисления органических нейтральных соединений изучали на О-ксилоле. На рядовых конвертерном, доменном, шлаке ферросилиция при 450–500 °С степень окисления О-ксилола составляла 95–100 %, на остальных не превышала 30 % при 550 °С. Аналогичные исследования при окислении нафталина, толуола подтвердили более высокую каталитическую активность рядовых металлургических шлаков в реакции окисления нейтральных ароматических соединений.

Таблица 1 – Химический состав и удельная поверхность исследованных шлаков

Шлак	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Механическая прочность на раздавливание, кг/таблетку	Насыпной вес, т/м <sup>3</sup>	Содержание компонентов, мас. %										
				MnO	FeO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
Электросталеплавильный восстановленный (НкМК)	0,06	24,9	1,9	0,5	2,4	Отс.	0,8	2,7	11,3	40,5	15,3	26,0	0,1	0,3
Конверторный (ЗСМК)	0,8	18,7	1,9	5,2	20,1	Отс.	0,6	1,2	3,8	44,9	4,1	15,0	2,6	0,1
Доменный (ЗСМК)	0,13	10,1	1,1	0,8	0,5	Отс.	0,1	Отс.	16,7	29,3	15,6	35,8	не опр.	0,5
Электросталеплавильный (кислый) (НкМК)	0,07	22,4	Не опр.	3,5	10,2	Отс.	7,1	2,0	7,2	12,4	3,6	28,0	0,1	0,1
Отвальный селеникомарганца (НЗФ)	0,15	11,6	1,3	14,2	0,6	отс.	не опр.	не опр.	10,5	14,3	4,9	44,0	0,005	0,34
Селикомарганец (ЗСЭЗ)	0,15	12,0	1,5	13,01	2,2	отс.	0,008	0,11	11,63	20,01	8,02	40,57	0,02	0,21
Ферросилиция (КЗФ)	0,06	26,7	Не опр.	0,7	6,4	Отс.	0,2	0,2	18,6	12,4	3,9	22,2	0,14	0,04

Каталитическая активность шлаков к различным классам органических соединений неодинакова. Они обладают большей активностью в реакциях глубокого окисления кислых кислородосодержащих соединений: фенолов, индола, фталевого и малеинового ангидрида. Степень их окисления на электросталеплавильном с низкой каталитической активностью при окислении О-ксилола степень окисления фталевого ангидрида при 550 °С, концентрация 5-7 г/м<sup>3</sup> и объемной скорости 10 тыс.ч-1 составляла 96-100 %. В отличие от органических веществ активность шлаков при окислении оксида углерода была значительно ниже, что характерно в основном для тех же шлаков, что и при окислении нейтральных ароматических соединений.

Относительно высокой активностью обладают конвертерный и доменный шлаки, степень окисления оксида углерода на которых при 550-600 °С составляла 30-55 %. Для остальных ее значение не превышает 22 % при 600 °С.

Таким образом, из всех испытанных шлаков наиболее каталитически активным является конвертерный шлак. Этот шлак характеризуется повышенным содержанием каталитически активных компонентов оксидов, а также шпинелей сложного состава. Каталитическая активность исходных шлаков невысока, они могут быть рекомендованы только как катализаторы высокотемпературной очистки кислых выбросов, в частности цеха фталевого ангидрида, окисления H<sub>2</sub>S в SO<sub>2</sub>.

Для повышения каталитической активности шлаки обрабатывали органическими и минеральными кислотами [2]. В результате обработки в поверхностном слое шлака меняются химический состав и структура. С поверхности шлака в раствор переходят оксиды. Удельная поверхность шлака увеличивается с 0,2 до 2-11 м<sup>2</sup>/г.

Преимущество шлаковых катализаторов в их доступности, высокой механической прочности, термостойкости. Шлаки образуются в большом количестве на каждом металлургическом заводе, их активация – сравнительно простой и доступный способ, который при необходимости может быть осуществлен непосредственно на месте использования технологии каталитической очистки выбросов.

Таким образом, в коксохимической промышленности разработаны технологические процессы очистки выбросов от монооксида углерода, многоядерных органических соединений, аммиака, цианистого водорода, подобраны промышленные, разработаны собственные катализаторы применительно к специфичному составу выбросов, подобрано и опробовано оборудование процессов каталитической очистки глубоким окислением.

С внедрением разработанных технологий будет полностью решен вопрос очистки организованных выбросов с воздушников технологического оборудования цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования, УСТК. Остаются нерешенными вопросы очистки: организованных выбросов – дымовых труб, аспирационных и вентиляционных систем; неорганизованных выбросов.

## Библиографический список

1. Малыш А.С. Разработка процесса каталитической очистки выбросов коксохимического производства от азотсодержащих компонентов и углеводородов: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.17.07 - защищена 25.09.86 – Харьков, 1986. –26 с.

2. Павлович Л.Б. Катализаторы глубокого окисления на основе металлургических шлаков / Л.Б. Павлович, Е.И. Андрейков, А.В. Салтанов // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. – Т. 8, №3. – С. 411–416.

3. Павлович Л.Б. Исследование каталитической активности рядовых отвальных шлаков черной металлургии / Л.Б. Павлович, О.О. Медведская // Изв. вузов. черная металлургия. – 2010. №1. – С. 11–15.

4. Медведская О.О. Разработка ресурсосберегающей технологии использования металлургических шлаков в каталитических процессах очистки выбросов: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2012. – 17 с.

5. Павлович Л.Б. Исследования каталитических свойств ферросплавных шлаков / Л.Б. Павлович, О.О. Медведская // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2010. – №10. – С. 3–7.

6. Медведская О.О. Исследование структурно-механических свойств шлаков катализаторов глубокого окисления / Л.Б. Павлович, О.О. Медведская // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2010. №12. – С. 6–9.

7. Медведская О.О., Павлович Л.Б. Исследование каталитической активности шлаков черной металлургии в процессе глубокого окисления различных типов соединений // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2011. – №2. – С. 63 – 98.

8. Медведская О.О. Экологические проблемы металлургического производства и пути их решения / Л.Б. Павлович, О.О. Медведская // Тр. 13-й международной научно-практической конференции экономика, экология и общество России в 21-м столетии. – СПб., 2011.

9. Павлович Л.Б. Применение марганцевых шлаков в качестве катализаторов очистки выбросов производства фталевого ангидрида/ Л.Б., Павлович, Н.А. Морозкина, С.Н. Морозова // Промышленная и санитарная очистка газов. – 1983. – №6. – С. 14 –16.

10. Павлович Л.Б. Каталитическая очистка воздуха от многоядерных органических выбросов / Л.Б. Павлович, Н.А. Морозкина, Е.И. Андрейков, Н.Б. Жилина // Там же. – 1983. – №9. – С. 55 –57.

11. Павлович Л.Б. Использование ванадиевых шлаков в качестве катализаторов глубокого окисления / Л.Б. Павлович, Е.И. Андрейков, Н.Б. Жилина, Е.А. Зполотухин // Тез. докл. V Всесоюзного совещания по химии, технологии и применению ванадиевых соединений. – Чусовой, 1987. – С. 112.

12. Павлович Л.Б. Каталитическая очистка вредных выбросов с применением металлургических шлаков / Л.Б. Павлович, С.Н. Морозова, Е.А. Золотухин // Кокс и химия.-1988. – №10. – С. 50 –52.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ГЛУБОКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФИЛЬТР-ПРЕССА**

**Перегаедова К.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

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

Рассматриваются некоторые проблемы экономии водных ресурсов при обогащении природного сырья.

Ключевые слова: углеобогащение, водные ресурсы, водосбережение, принцип цикличности материальных потоков, очистка воды, фильтр-пресс.

Современное промышленное производство характеризуется нарастающим объемом и разнообразием конечной и промежуточной продукции, увеличением объемов природных ресурсов, вовлекаемых в производственную деятельность, ростом количества и разнообразия отходов, отводимых в окружающую среду. Только в России на поверхности земли ежегодно складывается 4,5 миллиарда тонн отходов производства и потребления.

Сегодня проблема чистой воды, проблема водоотведения, которое обеспечивает очистку вод для того, чтобы отправить их обратно в природную среду, является важной задачей для здоровья людей и для охраны окружающей среды. Проблема экономии и рационального использования водных ресурсов в настоящее время актуальна, как никогда [1].

Ежегодное увеличение денежных выплат за пользование водными ресурсами приводит к тому, что предприятиям становится выгодно реконструировать свои системы технического водоснабжения. В последние годы наметилась тенденция реализации принципа цикличности в существующих хозяйственных системах водоснабжения. В природных экологических системах круговорот веществ практически замкнут, что и определяет принципиальное отличие природных и антропогенных систем [2].

Принцип цикличности предусматривает создание оптимальных технологических схем на базе замкнутых материальных (например, водных) потоков и включает разработку замкнутых водооборотных циклов и организацию бессточных производств по аналогии с природным круговоротом воды.

Как правило, экономия воды при внедрении оборотной системы технического водоснабжения определяется размером штрафных санкций со стороны природоохранных органов. Можно с большой вероятностью предположить, что в дальнейшем будет происходить увеличение штрафов за пользование природной водой, поэтому актуальность вопроса экономии воды будет только расти.

В настоящее время обогащение полезных ископаемых в большинстве случаев осуществляется в водной среде, и на современных обогатительных

фабриках наиболее распространены так называемые мокрые процессы обогащения, в которых раскрытие и разделение минеральных компонентов происходит в водной среде [3].

На углеобогащительных фабриках отходы обогащения и шламы направляются чаще всего в наружные секционные **отстойники**. После заполнения очередной секции осадок уплотняется в течение длительного времени и после достижения влажности не более 45% удаляется грейфером для дальнейшего складирования или использования. Слив отстойников осветляются в илонакопителях. Слив последних, так же как и радиальных сгустителей, возвращается в оборот либо после очистки сбрасывается в поверхностные водные объекты.

Шлам, накапливаемый в отвалах, занимает огромные полезные площади и приводит к загрязнению водоемов, связанному с просачиванием в водоносные горизонты [4].

Вопрос глубокого обезвоживания подобных отходов практически не решен. Для более эффективного решения данной проблемы предлагается замена морально и технически устаревшего оборудования для обезвоживания на высокоэффективное технологическое оборудование, а именно, на камерный фильтр-пресс ХМЖ500.

Фильтр-пресс - это аппарат периодического действия для разделения под давлением жидких неоднородных систем (суспензий, пульп) на жидкую фазу (фильтрат) и твердую фазу (осадок, кек). Фильтр-прессы применяются для фильтрования широкого класса суспензий. Они также пригодны для разделения суспензий с небольшой концентрацией твердых частиц и суспензий с повышенной температурой, охлаждение которых недопустимо вследствие выпадения кристаллов из жидкости. Предлагаемый фильтр-пресс камерный ХМЖ500 обладает следующими преимуществами:

- относительная простота конструкции;
- простота управления;
- низкие требования к квалификации обслуживающего персонала;
- низкое энергопотребление и стоимость эксплуатации;
- широкая область применения;
- высокая эффективность разделения фракций;
- высокая эффективность обезвоживания.

Контроль и управление агрегатом осуществляется автоматически по жёстко заданной программе. Однако в промышленных условиях возможно существенное изменение свойств фильтруемых суспензий (к примеру, концентрации твёрдой фазы, вязкости жидкости, дисперсного состава, а также степени загрязнения фильтрующих перегородок и т.п.). Поэтому для корректировки работы реализуется алгоритм адаптивного управления, что обеспечивает получение требуемого качества фильтрации при одновременном росте производительности более, чем на 20%. Алгоритмы такого типа способны обеспечить оптимальную (при минимальной себестоимости или максимальной производительности) продолжительность всех операций в общем



цикле работы [5].

В таблице 1 представлены технические характеристики фильтр-пресса.

Таблица 1 – Технические характеристики фильтр-пресса камерного ХМЖ500

Наименование показателя	Значение	Общий вид
Площадь поверхности фильтрования, м <sup>2</sup>	500	
Объем камер, м <sup>3</sup> , не более	10	
Размеры фильтровальной плиты, мм	2000x2000	
Количество камер, шт.	78	
Рабочее давление, МПа	1,4	
Мощность электродвигателей маслостанции, кВт	18,5+4	
Мощность электродвигателя передвижки плит, кВт	3	
Габаритные размеры:		
– длина, мм	13100	
– ширина, мм	4160	
– высота, мм	3100	
Масса, кг, не более	58000	

#### Библиографический список

1. [Электронный ресурс]- Режим доступа: [http://waterexpert.ru/news/chistaya\\_voda\\_osnovnaya\\_problema\\_planety](http://waterexpert.ru/news/chistaya_voda_osnovnaya_problema_planety).
2. [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://www.nalvest.ru/nv-articles/detail.php>.
3. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Том 1. Обогачительные процессы Учебник для вузов: В 2 т. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2014. — Т. 1. Обогачительные процессы.- 417 с.: ил.
4. Фридман С.Э., Щербаков О.К., Комлев А.М. Обезвоживание продуктов обогащения. М.: Недра, 1988.- 239 с.: ил.
5. [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://hydrotrend.ru/filter-press/chamber-filter-press/>.

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА МОЛОЧНЫХ ФЕРМАХ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

**Кононова А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: alya11\_11@mail.ru*

Проанализированы перспективы использования тепловых насосов как низкопотенциальных источников энергии на молочных фермах.

Ключевые слова: тепловые насосы, технологические нужды молочных ферм, низкопотенциальные источники энергии, энергосбережение.

В настоящее время перед аграрно-животноводческим комплексом России стоит сложная экономическая задача импортозамещения в связи с экономическими санкциями ряда западных стран. Эта задача может быть успешно решена только при условии наращивания сельскохозяйственных мощностей, что, в свою очередь, затрагивает аспекты энергосбережения и экологии.

Достаточно большая часть непроизводительных расходов любого предприятия – энергообеспечение, в частности, теплообеспечение своих объектов, поэтому использование нетрадиционных источников энергии в этой области является очень перспективным направлением в энергосбережении.

Целью настоящей работы является анализ возможности и эффективности применения технологии нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплообменников и теплового насоса на животноводческих фермах. Дело в том, что тепловые насосы давно и успешно применяются в сфере коммунального хозяйства, но проблема энергообеспечения таких предприятий, как животноводческие комплексы, которые очень часто располагаются вдали от густонаселенных пунктов, имеют свои специфические особенности, которые хорошо учитываются при работе тепловых насосов [1].

Основное потребление теплоты на фермах связано с горячим водоснабжением на нужды общепита, на санитарно-гигиенические мероприятия, а также на технологические нужды. Большое количество нагретой воды различной температуры требуется для приготовления кормов и питья животных в холодное время года, обмывания вымени коров перед доением, промывки молокопроводов, фляг, посуды, молочных резервуаров, пастеризации молока.

Для отопления отдельных помещений животноводческих ферм (родильных отделений и телятников) используют децентрализованное теплообеспечение – местную систему отопления с генератором теплоты. При этом применяют различные теплогенерирующие установки: котлы-парообразователи, работающие на твердом, жидком и газообразном топливе, огневые теплогенераторы или топочные агрегаты, электрокалориферные

установки, тепловентиляторы, отопительно-вентиляционные агрегаты, электроводонагреватели, электропарогенераторы и др.

Перечисленные выше теплогенерирующие установки работают на дефицитном топливе и имеют низкий коэффициент полезного действия, поэтому логично предложить использование высокоэффективной энергосберегающей технологии получения необходимого тепла с помощью тепловых насосов для целей горячего водоснабжения, отопления родильных помещений и телятников, подогрева полов стойловых мест и др. Кроме того, тепловые насосы могут обеспечить одновременное получение холода, необходимого для первичной обработки молока.

Современные животноводческие комплексы оснащены оборудованием с большой потребляемой мощностью. Технологические процессы, осуществляемые на этих комплексах (приготовление кормов, охлаждение и пастеризация молока, подогрев воды для технологических нужд и вентиляция), являются весьма энергоемкими, причем наиболее энергоемкими из них являются процессы охлаждения молока, нагрева воды для санитарно-гигиенических и технологических нужд [2].

Обязательным процессом по применяемой технологической схеме является охлаждение свежесвыдоенного молока. Холодильная машина, которая применяется для охлаждения молока, вырабатывает некоторое количество теплоты, которое не используется как вторичный энергоресурс. В применяемой в настоящее время технологической линии охлаждения молока имеется реальная возможность использования теплоты парного молока.

Главным преимуществом тепловых насосов, в первую очередь, является их экономичность. Тепловые насосы, работая от электричества, не преобразуют его в тепло, а лишь потребляют для работы компрессора при переносе тепла из окружающей среды или обратно. На 1 кВт потребляемой электрической энергии тепловой насос выдает 4 – 7 кВт тепловой или холодовой мощности. Если учесть, что эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую на крупных электростанциях в настоящее время составляет до 50 %, то очевидно, что эффективность использования топлива при применении тепловых насосов повышается, при этом нет проблем с пожарной безопасностью и жесткими требованиями к системам вентиляции: все системы функционируют по принципу замкнутых контуров и практически не требуют эксплуатационных затрат, кроме стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования.

Тепловые насосы экологичны и безопасны, т. к. при их работе не производятся выбросы, приводящие к нарушению озонового слоя и кислотным дождям, отсутствуют аллергеноопасные выбросы в помещения, не расходуется кислород, т. к. топливо не сжигается.

Тепловые насосы универсальны: применяются в качестве системы автономного обогрева, горячего водоснабжения, вентиляции, удаления из помещений излишней влажности, а также охлаждения жилых и производственных помещений в зависимости от сезонных потребностей. К отдельной

функции этого оборудования относится регенерация тепла. Насос может перекачивать избыточное тепло из воздуха промышленных помещений, от холодильных установок, из сточных вод в другие помещения, а также использовать его в других полезных целях.

Еще одним важным преимуществами тепловых насосов является надежность: срок их службы может быть более 50 лет, что существенно больше, чем у котельных, где требуется постоянная смена горелок с периодичностью в 3-5 лет, а также их отличает высокая степень автоматизации, причем обслуживание не требует каких-то особых навыков. Тепловой насос достаточно компактен и практически бесшумен при работе.

Общими недостатками тепловых насосов являются: сравнительно низкая температура нагреваемой воды, не более  $+50\text{ }^{\circ}\text{C} \div +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , причём, чем выше температура нагреваемой воды, тем меньше эффективность и надёжность теплового насоса; первоначальные затраты, время окупаемости теплонасосов составляет 4—9 лет при сроке службы по 15—20 лет до капитального ремонта.

Расчеты различных схем использования тепловых насосов показали экономическую эффективность их применения: стоимость 1 Гкал, полученной при использовании теплового насоса, ниже стоимости «тепловой» 1 Гкал [2].

В заключение следует отметить, что тепловые насосы в животноводческом комплексе широкого применения пока не нашли, хотя резервы энергосбережения в этой сфере заложены в специфике самой технологии производства молока на фермах. Как показано в работе [3], эта проблема весьма актуальна для Кузбасса, где существует много животноводческих комплексов с независимой теплоэнергетической структурой, в которую тепловые насосы не только хорошо вписываются, но и позволяют использовать практически все возможные резервы энергосбережения.

#### Библиографический список

1. Трубаев П.А., Гришко Б.М. Тепловые насосы: Учебное пособие, Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.
2. Морозов М.С. Использование тепловых насосов в пищевой промышленности [Электронный ресурс] // Экологические системы. – 2009, №3. Режим доступа: [http://esco-ecosys.narod.ru/2009\\_3/art122.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2009_3/art122.htm).
3. Стерлигов В.В., Михайличенко Т.А., Турлак Н.В. Перспективы и возможности использования тепловых насосов в энергоснабжении Кузбасса / Вестник СибГИУ, 2012, №1, с.34-36.

## **СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЧАСТКА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

**Колпаков Д. Е.**

**Научный руководитель: канд. с.-х. наук, доцент Шипилова А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

В статье рассмотрены возможные способы оценки и мониторинга воздействия участка открытых горных работ на состояние подземных вод.

Ключевые слова: гидрогеология, экология, Урегольский, воронка депрессии, подземные воды.

Проблема загрязнения подземных вод в России появилась еще в далеком XVI веке, в те времена, когда сельское хозяйство развивалось стремительными темпами. Однако не сельское хозяйство стало главной причиной ухудшения качества подземных вод.

Известно, что основными загрязняющими воды веществами являются фенолы, нефтепродукты, соединения меди, цинка, нитратный азот, ртуть, марганец и т.д., все эти вещества образуются в результате деятельности различных предприятий и функционирования населенных пунктов. Рост городов и стремительное развитие промышленности уже в XX веке привели Россию к довольно сложной ситуации в отношении качества вод. Поэтому антропогенное воздействие является главной причиной снижения биосферных функций, изменения физического и химического состояния подземных вод.

На сегодняшний день основным источником загрязнения подземных вод и окружающей среды являются промышленные площадки. В частности, это горнодобывающие предприятия, которые не только загрязняют жизненно необходимый ресурс, но и разубоживают гидрогеологическую сеть подземных вод.

Проблема особенно актуальна для регионов с развитой горнодобывающей инфраструктурой, таких как Кузбасс.

Кемеровская область один из наиболее промышленно развитых регионов Сибири. На ее территории расположено большое количество угледобывающих предприятий – шахт и разрезов. Добыча угля производится из пластов большой мощности, это ведет к изменению рельефа местности, структуры массива горных пород, микроклимата, а также ликвидации почвы и созданию беспочвенных местностей. В Кузбассе создалась кризисная экологическая ситуация, в условиях которой необходимым является проведение экологического мониторинга, оценки и прогноза состояния техногенных ландшафтов [1].

Развитие горнодобывочных работ неизбежно приводит к изменению гид-

рогеологических условий территории, которые проявляются в следующих направлениях:

- изменение структуры потока подземных вод, условий их питания и разгрузки;

- сокращение ресурсов подземных вод;

- изменение качества подземных вод.

Большая часть промышленного потенциала и населения области сосредоточены в бассейне реки Томь, которая является основным источником водоснабжения и главным водоприемником сточных вод.

Высокая загрязненность поверхностных и подземных вод области создает напряженную ситуацию в обеспечении населения питьевой водой стандартного качества.

Потенциальными источниками загрязнения подземных вод являются многочисленные неработающие и неликвидированные скважины. Наиболее интенсивно подземные воды загрязняются в зонах влияния многочисленных накопителей промышленных и сельскохозяйственных стоков[2].

*Целью работы является изучить способы оценки воздействия участка открытых горных работ на состояние подземных вод.*

Объект исследования – участок «Урегольский 5-6», расположенный в пределах Урегольского месторождения в Мрасском геолого-экономическом районе Кузбасса, административно входит в состав г. Мыски Новокузнецкого района Кемеровской области РФ.

Гидрогеологическая сеть, формирующаяся на участке, существенно осложняется наличием смежных действующих горнодобывающих предприятий. На северо-востоке участок имеет общие границы с участком «Урегольский Новый» ОАО «Южный Кузбасс», на северо-западе – с участком «Урегольский» ООО «Разрез Кийзасский», на юго-западе – с перспективным участком недр «Чуазасский» ООО «Разрез Нагорный». Кроме того, за последние годы здесь появились новые участки распределенного фонда недр. Все это приводит к тому, что участок Урегольский 5-6 оказывается в зоне влияния смежных предприятий.

Представление о состоянии подземных вод и их использовании в пределах влияния отработки возможно путем организации дополнительных пунктов наблюдений и выполнения на них соответствующих измерений. В частности, для оценки сработки ресурсов пресных подземных вод, изменения их химического состава по мере осушения прилегающих водоносных горизонтов необходимо: сооружение наблюдательной сети гидрогеологических скважин, систематические замеры в них уровня подземных вод, откачки скважин для опробования химического состава этих вод.

Схема размещения сети наблюдательных пунктов (скважин) носит профильный характер. Глубина скважин определяется величиной снижения уровня подземных вод в контурах воронки депрессии, но не глубже зоны интенсивной трещиноватости. Глубина скважин на четвертичные отложения

соответствует мощности этих отложений, плюс 2-5 м верхней, наиболее раздробленной части коренных пород.

В районе очистных сооружений, исходя из гидрогеологических условий территории, инфильтрация стоков в естественных условиях осуществляется вертикально вниз через слабопроницаемые суглинисто-глинистые аллювиально-делювиальные образования до уровня кровли водоносного комплекса коренных образований. Далее движение будет осуществляться горизонтально по направлению основного потока вниз по склону к р. Большой Чузас, впадающей в р. Мрассу. Таким образом, задачей наблюдений в пределах отстойников и накопителей отходов производства является оценка наличия факта загрязнения, а также оценка интенсивности распространения фронта загрязненных подземных вод. В пределах очистных сооружений также необходимо вести наблюдения за качеством поверхностных вод рек, изменение которых может быть вызвано сбросами в реки недостаточно очищенных загрязненных вод с очистных сооружений предприятия.

Первый профиль (профиль I-I), проектируемый из двух скважин, направлен в сторону р. Большой Кийзас. Скважина № 1 – на правобережном склоне долины реки в 50-60 м северо-восточнее контура горных работ на конец отработки, скважина № 2 – в долине реки в 120-130 м от скважины № 1 (Рисунок 1). Глубина скважин: № 1 – 100 м, № 2 – 50 м.

Данный профиль предназначен для определения границ воронки депрессии, характеристики режима и качества подземных вод вблизи р. Большой Кийзас. При отработке карьера эти скважины первоначально будут характеризовать ненарушенный режим подземных вод. По мере приближения горных работ к северной границе, скважины будут фиксировать происходящие изменения.

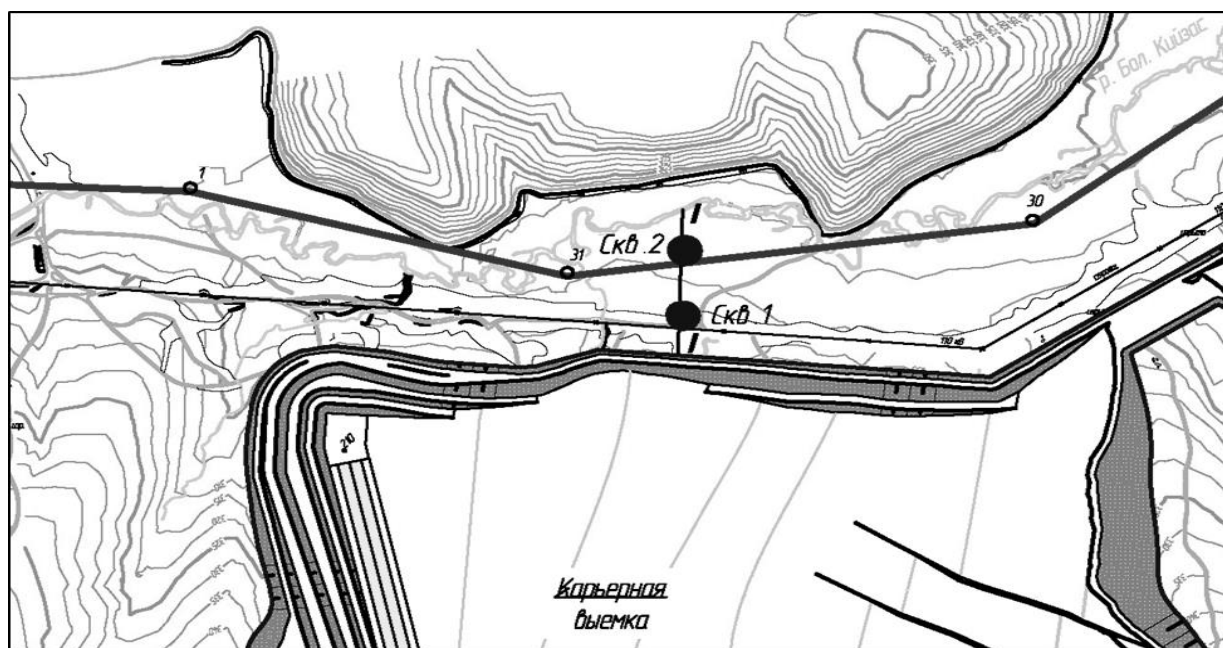


Рисунок 1 – План-схема размещения профиля I-I (наблюдательные скв. № 1, 2)

Скважину № 3 глубиной 100 м планируется пробурить в 40-45 м восточнее контура горных работ на конец отработки для определения распространения границ воронки депрессии вкрест простирания угольных пластов (рисунок 2).

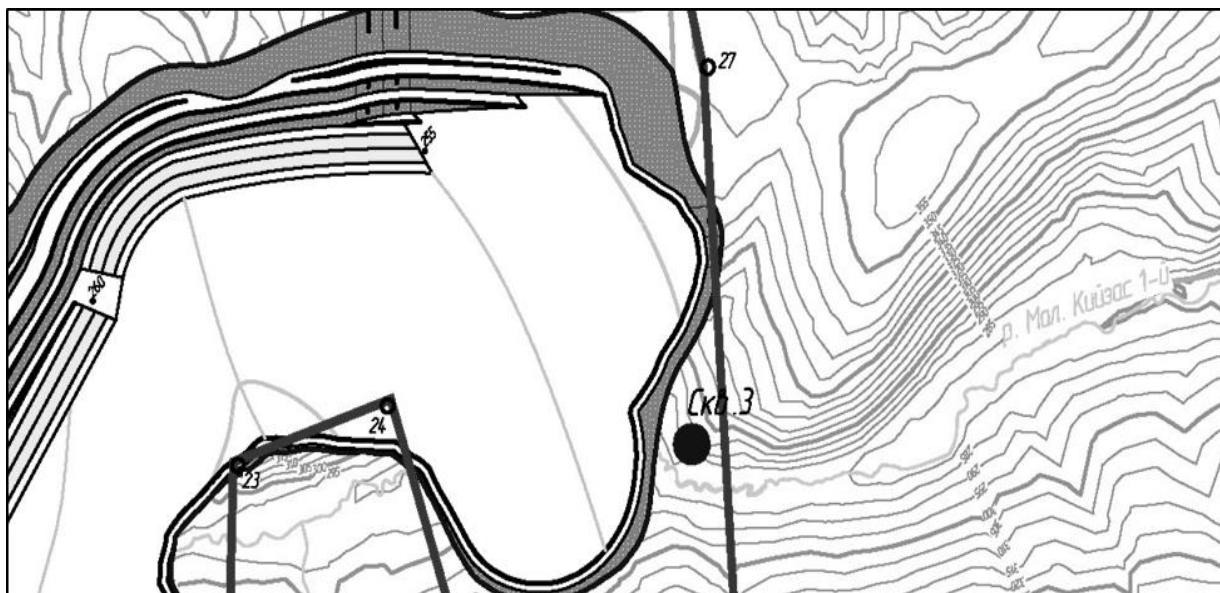


Рисунок 2 – План-схема размещения наблюдательной скв. № 3.

Второй профиль (профиль II-II) запроектирован в сторону р. Большой Чузас: скважина № 4 – на левобережном склоне долины реки в 30-35 м южнее контура горных работ на конец отработки, скважина № 5 – в долине реки, в 70-75 м от скважины № 4 (рисунок 3). Глубина скважин: № 4 – 100 м, № 5 – 50 м.

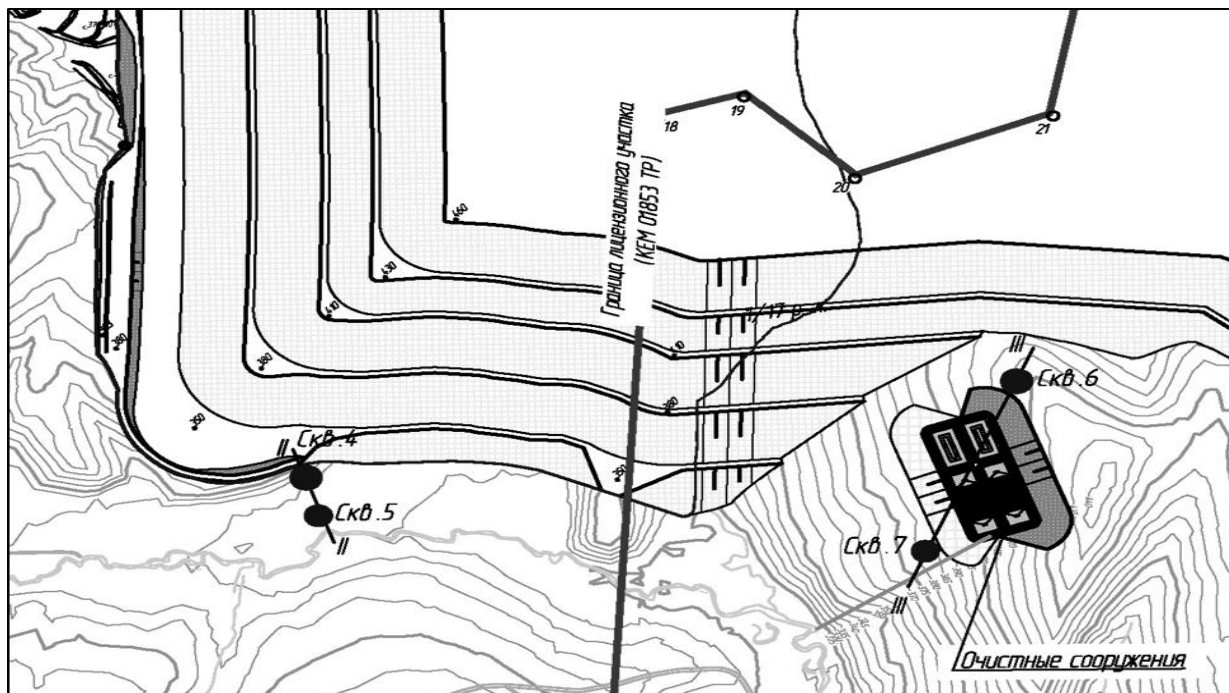


Рисунок 3 – План-схема размещения профилей II - II, III - III.  
(наблюдательные скв. 4, 5, 6, 7).



Данный профиль предназначен для определения границ воронки депрессии, характеристики режима и качества подземных вод вблизи р. Большой Чуазас. При отработке карьера эти скважины первоначально будут характеризовать ненарушенный режим подземных вод. По мере приближения горных работ к южной границе, скважины будут фиксировать происходящие изменения для оценки размеров и характера распространения воронки депрессии по простиранию угольных пластов. Затем, когда выработанное пространство будет засыпаться внутренним отвалом вскрышных пород, скважины будут предназначены также для изучения возможного изменения качественного состава подземных вод в районе отвалов, с целью выявления потенциального загрязнения, обусловленного возможной инфильтрацией через них атмосферных осадков.

Третий профиль, состоящий из двух скважин № 6 и № 7 глубиной по 100 м каждая, проектируется заложить в районе очистных сооружений: скважина № 6 выше по склону от очистных сооружений, скважина № 7 – ниже (Рисисунок 3).

Скважина № 6 предназначена характеризовать ненарушенный режим подземных вод, а в дальнейшем при формировании внешних отвалов вскрышных пород по ней можно изучать возможное изменение качественного состава подземных вод в районе отвалов вскрышных пород. По скважине № 7 будут производиться наблюдения за качеством подземных вод в результате возможной фильтрации загрязняющих веществ из очистных сооружений.

При сооружении скважин в них должны провести комплекс гидрогеологических работ (опытные гидрогеологические работы и гидрохимическое опробование).

Систематические наблюдения за уровнем подземных вод в наблюдательных скважинах должны выполняться с периодичностью – 3 раза в месяц (ежедекадно). Данные замеров (глубина уровня подземных вод от поверхности земли) и дата их проведения заносятся в журналы учета.

Отбор проб дренажных вод для наблюдений за их химическим составом производится в отстойнике карьерных вод до очистки и после. Опорное опробование производится 1 раз в год и состав опробуемых компонентов аналогичен опробованию подземных вод, контрольное опробование – 1 раз в квартал по компонентам, превышающим ПДК в опорном опробовании.

По результатам наблюдений делается заключение о влиянии горных работ на подземные воды и разрабатываются мероприятия по их устранению.

Исходя из теоретических предпосылок, при угледобычных работах образующиеся загрязненные стоки в составе подземных вод будут локализованы формирующейся дренажной системой, исключая их распространение на прилегающие площади. Фактически, проектные наблюдательные скважины позволят оценить возможное изменение качества подземных вод по мере развития угледобычи на прилегающей территории. Наблюдательные скважины могут использоваться и при дальнейшей разработке месторождения [3].

В современных реалиях горнодобывающей промышленности и техно-

логиях, мы не можем отказаться от добычи полезных ископаемых открытым способом, поэтому предварительной оценки, воздействия на гидрогеологическую сеть будут максимальными. В наших силах сохранить водный ресурс в пригодном состоянии для обитания живых организмов и использовании его человеком.

Данный комплекс, способов оценки воздействия участка открытых горных работ на состояние подземных вод, является наиболее информативным. Он предоставляет достаточное количество информации, что, несомненно, является залогом своевременной и эффективной разработки мероприятий по предотвращению и локализации загрязнения подземных вод.

#### Библиографический список:

1. Семина И.С., Беланов И.П., Шипилова А.М., Андроханов В.А. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013, 396 с.
2. Экология Кузбасса: проблемы и решения. Сб. материалов. – М.: РОДП «ЯБЛОКО», 2015, 144 с.
3. Справочник геолога-угольщика / К. В. Миронов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1991, 362 с.

УДК 622. 271

## **ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ**

**Мелентьева А.В., Зинченко Г.Г.**

**Научный руководитель: канд. с.-х. наук, доцент Шипилова А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Кузбасс – промышленный регион, который подвергается большому негативному воздействию на экологию со стороны угольных предприятий. В данной статье рассматривается влияние угольного предприятия на изменение химического состава вод (на примере ОАО «Разрез Шестаки).

Ключевые слова: Кузбасс, экология, водоприток, подземные воды.

Главным фактором, оказывающим негативное воздействие на окружающую среду, выступает промышленность. Вследствие такого воздействия происходят загрязнение почвенного покрова, атмосферы, водных объектов, изменение форм рельефа в результате горных разработок, перевод сельскохозяйственных земель в категорию промышленных и т.п.

Для Кемеровской области, с ее развитым разноплановым промышленным производством, основными факторами, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду, являются масштабы производства, степень

концентрации промышленных объектов в юго-западной и западной частях области, достаточно сложная структура промышленности.

Таким образом, основное антропогенное воздействие на окружающую среду оказывают предприятия, добывающие и перерабатывающие полезные ископаемые, среди которых основной составляющей является каменный уголь [1].

В настоящее время в Кемеровской области зарегистрировано 402 выпуска сточных вод в поверхностные водные объекты (от всех предприятий Кемеровской области) на которых имеется 238 очистных сооружений.

В том числе, угледобывающие предприятия имеют более 150 выпусков в поверхностные водные объекты. Предприятиями угледобывающей отрасли ежегодно сбрасывается в поверхностные водные объекты около 250 миллионов кубометров загрязненных сточных вод, что составляет более 30 % от общего количества сброшенных загрязненных стоков. При этом масса загрязняющих веществ составляет 50 % от общего количества сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты [2].

Цель: исследование динамики изменения качественных показателей подземных и поверхностных вод.

Объектом исследования является Бачатское каменноугольное месторождение, участок «Шестаки 2».

Участок «Шестаки 2» расположен в северо – западной части Бачатского каменноугольного месторождения, на территории Гурьевского муниципального района Кемеровской области (рисунок 1).

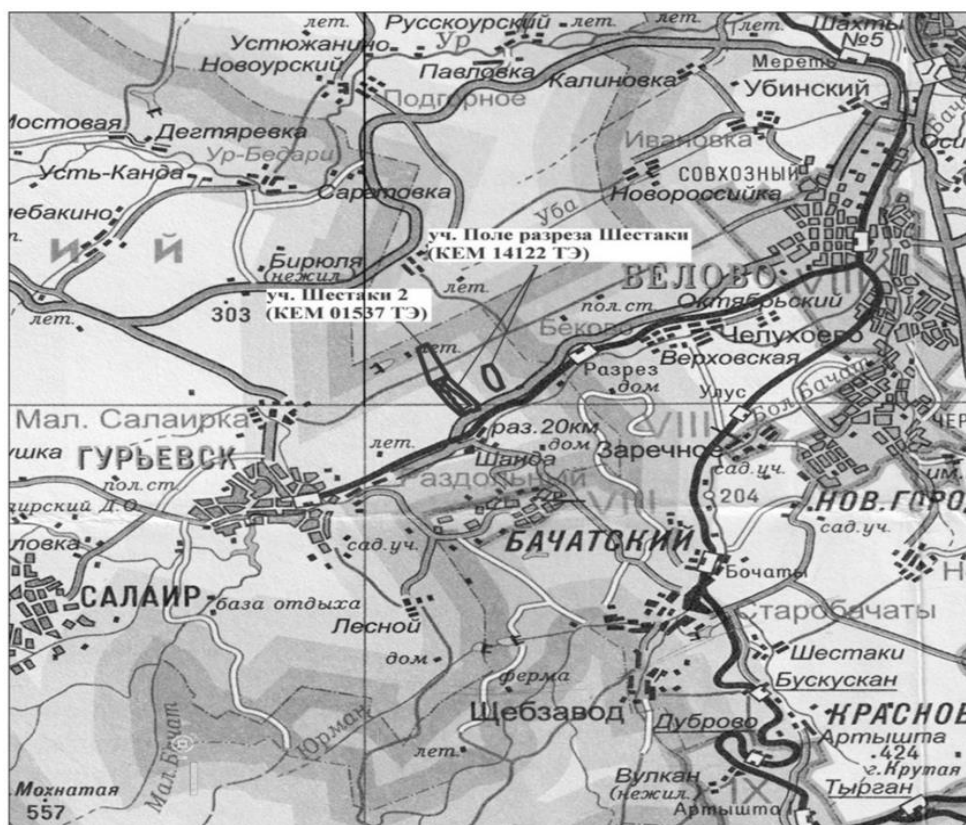


Рисунок 1 - Обзорно-административная карта района

Производственная мощность разреза - 1 млн. тонн угля в год. Площадь участка составляет 1,82 км<sup>2</sup>, в том числе площадь выхода на дневную поверхность - 1,2 км<sup>2</sup>.

Марки добываемого каменного угля: СС, КО, КСН, ГЖО.

Исследуемый участок находится в границах Бачатского геолого-экономического района Кузбасса.

В геоморфологическом отношении участок расположен на пологом склоне левого борта р. Малый Бачат с абсолютными отметками рельефа в пределах 230-280 м (абс).

В гидрологическом отношении территория относится к бассейну р. Малый Бачат, протекающей в 500м юго-восточнее от участка. Река является левым притоком р. Бачат. Длина водостока – 60 км, водосборная площадь – 800 км<sup>2</sup>. Максимальный расход р. Малый Бачат достигает 19,5 м<sup>3</sup>/с (весеннее половодье в апреле-мае). Минимальный расход – 1-1.3 м<sup>3</sup>/с. Питание реки смешанное с преобладанием снегового и дождевого. Водный режим характеризуется высоким весенним половодьем (апрель-май), дождевыми паводками, кратковременной летней и четко выраженной зимней меженью (январь-февраль). Ледостав на реке отмечается во второй половине ноября, вскрывается река в конце апреля - начале мая.

В пределах Бачатского каменноугольного месторождения, на котором расположен исследуемый участок, выделяются:

- водоносный комплекс аллювиальных отложений;
- водоносный комплекс угленосных отложений;
- водоносный комплекс отложений нижнего карбона.

Водоносный комплекс современных аллювиальных отложений представлен гравийно-галечниковыми образованиями с суглинисто-песчаным заполнителем мощностью 2-5 м, в кровле которых залегают суглинки мощностью 1.5-3.0 м. Питание этого горизонта осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков и частично за счёт поступления напорных подземных вод нижележащих водоносных зон коренных пород. Разгрузка происходит в поверхностные водотоки.

Водоносный комплекс угленосных отложений имеет повсеместное распространение. Водовмещающие породы - песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли характеризуются неравномерной водообильностью как в плане, так и в разрезе. Водоносность пород определяется литологическим составом, степенью трещиноватости, тектонической нарушенностью, геоморфологическим положением. Более обводнены породы до глубины 100-120 м в зоне наибольшей трещиноватости и выветрелости пород. Ниже трещиноватость затухает, обводненность отложений уменьшается. Областями питания комплекса служат водоразделы и их склоны.

Гидрогеологические исследования на участке выполнялись для характеристики степени обводненности продуктивных отложений, определения фильтрационных параметров водоносных горизонтов, химического состава подземных вод и прогноза возможных водопритоков в проектируемые горные выработки.

В процессе разведки 2011г. пробурен гидрогеологический куст с центральной скважиной и двумя наблюдательными и одиночная гидрогеологическая скважина. По окончании откачек из всех гидрогеологических скважин были отобраны пробы воды на химический анализ.

В горные выработки разреза разгружаются подземные воды, которые смешиваются с атмосферными осадками и накапливаются в горных выработках, перекачиваются в отстойники, расположенные на южной окраине разреза и сбрасываются в р. Малый Бачат. Содержание химических элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание элементов – загрязнителей в подземных и поверхностных водах

Определяемый показатель	Содержание веществ, мг/л					
	ПДК	Скв.1	Скв.2	Отстойник №2	Выпуск №2	Выпуск №3
Железо общее	0,3	1,64	0,06	<0,05	<0,05	<0,05
Литий	0,03	0,028	0,01	0,123	0,126	0,006
Магний	50	52,29	53,50	55,94	51,07	15,20
Марганец	0,1	0,091	0,044	0,003	0,003	0,069
Минерализация	1000	759	671	919	961	412
Натрий	200	119,00	82,50	145,00	155,00	21,00
Нефтепродукты	0,1	0,11	0,08	0,38	<0,02	<0,02
Нитраты	45	3,50	<0,62	91,50	88,25	7,84
Окисляемость перманганатная	5	2,45	0,85	1,57	0,61	3,33
Силикаты	10	2,00	1,00	7,40	8,40	4,20
Сульфаты	500	240,32	325,09	186,82	187,64	89,71
Цветность,град.	20	13,5	0	0	0	15

Выпуск № 2 (22 км): сточные воды (карьерный водоотлив участка ОГР) после отстаивания в пруде – отстойнике ёмкостью 22,40 тыс. м<sup>3</sup> по подземному стальному трубопроводу диаметром 1000 мм протяженностью 150 м отводятся на сброс в водный объект. Сооружения биологической очистки и обезвреживания сточных вод отсутствует.

Выпуск № 3 (23 км): сточные воды (хозяйственно-бытовые, производственные, поверхностные) после очистки и обезвреживания по подземному стальному трубопроводу диаметром 500 мм протяженностью 225 м отводятся на сброс в водный объект.

Тип очистных сооружений сточных вод: сооружения механической, биологической очистки и обеззараживания.

Проектная производительность очистных сооружений – 70,080 тыс.м<sup>3</sup>/год (192,0 м<sup>3</sup>/сут). Фактическая производительность очистных

сооружений 32,2 тыс.м<sup>3</sup>/год (88,2 м<sup>3</sup>/сут). Фактическая степень очистки сточных вод составляет 87,3 %.

Химический состав подземных вод определён по двум скважинам разреза, где он характеризует их естественное и нарушенное состояние.

В ближней к карьере скважине № 1 содержание лития, марганца и натрия, а также минерализация и цветность высокие, но не превышают ПДК. Превышение ПДК отмечено по железу, магнию и нефтепродуктам. Высокие содержания данных показателей объясняются, вероятно расположением скважины у основания отвала, в 12 м от автомобильной дороги Белово-Гурьевск. В скважине № 2 несколько повышено содержание сульфатов и минерализация, и только содержание магния превышает ПДК. Но подобная картина является естественной для данного региона.

Наблюдения за химическим составом подземных вод по скважинам наглядно показывают негативное влияние на них, с одной стороны автомобильной дороги (нефтепродукты), с другой стороны, насыщение продуктами растворения горных пород в отвале.

Химический состав вод, вовлеченных в технологический процесс, охарактеризован по отстойнику № 2 в рабочих горных выработках разреза. Повышенные содержания отмечены по натрию, силикатам и минерализации, а по литию, магнию, нефтепродуктам и нитратам – весьма существенные превышения ПДК. Столь заметное насыщение воды нормируемыми элементами связано с растворением горных пород, нарушенных взрывными работами (натрий, силикаты, магний и минерализация), работой автотранспорта на двигателях внутреннего сгорания (литий и нефтепродукты), а также продуктами взрывчатки (нитраты). После механической очистки на сбросе отмечено только снижение до нормативного содержания нефтепродуктов [3].

Следует отметить, что на выпуске из неработающих забоев содержание всех показателей находится в норме. Отмечено лишь незначительное повышение перманганатной окисляемости и цветности, но это связано с интенсивным развитием в слабо циркулирующей воде микроорганизмов в летнее время.

Для наблюдения за изменением уровня подземных вод и с целью контроля загрязнения подземных вод в результате работы угольного разреза были пробурены наблюдательные скважины.

Результаты наблюдений за уровнем подземных вод показали, что зона влияния карьера ограничена и не превышает первых сотен метров.

Таким образом, деятельность предприятия отрицательно влияет на качественные показатели подземных и поверхностных вод, вовлечённых в технологический процесс, а также отмечается, что качество сбрасываемой воды не совсем удовлетворительное.

Чтобы снизить негативное влияние необходимо проведение мероприятий:

1. Проведение полноценной реабилитации техногенного ландшафта и лесотехнической рекультивации нарушенных земель. Выемки засыпаются вскрышными породами, на них помещается слой суглинка в 50-100 см, а сверху – 20-30 см плодородной почвы. Уровень поверхности после насыпки почвенного

горизонта должен быть на 1.5-2 м выше предполагаемого уровня грунтовых вод. Во избежание загрязнения грунтовых и подземных вод карьерные выемки запрещается использовать для складирования бытовых и токсичных отходов.

2. Малые водотоки должны сохраняться, либо русла их переносятся не произвольно, а по проекту и согласованию с водными службами.

#### Библиографический список

1. Семина И.С., Беланов И.П., Шипилова А.М., Андроханов В.А. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013, 396 с.

2. Балашова Т.А. Экологические проблемы Кузбасса / Т.А. Балашова // Успехи современного естествознания. – 2004. - № 11. С. 38-39.

3. Усачев В.З. Отчет о детальной разведке в пределах лицензионных границ участка «Шестаки 2» (Геологический участок Северная прирезка к Бачатскому Западному – 1) Бачатского каменноугольного месторождения: в 2-х книгах / В.З. Усачев, Ю.С. Степанов, А.В. Соболева и др.// ООО «Шусталепская ГРП – Н». – Новокузнецк, 2013.

УДК 628.075

## О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ

**Клишин М.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

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

Предлагается технология получения экологически чистого брикетированного топлива с высокими тепловыми и прочностными характеристиками и широкой областью применения.

Ключевые слова: углеобогащение, брикетирование, утилизация отходов.

По состоянию на 01.01.2016 г., добычу угля в Российской Федерации осуществляли 192 угольных предприятия, в т.ч. 71 угольная шахта и 121 разрез, причем на долю Кемеровской области приходится 95 угледобывающих предприятий (47 шахт и 48 разрезов) и около 50 углеобогатительных фабрик и установок. Основная доля в добыче угля по Российской Федерации принадлежит Сибирскому федеральному округу (83,5 % от общего объема добычи угля в России). В основном угольном бассейне России - Кузбассе добыча угля составила в 2015г. 215,6 млн. т (+1,9 % к 2014 году), а в Канско-Ачинском - 38,2 тыс. т (+5,7 % к 2014 году) [1].

В настоящее время на территориях обогатительных фабрик угольной промышленности Кузбасса имеется огромное количество углесодержащих

отходов в виде штыбов, шламов из отстойников после флотационного обогащения угля, что связано с несовершенством действующих на углеобогательных фабриках технологий, поскольку в отходах углеобогащения уголь может составлять более 25 %.

Существующие способы утилизации шламов углеобогащения можно разделить на пассивные и активные. Пассивными способами являются складирование и хранение отходов в хвостохранилищах и шламонакопителях различных типов. Подавляющее большинство применяемых на сегодняшний день способов утилизации данного вида отходов можно отнести к пассивным. Термические способы утилизации шламов углеобогащения, такие как сжигание, пиролиз, термолиз, газификация, катализ и т.д., относят к активным способам утилизации шламов [2].

Из всех известных в настоящее время способов окусковывания мелкодисперсных материалов наиболее перспективным является брикетирование, так как брикетам можно придать оптимальную форму и размеры для конкретных условий использования; брикетированное топливо имеет большую прочность, чем гранулированное, что важно для проведения транспортно-погрузочных операций; прочность более 3,2 МПа при температуре горения брикетов 600-1000 °С обеспечивает свободный проход воздуха между брикетами при горении и снижение химического и механического недожога [3].

Брикетирование повышает теплоту сгорания каменноугольной мелочи, антрацитовых штыбов, бурых углей, торфа, улучшает КПД сжигания, транспортабельность, условия хранения и использования этих видов топливного сырья. Кроме того, брикетирование создаёт дополнительные сырьевые ресурсы для производства малодымного и бездымного топлива, а также рудного и нерудного сырья благодаря утилизации отходов различных производств.

Основными причинами недостаточного использования брикетирования в отечественной практике являются следующие: неправильный выбор места и объема утилизации отходов; упрощенный (некомплексный) подход к решению проблемы; использование неэффективных способов (технологий) брикетирования. Эти три проблемы решаются, если максимально приблизить изготовления брикетов к техногенным месторождениям и, соответственно, предприятиям – потребителям, а также использовать резерв имеющегося вибропрессовального оборудования или создавать упрощенные вибропрессовальные автоматические линии для производства брикетов.

Известный топливный брикет [Патент РФ 2091446, МКИ С 10 L 5/14, опубл. 1997 г.] содержит торф, бурый или каменный уголь, нитрат целлюлозы. В качестве сырья используют отходы производства нитратов целлюлозы, торфяные и угольные отходы. Ввиду того, что при изготовлении брикетов в качестве растворителя используется ацетон, а в качестве горючего компонента используется торф, бурый или каменный уголь, такие топливные брикеты не приемлемы для приготовления пищи, а также для обогрева жилых помещений из-за неприятного запаха.

Другими недостатками указанного брикета являются использование в



качестве связующего нитрата целлюлозы, являющегося привозным компонентом, содержащим сернистые соединения, т.е токсичные вещества; использование обогащенного товарного угля, который для приготовления композиционной смеси должен подвергаться измельчению; использование торфа, месторождения которого не всегда имеются вблизи мест накопления отходов угледобычи и др.

Известен также брикет [Патент РФ 2187542, МКИ C10L 5/12, опубл. 2002], включающий измельченный древесный уголь, связующее и воду, причем в качестве связующего он содержит крахмал или декстрин. К основным недостаткам таких топливных брикетов следует отнести недостаточную механическую прочность и довольно высокую остаточную влажность.

На основании анализа представленных патентов, а также литературы по теме исследования предлагается использовать в качестве исходного сырья для изготовления брикетов измельченный твердый углеродсодержащий материал (угольный шлам или угольный отсев), в качестве связующего могут быть использованы органические высыхающие связующие (декстрин, крахмал картофельный, меласса, крахмал кукурузный, мука пшеничная или их комбинации). Такие связующие растворимы в воде, хорошо смешиваются с глиной, которая придает смеси прочность до сушки, связующее - после нее. Глина, кроме того, обеспечивает влагостойкость изделия.

Высокие энергетические характеристики изделия могут быть достигнуты добавлением отходов деревообработки (древесные опилки). Добавление выгорающих добавок способствует образованию пористости в процессе горения изделия и улучшает газопроницаемость, кроме того, древесные опилки повышают возгораемость брикета. Улучшение показателя влагопоглощения достигается добавлением глины.

Исходные компоненты смешивают с водой, тщательно перемешивают в мешалке. Полученную однородную смесь выдерживают для набухания связующего, после чего производят брикетирование гидравлическим прессом и сушку брикетов до требуемого количества влаги.

Предлагаемое соотношение компонентов, масс. %: углесодержащий материал – 60-80; связующее – 9-12; глина – 3-8; древесные опилки и/или обезвоженный активный ил после аэротенков 5-10; вода – менее 3.

В заключение отметим, что возрастание интереса к технологиям переработки угольных шламов обусловлено тем, что цены на энергоносители постоянно растут, и в будущем внутренние цены на энергетическое сырье достигнут мирового уровня. При этом вполне предсказуем тот факт, что цена на топливо, полученное из отходов углереперерабатывающих предприятий, окажется значительно ниже цены на рядовой уголь, так как в этом случае отсутствуют затраты на его добычу [4].

#### Библиографический список

1. Основные показатели добычи угля в Российской Федерации по состоянию на 01.01.2016 // Министерство энергетики Российской Федерации

[Электронный ресурс] - Москва, 2016.- Режим доступа:[http:// minenergo.gov.ru/node/435](http://minenergo.gov.ru/node/435) 14.04.16.

2. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого Бассейна. - Кемерово: Кемеровский полиграфкомбинат, 2000. - 244 с.

3. Динельт В.М., Страхов В.М., Ливенец В.И. Получение безобжиговых брикетов на основе мелкозернистого буроугольного полукокса из углей Канско- Ачинского бассейна // Кокс и химия, 2008, №9 - С.50-56.

4. Качурин Н.М., Ефимов В.И., Мосина Е.К., Факторович В.В. Перспективы экологически безопасного использования отходов производства на территориях горнодобывающих регионов // Безопасность труда в промышленности, 2014, № 9. - С. 81-84.

УДК 621.577

## **ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

**Зонов Д.И., Устинова А.Г., Шишкин А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [anya.ustinova.96@mail.ru](mailto:anya.ustinova.96@mail.ru)*

В работе проанализированы возможные источники энергии для работы тепловых насосов.

Ключевые слова: тепловые насосы, естественные источники энергии, искусственные источники энергии.

Тепловой насос (ТН) - устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой [1]. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из какого-либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель - теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту - вторичные энергетические ресурсы.

В теплонасосных установках используются низкопотенциальные источники энергии с температурой менее 50...70 °С, которые невозможно использовать в качестве греющей среды в обычном теплообменном оборудовании. Их можно разделить на источники естественного и искусственного происхождения. К естественным источникам можно отнести:

1. Теплота окружающего воздуха.

Теплота окружающего воздуха, как источника низкопотенциальной

теплоты, характеризуется сезонными и краткосрочными колебаниями температуры в зависимости от погодных условий, что влечет за собой колебания режимов работы теплового насоса, снижающие его эффективность.

## 2. Теплота водоемов и природных водных потоков.

Температура воды в водоемах и водных потоках на поверхности земли подвержена сезонным изменениям в соответствии со средней температурой окружающего воздуха, причем наиболее низкая температура приходится на конец периода максимальной тепловой нагрузки.

## 3. Солнечная энергия.

Потенциал этого источника довольно велик, однако плотность потока солнечной радиации сравнительно невелика - около 0,6 кВт на 1 м<sup>2</sup>, что требует значительных площадей поглощающей поверхности солнечных коллекторов [2].

Основными источниками теплоты для крупных ТНУ следует считать искусственные источники: тепловые отходы технологических производств, коммунальных, бытовых, жилых и других объектов - или вторичные энергетические ресурсы (ВЭР).

*Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)* - это энергия различных видов, покидающая технологический процесс или установку, использование которой не является обязательным для осуществления основного технологического процесса.

В настоящее время особенно велики потери теплоты на электростанциях, в металлургической, химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве. Теплота уносится также с вентиляционным воздухом, с канализационными и бытовыми стоками. Согласно расчетам, из 1,7 млрд. т у. т., расходуемого в стране за год, полезно используется примерно 700 млн. т. Утилизация ВЭР позволит получить большую экономию топлива и существенно уменьшить капитальные затраты на создание соответствующих энергооборудованных установок, так как при одинаковом эффекте затраты на улучшение использования энергоресурсов в 1,5-2 раза ниже затрат на добычу топлива. Рациональное и возможно более полное использование вторичных энергоресурсов дает большую экономию материальных, денежных и трудовых затрат, обеспечивает снижение выбросов вредных веществ, в том числе и тепловых.

ВЭР разделяются на три основные группы: избыточного давления, горючие и тепловые.

*ВЭР избыточного давления* - это потенциальная энергия покидающих установку газов, воды, пара с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу. Основное направление использования таких ВЭР силовое (для получения электрической или механической энергии).

*Горючие ВЭР* - это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива на других производствах. К ним можно отнести: щепки, опилки, стружку (в деревообрабатывающей промышленности); твердые и жидкие топливные отходы химиче-

ской и нефтеперерабатывающей промышленности; доменный газ (в металлургической промышленности). Главная трудность использования горючих ВЭР примеси, которые могут загрязнять окружающую среду, вызывать коррозию котельной аппаратуры, осаждаться на поверхности водогрейных труб.

*Тепловые ВЭР* - это физическая теплота отходящих газов основной и побочной продукции производства; золы и шлака, горячей воды и пара; рабочих тел систем охлаждения технологических установок. Тепловые ВЭР используют для получения тепла, непосредственно передавая его соответствующим теплоносителям (подогревают потоки, вырабатывают пар) [3].

Вопросы экономии топлива путем использования ВЭР в последние годы превратились в актуальную проблему и являются общегосударственной задачей. Промышленные потребители полезно используют в настоящее время свыше 60 % всего добываемого топлива и около 70 % всей вырабатываемой электроэнергии [4].

#### Библиографический список

1. А. М. Прохоров. Большая советская энциклопедия: в 30 т. – 3-е изд. М.: Сов. энцикл., 1969 – 1978. – 869 с.
2. Юренева В.Н. Теплотехнический справочник под ред./Лебедева П.Д., Том 2. – М., Энергия, 1976 г. – 164 с.
3. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы и их использование. – М.: Высшая школа, 2008. – 263 с.
4. Крапчин И.П. Экономика использования вторичных энергоресурсов промышленности. – М.: Наука, 1968. – 132 с.

УДК 544.47

## **КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ЦЕХОВ УЛАВЛИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ**

**Шалаева Н.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Павлович Л.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Проведена оценка экологического риска выбросов в атмосферу максимально загрязненных канцерогенными веществами цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования коксохимического производства, проведен анализ процессов каталитической очистки выбросов: цехов улавливания, смолперерабатывающего, пекового парка, отделения кристаллизации нафталиновой фракции, цеха фталевого ангидрида и установки сухого тушения кокса.

Ключевые слова: коксохимическое производство, экологический риск, полициклические ароматические углеводороды, бенз[а]пирен, каталитическая очистка, катализатор.

Проблема защиты воздушного бассейна особенно остро стоит на коксохимическом производстве, что связано с характерной особенностью выбросов в атмосферу коксохимического производства (КХП) – наличием значительного количества полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе канцерогенных веществ: бенз[а]пирена (БП), бензола и др [1]. При высокотемпературном пиролизе каменного угля и последующим улавливанием и переработке химических продуктов коксования образуется в среднем 5,2-8,0 кг/т кокса специфических, вредных выбросов в атмосферу [2-4].

Сжигание любого вида топлива (угля, кокса, мазута, нефти, природного, доменного, коксового газа др.) сопровождается выделением в атмосферу ПАУ в том числе БП, который образуется при высоких температурах из алифатических и ароматических углеводородов путем взаимодействия свободных радикалов. При сжигании топлива БП начинает образовываться уже при температурах 300-400 °С, основная масса – при температуре 700 °С и выше. Полное разрушение БП наблюдается при температурах 1500-1700 °С [5-6].

В черной металлургии основным источником выделения в атмосферу ПАУ, в том числе БП, являются дымовые выбросы отопительных систем технологические выбросы каждого металлургического производства.

Наибольший удельный выброс бенз[а]пирена на тонну выпускаемой продукции дает КХП: в 13 раз больше, чем агломерационное производство, в 16 больше, чем конверторное и в 642 раза больше, чем доменное [1].

В соответствии с современным представлением о развитии техносферной безопасности в настоящее время выполняются расчеты экологической эффективности предприятий на основании экологических рисков [7-11] и впервые выполнен расчет экологического риска выбросов в атмосферу ОА ЗСМК.

Цех химулавливания химических продуктов коксования (ЦХУ) имеет 123 источника организованных выбросов в основном с воздушников емкостного оборудования высотой 4-22 м. Приемлемый (допустимый) экологический риск (составляет 0,02 или 2 % на 1000 работающих) дали 5 источников: сборник смолы, сушильные барабаны [8-9]. Остальные 118 источников показали высокий и очень высокий уровень риска. Неканцерогенный риск превышал приемлемый уровень от 3,17 до 4,7 раза для источников и в 36,3; 49,5; 19,2 раза для 65 источников. В основном, приоритетными неканцерогенными загрязнителями являются сероводород, нафталин, аммиак, фенол цианистый водород. Наибольший суммарный риск по неканцерогенным веществам: 97,5 % в отделении очистки коксового газа и 42,7 % в сульфатном отделении. Канцерогенный риск по цеху химулавливания также имел превышение в отделении очистки коксового газа, где приоритетный канцерогенный загрязнитель – бензол, суммарный риск от которого по цеху составил  $22,66 \cdot 10^{-4}$ , что выше приемлемого значения канцерогенного риска, равного  $1 \cdot 10^{-3}$ , в 2,27 раза.

Смолоперерабатывающий цех (СПЦ) имеет 72 источника выбросов в атмосферу, в том числе 6 труб и 66 воздушников емкостного оборудования. Данные источники дают выбросы нафталина, пиридина, цианистого водорода, аммиака, бенз[а]пирена, фенола, сероводорода, CO, SO<sub>2</sub>, NO и NO<sub>2</sub>. Только 8 источников дали низкий неканцерогенный риск, который не превышал приемлемый. Хранилища нафталина показали высокий неканцерогенный уровень, превышающий допустимый экологический риск в 2.2 раза, а все остальные источники показали очень высокий неканцерогенный уровень, превышающий допустимый 6,6-29 раз. Наибольший риск показали хранилища смолы и хранилища масел – по неканцерогенным веществам наблюдалось превышение в 25,5 и 49,5 раза, по канцерогенным веществам бенз[а]пирену – в 934,9 раза. Наибольший вклад в превышение допустимых рисков дал склад масел. Отмечался очень высокий [8-10] риск от сборников фракций: превышение допустимого риска в 22 раза.

Таким образом, анализ экологического риска в производственной деятельности КХП показал, что экологическая обстановка неблагоприятна, основная проблема это выбросы бенз[а]пирена практически со всех организованных и неорганизованных источников выбросов в атмосферу КХП с громадным превышением до 935 раз нормативных показателей.

С целью предотвращения выбросов в атмосферу ПАУ, в том числе бенз[а]пирена, в СибГИУ разработаны технологии высокотемпературной каталитической очистки выбросов ряда цехов: смолоперерабатывающего (СПЦ), пекового парка СПЦ (ПП), отделения кристаллизации нафталиновой фракции СПЦ (ОКНФ), цеха химулавливания (ЦХУ), цеха фталевого ангидрида (ЦФА) и установки сухого тушения кокса (УСТК) в стационарном и кипящем слое катализатора [12-13].

Цель данной работы - анализ процессов каталитической очистки выбросов цехов улавливание и переработки коксохимического производства разработанных в СибГИУ.

Технологические показатели разработанных технологий представлены в таблице 1.

Степень очистки во всех разработанных процессах составляла 97-98 %, в основном использовался шлаковый медно-кобальтовый катализатор марки РШМК-6 - рядовой шлак с содержанием оксидов меди и кобальта в качестве 6%, загрузка катализатора составляла до 2,4 м<sup>3</sup> (4,6т). В разработанных четырех процессах каталитической очистки объем выбросов невелик от 1,2 до 7,6 тыс. м<sup>3</sup>/ч (СПЦ, ПП, УСТК, ЦХУ); на двух установках ОКНФ и ЦФА объем очищаемых выбросов составлял 16,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч и 4,0 тыс. м<sup>3</sup>/ч. ЦФА в настоящее время закрыт, в ОКНФ высокий неканцерогенный экологический риск, достигнут за счет вентиляционных выбросов барабанных кристаллизаторов и хранилищ нафталина [9]. На УСТК имеет место значительные выбросы коксовой пыли до 1,5 г/м<sup>3</sup>, что не представляет возможным очистку этих выбросов в стационарном слое катализатора [13]. Выбросы УСТК могут быть очищены в кипящем слое катализатора на отдельной стационарной установке.

Таблица 1 – Технологические показатели каталитических процессов

Наименование показателей	Единица измерения	Величина показателей установок очистки					
		СПЦ	ПП	ОКНФ	ЦХУ	ЦФА	УСТК
Объем выбросов	м <sup>3</sup> /ч	1236,3	2000	16528	7610	40000	До 2400
Концентрация выбросов	г/м <sup>3</sup>	80,23	139,12	0,406	13,9	1,0-1,5	1,5
Температура газов на выходе из топки	°С	700	650-700	700	450	600-700	–
Расход коксового газа	м <sup>3</sup> /ч	112	80	–	325	340	50-450
Температура газа в контактном аппарате	°С	500 - 550	500-550	500	456	550-580	710-860
Температура газа на выходе из контактного аппарата после встроенного рекуператора	°С	380	–	–	200	–	200
Степень очистки от органических веществ	%	97	98	98	97	98	99
Объем воздуха на разбавление перед контакт-ным аппаратом	м <sup>3</sup> /ч	873	1792	–	–	6843	2100
Объем газов, поступающих в контактный аппа-рат	м <sup>3</sup> /ч	2873	4000	17450	9464	510000	7000
Количество катализатора, загруженного в реак-тор	т / м <sup>3</sup>	2,9/1,5	2,5/1,3	4,6/2,4	3,6/4	9,6/5,0	6,0/3,14
Объемная скорость	тыч.ч <sup>-1</sup>	3,0	3,0	10,0	3,0	12,0	4,0
Объем воздуха на разбавление перед дымососом	м <sup>3</sup> /ч	4714	3000	5894	3000	–	2486
Объем выбросов сбрасываемых через дымовую трубу с учетом подсоса воздуха до дымососа	м <sup>3</sup> /ч	8000	7000	34000	10000	–	39440
Катализатор, марка		РШМК-6	РШМК-6	РШМК-6	НТК-4 ВКШ-	РШМК-6	РШМК-6 ИК-12-73
Контактный аппарат-конструктор		НПО «Энерго- сталь» с рекупера- цией тепла	НПО «Энерго- сталь» с рекупера- цией тепла	НПО «НИИОПиК»	НПО «НИИОПиК»	НПО «НИИОПиК»	Институт катализа СОРАН
Расход катализатора	м <sup>3</sup> /год	–	–	–	–	–	11,0

Выбросы ОКНФ входящего в ЦФА не требует строительства отдельной установке, 16 тыс. м<sup>3</sup>/ч выбросов - это выбросы вентиляции с низким содержанием углеводородов и могут быть использованы в каталитических установках в качестве воздуха на разбавление перед очисткой выбросов в контактном аппарате. Представляется необходимым создание установки очистки выбросов СПЦ с пекоподготовкой и цеха химулавливания.

Таким образом, анализ показал, что мелкие установки требуют на каждую значительных капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому является целесообразно создать единую установку для совместной очистки выбросов воздушников коксохимического производства, цеха химулавливания и смолоперерабатывающего цеха. Объем выбросов на очистку будет ориентировочно составлять 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч, загрузка шлакового катализатора порядка 6 м<sup>3</sup>, температура в каталитическом реакторе 450-550 °С, использовать контактный аппарат НПО «Энергосталь» с рекуперацией тепла.

#### Библиографический список

1. Павлович Л.Б., Экологические проблемы металлургического производства: учеб. пособие/ Л.Б.Павлович, О.О.Титова – Новокузнецк: Изд.центр СибГИУ, 2015. – 211 с.
2. Бюллетень научно – технической и экономической информации Черная металлургия, – 2001, вып.9. прил. 5.7.
3. Пыриков А.Н., Защита окружающей среды на коксохимических предприятиях. / А.Н. Пыриков – М.: Интернет инжиниринг, 2000.– 176 с.
4. Сухоруков В.И. Научные основы совершенствования техники и технологии производства кокса. / В.И. Сухоруков – Екатеринбург, 1999.– 393 с.
5. Абасеев В.Н. Термические и каталитическое обезвреживание отходящих газов, содержащих 3,4 – бенз(а)пирен/ В.Н. Абасеев// Химическая промышленность, 1973. – №1 – С. 25 – 26.
6. Шаприцкий В.Н. Защита атмосферы от загрязнения канцерогенными веществами/ В.Н. Шаприцкий// Сталь, 1972. – №10 – С. 961 – 963.
- 7.Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки (Р 2.2.1736-63). – М.: Гигиена труда, 2003. – 12с.
8. Павлович Л.Б., Медведская Е.В. и др. Оценка экологического риска от производственной деятельности коксохимического производства // Кокс и химия. 2013. – №5. – С. 33 – 40.
9. Павлович Л.Б. Снижение давления на окружающую среду на базе расчетов экологического риска / Л.Б. Павлович, А.А. Осокина, Д.В. Суржигов, В.Г. Лупенко // Кокс и химия, 2016. – №9 – С. 40 – 49.
- 10.Павлович Л.Б. Суржигов В.Д., Медведская О.О. Оценка рисков на коксохимическом производстве по текущему состоянию и с внедрением технологии каталитической очистки / Л.Б. Павлович, В.Д. Суржигов, О.О. Медведская // Сб. докладов международной конференции «Современные проблемы медицины и труда, гигиены и экологии человека» – Кемерово, 2011.



– С.167– 170.

11. Кукин Л.П. Анализ и оценка риска производственной деятельности./ Л.П.Кукин, В.Н.Шлыков, Н.И.Сердюк – М.: Высш. шк., 2007. – 329 с.

12. Павлович Л.Б. Каталитические процессы очистки выбросов металлургического производства: Учеб. пособие. / Л.Б. Павлович – СибГИУ – Новокузнецк, 2008. – 169 с.

13. Павлович Л.Б. Катализаторы и каталитические процессы глубокого окисления на основе металлургических шлаков / Л.Б.Павлович, С.И. Павлович, – Новосибирск: Изд. СОРАН, 2014 – 268 с.

УДК 54.546.05

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГО $V_2O_5$ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАТАЛИЗАТОРА**

**Кравченко К.Н.**

**Научный руководитель: канд. хим. наук Суровая В.Э.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, e-mail: daimon1605@mail.ru*

Предложен метод сокращения отходов производства серной кислоты.

Установлен класс опасности отходов и степень воздействия на человека. Показаны основные стадии переработки и регенерации отработанного ванадиевого катализатора. Описан компонентный состав отработанного катализатора.

Ключевые слова: отработанный ванадиевый катализатор, электролиз, отходы, серная кислота, вторичное сырье.

В процессе производства серной кислоты образуются отходы, которые нарушают экологическое равновесие, загрязняя окружающую среду. Среди них отработанный ванадиевый катализатор. Предприятия производящие серную кислоту не задумываются о способе утилизации данного отхода. Зачастую складировуют на производственных площадках или вывозят в отвал.

Отработанный ванадиевый катализатор относится ко 2 классу опасности [1], воздействует на окружающую природу, загрязняя и отравляя ее, также воздействует на организм человека.

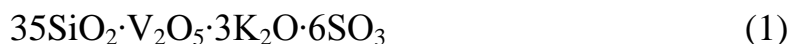
Установлено, что ванадий и его соединения токсичны. Токсическая доза для человека 0,25 мг, летальная доза – 2 - 4 мг. Для  $V_2O_5$  ПДК в воздухе 0,1-0,5 мг/м<sup>3</sup> [2].

Использование вторичного сырья позволяет решить ряд важнейших проблем: сохранение невозполнимых природных ресурсов; улучшение экологической обстановки; снижение капитальных и энергетических затрат; повышение производства редких металлов; создание малоотходных технологий. В связи с этим, предложенный метод получения оксида ванадия (V) является

актуальной задачей [3].

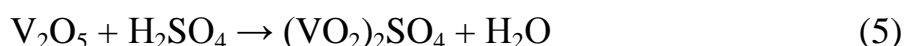
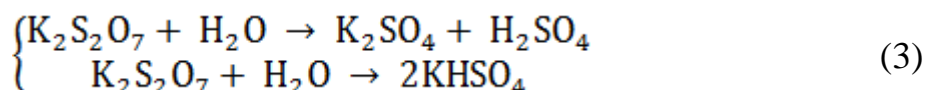
В общем виде строение катализатора имеет основные части (носитель, оксид ванадия, примеси).

Состав отработанного катализатора:



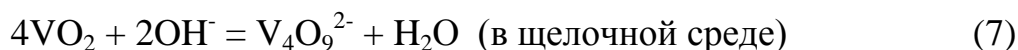
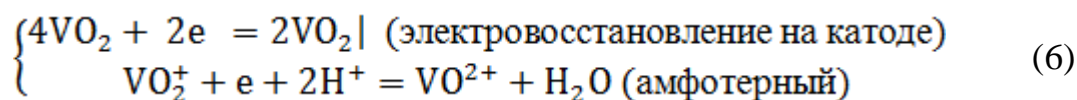
Процесс регенерации и получения ванадиевого катализатора из отработанного, представляет собой:

1) Выщелачивание водой.



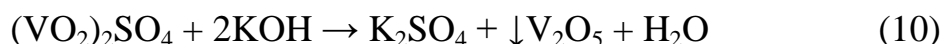
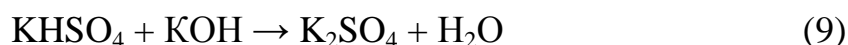
2) Остатки не растворимые в воде, отделяют на фильтре.

3) Электролиз:



4) Фильтрация раствора с удалением оставшихся примесей.

5) Щелочное выщелачивание:



6) После фильтрования и промывки, оставшийся носитель готовят для нового восстановленного катализатора, ортованадаты направляют на стадию нейтрализации:



7) Раствор кристаллизуют. Проводят дополнительную фильтрацию. Полученный пропиточный раствор используют повторно для приготовления нового катализатора.

По справочным данным [4] для осаждения 1 ед.  $\text{V}_2\text{O}_5$  требуется 1 ед. раствора.

Расчеты проводились для отработанного ванадиевого катализатора имеющего состав [5]:

оксид ванадия (V) - до 5,6;

оксид калия - до 12,10;

сульфаты - 3,6;

алюминия оксид - до 0,5;  
 кальция оксид - до 4,20;  
 кремния оксид - до 71,7;  
 вода-2,3.

Количество отработанного ванадиевого катализатора серноокислотного производства составляет 7,85 кг/ч или 26,4 м<sup>3</sup>/ч. Состав по компонентам приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав ванадиевого катализатора

Компонент	w, %	кг/ч
оксид ванадия (V)	5,6	0,44
оксид калия	12,10	0,95
сульфаты	3,6	0,28
алюминия оксид	0,5	0,04
кальция оксид	4,20	0,03
кремния оксид	71,7	5,63
вода	2,3	0,18
Итого:	100%	7,85 кг/ч

При расчетах было принято остаточное содержание ванадия в электролите 20,0 г/л, что соответствует степени осаждения, %: V = 80-85 %.

Приближение и внедрение технологии переработки отработанного катализатора, к серноокислотным цехам позволяет использовать имеющееся оборудование и материалы, экономит ресурсы и помогает их восполнять.

Позволяет регулировать экологическую ситуацию, минимизировать отходы производства серной кислоты, получая при этом восстановленный ванадиевый катализатор для повторных использований на стадии контактирования.

#### Библиографический список

1. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 N 536 "Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду" (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 N 40330)

2. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

3. Безруков И. Я., Кляйн С. Э., Набоиченко С. С. Проблемы и способы переработки отработанных ванадиевых катализаторов серноокислотного производства / Известия ВУЗов. Горный журнал, 11-12/97. – С. 244 – 250.

4. Коршунов Б. Г. Ванадий// Химическая энциклопедия: в 5 т / Кнунянц И. Л. (гл. ред.).- М.: Советская энциклопедия, 1988.- Т. 1: Абл-Дар.- С.349.– 623 с.

5. Продукция компании: Haldor Topsoe. Haldor Topsøes Allé 1.2800 Kgs. Lyngby.Phone: +45 4527 2000.Fax: +45 4527 2999.e-mail: topsoe @ topsoe.dk.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Дроздова А.В.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: madam.droz@ya.ru*

Приведена статистика несчастных случаев на предприятиях электроэнергетики, дан ее краткий анализ, обозначены главные причины несчастных случаев, рассчитан коэффициент частоты травматизма и коэффициент частоты несчастных случаев со смертельным исходом.

Ключевые слова: электроэнергетика, техника безопасности, несчастные случаи, количество пострадавших, коэффициент частоты травматизма, коэффициент частоты несчастных случаев со смертельным исходом.

Техника безопасности - это комплекс мероприятий технического и организационного характера, которые направлены на создание безопасных условий труда и предотвращение несчастных случаев на производстве [1].

По статистическим данным МОТ известно, что ежегодно в России гибнет около 8 500 трудоспособных граждан, около 10000 рабочих после полученных травм на производстве становятся инвалидами, практически 7 500 людей подвергаются профессиональным заболеваниям и отравлениям, и каждый четвертый работающий человек находится в непригодных для труда условиях [2].

Профессия электроэнергетик входит в десятку самых опасных профессий в России, незначительно уступая профессии шахтер по количеству пострадавших (таблица 1, рисунок 1) [3].

Таблица 1 – Численность пострадавших на производстве по видам экономической деятельности [3]

Год	Всего пострадавших, тыс. чел.	Добыча полезных ископаемых		Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	
		Количество пострадавших, тыс. чел.	% от всех пострадавших	Количество пострадавших, тыс. чел.	% от всех пострадавших
2010	47,7	2,8	5,8	2,2	4,6
2012	40,4	2,2	5,4	1,9	4,7
2013	35,6	2,1	8,2	1,6	4,5
2014	31,3	1,7	5,4	1,5	4,8
2015	28,2	1,8	6,4	1,3	4,6

Статистический учет несчастных случаев на производстве ведут Федеральная служба государственной статистики (Росстат), Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) и Фонд социального страхования Российской Федерации (ФСС). Следует заметить, что данные этих органов отличаются друг от друга из-за формирования базы учета на основе различных методологических подходов (рисунок 2, таблица 2).

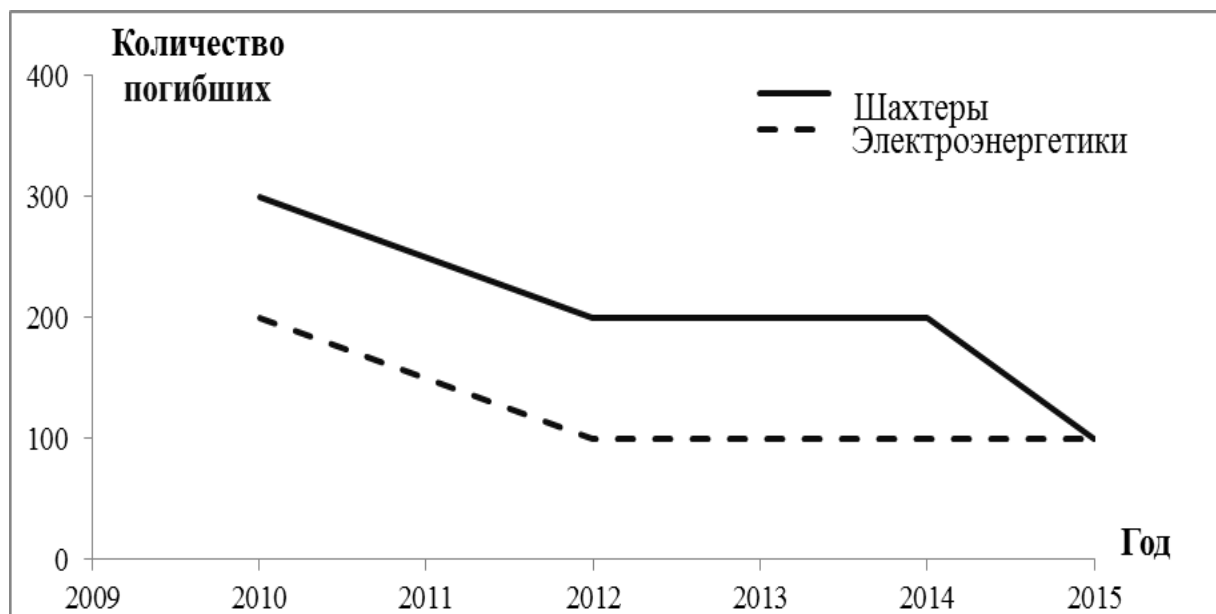


Рисунок 1 – Динамика погибших в несчастных случаях [3]

Таблица 2 – Данные о несчастных случаях в электроэнергетике [3]

Год	Несчастные случаи		Пострадавшие		Погибшие	
	Количество	% к пред. году	Количество, чел.	% к пред. году	Количество, чел.	% к пред. году
2012	100		1900		200	
2013	82	82	1600	84,2	200	100
2014	222	270,7	1500	93,8	100	50
2015	119	53,6	1300	86,7	100	100
2016	117	98,3	1400	107,7	95	95

Как видно из приведенных в таблице 2 данных, в электроэнергетике показатель количества погибших на производстве не стабилен и не всегда показывает тенденцию к снижению.

Для анализа производственного травматизма используют показатели коэффициента частоты травматизма  $K_{\text{ч}}$  и коэффициента частоты несчастных случаев со смертельным исходом  $K_{\text{см}}$  [4]. Данные коэффициенты вычисляются по следующим формулам:

$$K_{\text{ч}} = 1000 \cdot \frac{N}{P}, \quad K_{\text{см}} = 1000 \cdot \frac{N_{\text{см}}}{P},$$

где  $N$  – количество несчастных случаев, произошедших в организации за рассматриваемый период (год);

$N_{\text{см}}$  – количество несчастных случаев со смертельным исходом за рассматриваемый период (год);

$P$  – среднесписочный состав работников в организации за рассматриваемый период (год).

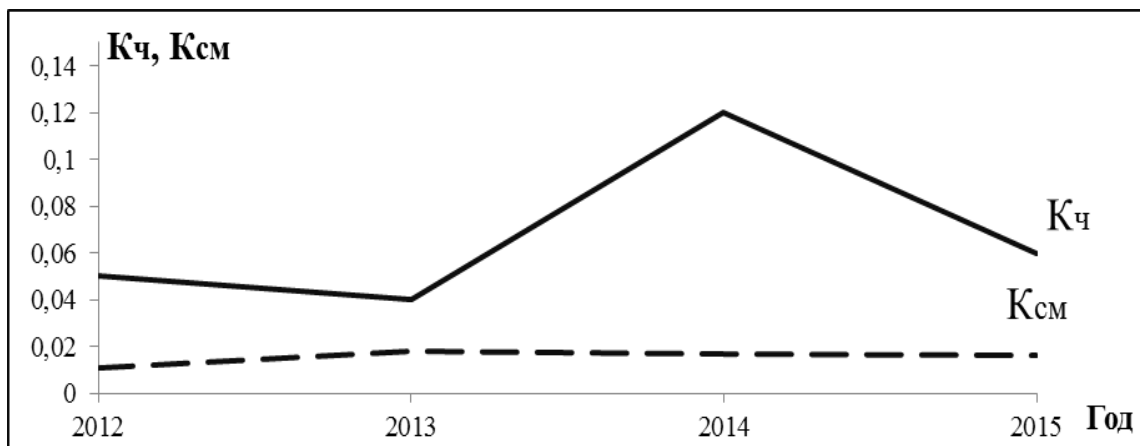


Рисунок 2 – Динамика травматизма на производстве

Как видно из графика, явной зависимости в динамике травматизма не прослеживается.

Обеспечение безопасности на предприятиях энергетического комплекса зависит от множества причин. Для комплексного анализа травматизма и несчастных случаев необходимо детальное изучение их связи с динамикой объема производства, затратами на охрану труда, уровнем зарплаты, качеством обучения как специального, так и в области безопасности и пр. Основа безопасности труда закладывается в образовательных учреждениях [6]. Именно превентивное формирование у работников, когда они еще являются учащимися, студентами, приоритета обеспечения безопасности позволит внедрить современную систему менеджмента профессиональной безопасности и здоровья (СМПБ и З).

#### Библиографический список

1. Русак, О.Н. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. 10-е изд., стер. / О.Н. Русак, К.Р. Малаян, Н.Г. Занько; под ред. О.Н. Русака. - СПб.:Лань, М.: ОМеГА - Л,2006. - 448 с.: ил.
2. Международная организация труда [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://io1/ru>- Загл. с экрана.
3. Российский статистический ежегодник 2016. Стат. сб./ Росстат. М., 2016. 725 с. [Электрон.Ресурс]. Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1135087342078](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078) - Загл. с экрана.

4. Охрана труда и БЖД [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ohrana-bgd.narod.ru/edaproiz\\_20.html](http://ohrana-bgd.narod.ru/edaproiz_20.html) -Загл. с экрана.

5. Лежава С.А. Проблемы формирования ноксологической культуры при преподавании безопасности жизнедеятельности в условиях реформирования высшей школы/ Вестник СибГИУ. 2015. № 2 (12) С. 100-102.

УДК 502.17(1/9)

## **БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

**Мещерякова Д.Е., Пушкарёва Н.Ю., Скрыбина Е.А.**

**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 освещается природа возникновения биологического этапа рекультивации в научном, техническом и сельскохозяйственном аспектах. Рассматриваются особенности биологического этапа рекультивации нарушенных земель угольного предприятия.

Ключевые слова: биологический этап рекультивации, нарушенные земли, угольное предприятие, научный, технический, сельскохозяйственный аспекты.

Рекультивация земель, поврежденных промышленной деятельностью, в практическом и теоретическом направлениях – понятие относительно новое и возникло как противодействие наступления промышленности на природные ландшафты. Указанная проблематика описывается в научных трудах таких ученых, как П. Ф. Кулинич, Г. М. Панас, А. И. Голованов, Н. М. Бувеский, Л. Ф. Зорин, Ю. Г. Жариков, Л. В. Моторина [1].

На современном этапе существуют пробелы относительно регулирования земельных отношений в сфере охраны и рационального использования земель.

Целью этой статьи является анализ проведения биологического этапа рекультивации нарушенных земель угольного предприятия.

Во многих странах она рассматривается как комплексная междисциплинарная проблема реконструкции ландшафтов и восстановление их продуктивности, экологической сбалансированности, хозяйственной и эстетической ценности.

В отечественной литературе термин «рекультивация территорий» впервые встречается в работе И. В. Лазаревой, которая проанализировала зарубежный опыт рекультивации и рассматривала данную проблему как использование нарушенных промышленностью территорий для целей градостроительства [2].

Описывая сам процесс осуществления горнотехнического этапа рекультивации земель, хочется отметить, что неотъемлемой и важной его частью является снятие, складирование и хранение плодородного поверхностного слоя почвы.

Следующим важным шагом данной стадии является формирование рельефа рекультивированных площадей, и технология их планирования.

В техническом аспекте проведение рекультивационных работ применяют два способа формирования отвалов рельефа: селективный и валовой. С практической точки зрения селективный способ является наиболее эффективным и экономически выгодным, поскольку может быть применен для всех направлений осуществления рекультивации.

По окончании этого этапа рекультивации наступает завершающий момент в осуществлении восстановления поврежденных земель – биологический этап рекультивации, который также должен иметь свою юридическую обоснованность и закреплённость на законодательном уровне.

Под биологическим этапом рекультивации земель в научной литературе понимается комплекс биологических мероприятий по восстановлению плодородия нарушенных земель (агротехнические, фитомелиоративные и другие мероприятия), направленный на воссоздание флоры и фауны, окружающей среды, которое подлежит восстановительным мероприятиям [3].

Биологическую рекультивацию осуществляют землепользователи, которым передаются земли после технической рекультивации, проводимой за счет средств предприятий и организаций соответствующего министерства, проводившие на землях горные или другие виды работ [4]. К сожалению, данная норма четко прописана в действующем законодательстве. Данное толкование можно встретить только в рабочих проектах по проведению рекультивационных работ.

Следующим важным моментом в проведении биологической рекультивации является определение направлений дальнейшего использования рекультивированных земель. Самыми распространенными являются такие – сельскохозяйственный, лесохозяйственный, водохозяйственный, рекреационное, санитарно-гигиеническое и строительный [3].

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом оказывает значительное воздействие на окружающую среду, при котором изменяется естественный круговорот веществ и энергий, динамика природных процессов, структура и продуктивность биосистем. Прежде всего, это проявляется в изменениях ландшафтов, гидрогеологического, гидрохимического, гидробиологического и климатических режимов. Происходит интенсивное перераспределение химических элементов, захватывающих большое пространство; образуются геохимические аномалии. В угольной промышленности специалистами ВНИИОСугля, НИИОГРа и Центрогипрошахта разработаны схемы с селективной выемкой и укладкой в отвал потенциально плодородных пород с последующим перекрытием плодородным слоем почвы.



Эффективность рекультивации в значительной степени зависит от сроков и качества ее проведения. При этом надо учесть, что ответственность за своевременную горнотехническая рекультивация и передаче земель в надлежащем состоянии, освободившиеся после завершения работ по добыче сырья, возлагаются на руководителей горнодобывающих предприятий, а за своевременное и рациональное использование – на землепользователей, которым передаются рекультивированные земли.

Научные исследования свидетельствуют, что повторное использование рекультивированных земель может быть рациональным и эффективным только в случае правильного выбора направления восстановительных работ на нарушенных землях. Именно такой подход позволяет позже воссоздать нарушенный ландшафт и частично или полностью восстановить флору и фауну, утраченную в процессе горных разработок. При этом нужно учитывать, что предоставление нарушенным землям состояния, пригодного для повторного использования, не всегда может совпадать с предыдущим их назначением.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что биологический этап рекультивации нарушенных земель угольного предприятия – это юридически закрепленный комплекс горнотехнических, мелиоративных, сельскохозяйственных, лесохозяйственных и инженерно-строительных работ, направленных на восстановление плодородия почв в процессе добычи полезных ископаемых и проведение всех видов строительных, мелиоративных и других работ, которые бесспорно связаны с нарушением поверхностного почвенного покрова. Это обуславливает необходимость введения регулирования рекультивационных мероприятий.

#### Библиографический список

1. Голованов А. И. Рекультивация нарушенных земель / Голованов А. И., Зимин Ф. М., Сметанин В. И. - М.: Колос, 2009.– 325 с.
2. Магарил Е. Р., Локкет В. Н. Основы рационального природопользования: учебное пособие/ Е. Р. Магарил, В. Н. Локкет.- М.: КДУ, 2015.– 460 с.
3. Бортникова Г.А., Межова Л.А. Технология рекультивации территории карьеров биологическим методом рекультивации. В сборнике: Территориальная организация общества и управление в регионах Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2015. С. 142 – 144.
4. Савченко С.В., Кабанова Г.М., Ложкина Ю.Ю. Биологический этап рекультивации нарушенных земель в пределах горного отвода ОАО «ЛУГОВОЕ». В сборнике: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией. М.В. Темлянцева. 2015. С. 351 – 353.

## **ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ДЛЯ ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА: НЕФТЕСБОРНОГО ПУНКТА**

**Каримова И.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ильясова А.И.**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, e-mail: irina.karimova.ol@gmail.com*

Статья посвящена проблемам оценки риска на объектах сбора нефти и газа.

Ключевые слова: риск, оценка риска, нефть, анализ риска, авария, дерево событий

Объекты нефтегазодобычи являются объектами повышенной опасности. Основными веществами, обращающимися на объекте являются нефть и попутный газ, являющиеся легковоспламеняющейся жидкостью и горючим газом. Эти вещества обладают ярко выраженным токсическим воздействием на человека и окружающую среду, при определенных условиях способны образовывать с кислородом воздуха взрывоопасные смеси [6].

Нефтесборные пункты могут содержать в своем составе следующее оборудование: сепараторы, газосепараторы, резервуары подготовленной нефти, факельные хозяйства, газопроводы на факел, нефтесборные трубопроводы, емкости дренажные и утечек, путевые подогреватели нефти и пр.

К возможным причинам возникновения аварии и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий, относятся причины и факторы, связанные с отказами оборудования. К основным факторам, связанным с отказами оборудования относятся:

- опасности, связанные с типовыми процессами (большое количество обращающегося опасного вещества, повышенное давление, агрегатное состояние опасного вещества – газонасыщенное состояние);

- физический износ, коррозия, повреждения, температурные изменения аппаратов;

- остановка подачи энергоресурсов (нарушение нормального режима эксплуатации, изменение параметров рабочего процесса).

Также стоит обратить особое внимание на человеческий фактор в развитии аварий. Неправильные действия персонала могут повлечь за собой возможность разгерметизации системы и возникновения аварии.

Природные факторы развития аварии могут быть представлены разрядами статического электричества, грозowymi разрядами, погодными явлениями, такими как: шторм, ураган, смерч, метель, гололед, критическая амплитуда температур. Техногенные факторы развития аварии – аварийная разгерметизация трубопроводов, террористические акты и диверсии.

Одним из этапов анализа риска на опасном производственном объекте является построение «деревьев событий». Для определения последовательности наступления тех или иных событий или их сочетаний, составляется «дерево событий». «Дерево событий» является схемой перехода из одного состояния в другое, с учетом вероятности [5].

Дерево отказов (аварий, происшествий, последствий, нежелательных событий и пр.) лежит в основе логико-вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее элементов и другими событиями (воздействиями). При анализе возникновения отказа, дерево отказов состоит из последовательностей и комбинаций нарушений и неисправностей, и таким образом оно представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения.

В этом способе реализован дедуктивный метод (причины - следствия), что наделяет метод самыми серьезными возможностями по поиску корневых причин событий для статичных систем, так как дает наглядную и подробную схему взаимосвязей элементов инфраструктуры и событий, влияющих на их надежность.

Главное преимущество дерева отказов (по сравнению с другими методами) заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы или аварии [7].

Дерево отказов описывает систему в определенный момент времени (обычно в установившемся режиме), и последовательности событий могут быть показаны с большим трудом, иногда это оказывается невозможным. Это справедливо для систем, имеющих сложные контуры регулирования, в таких случаях, как правило, обращаются к методам, основанным на стохастических (случайных) процессах.

В данном случае будут рассмотрены сепаратор, газопровод на факел высокого давления, резервуары подготовленной нефти.

В нашем случае возможны несколько групп сценариев.

Сценарии 1-й группы – разгерметизация сепаратора. Наиболее вероятным является сценарий с разрушением сепаратора, выбросом нефти и образованием взрывоопасной паровоздушной смеси и ее рассеиванием. Наиболее опасным является сценарий, при котором разрушение сепаратора и выброс нефти происходит в присутствии источника зажигания, таким образом возможны два варианта развития аварии: пожар пролива при наличии источника зажигания и благоприятных погодных условиях, препятствующих образованию взрывоопасной паровоздушной смеси; при отсутствии ветра или его малой скорости возможно образование паровоздушной смеси, которая взрывается при наличии источника зажигания. В последних случаях последствия обусловлены воздействием высокой температуры выбросом продуктов горения и действием ударной волны при взрыве [4].

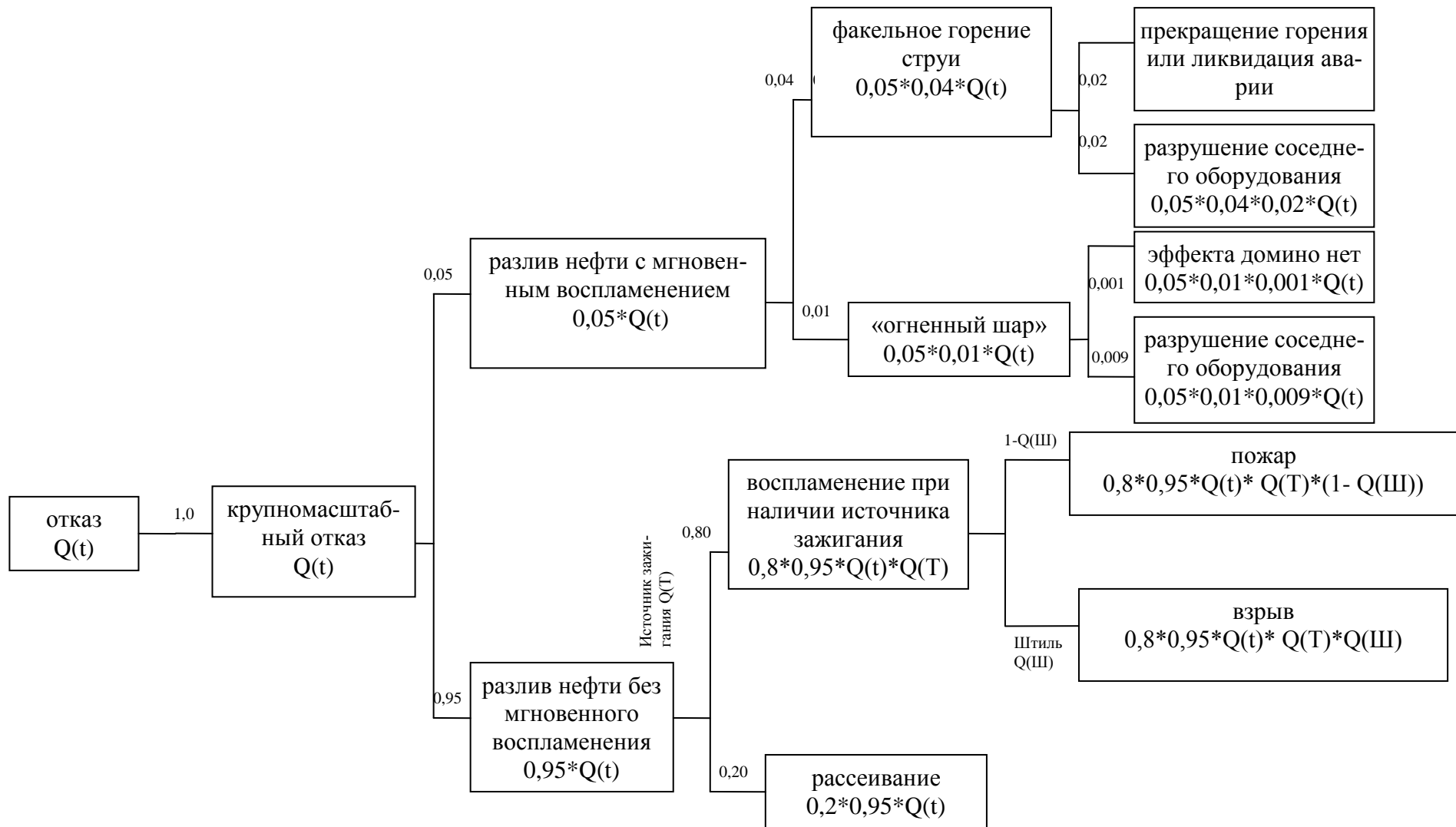


Рисунок 1 – Дерево событий при разгерметизации сепаратора и резервуара

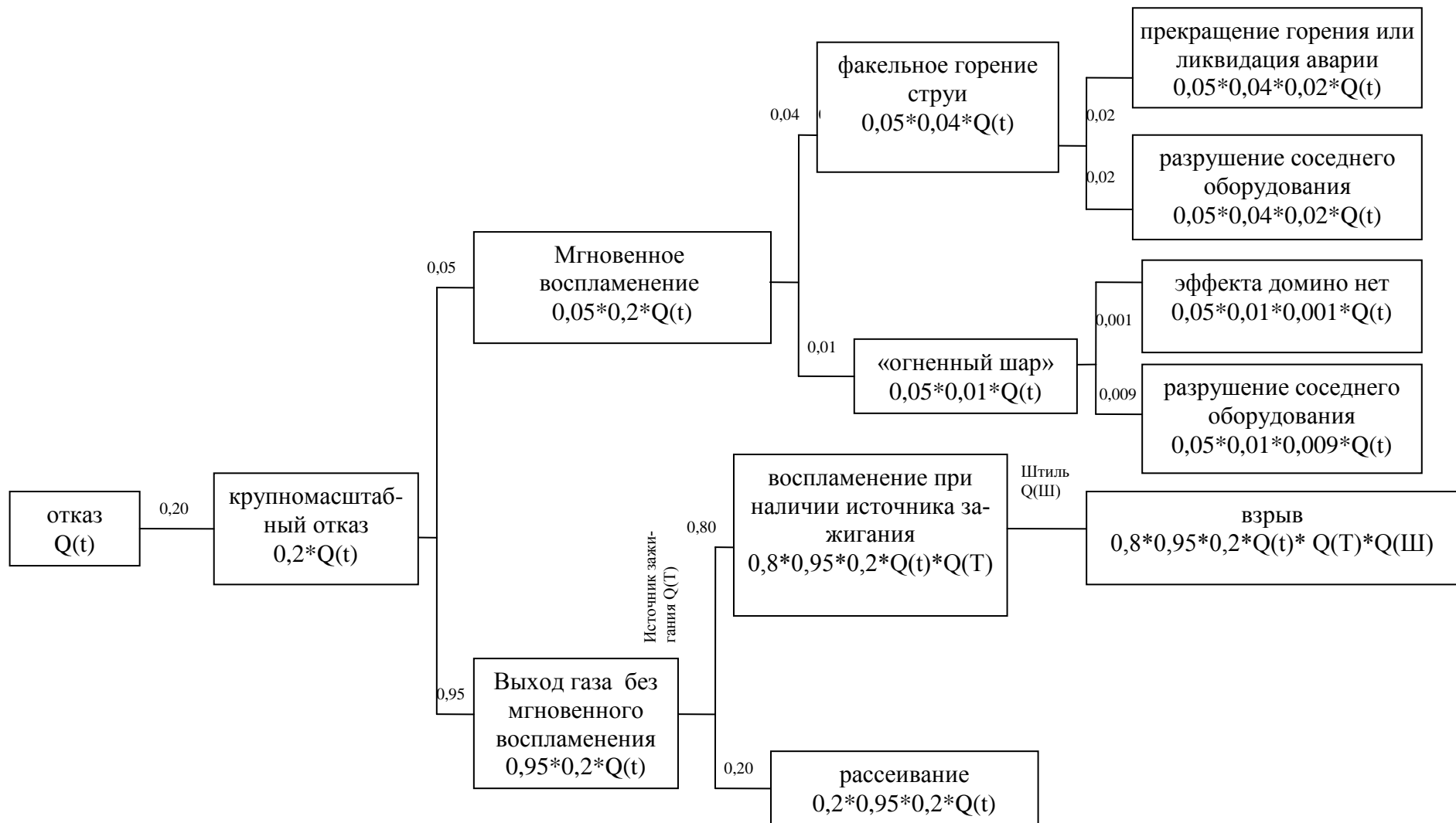


Рисунок 2 - «Дерево событий» при разгерметизации газопровода

Сценарии 2-й группы – разгерметизация газопровода на факел высокого давления. Наиболее вероятным сценарием является сценарий с выбросом газа при нарушении целостности газопровода, образованием взрывоопасной паровоздушной смеси и ее рассеиванием без опасных последствий. Наиболее опасным является сценарий с выбросом газа и образованием паровоздушной смеси в присутствии источника зажигания, что повлечет за собой взрыв и разрушение ударной волной находящихся рядом аппаратов и зданий.

Сценарии 3-й группы – разгерметизация существующих резервуаров. Наиболее вероятным является сценарий с рассеиванием паровоздушной смеси, образующейся при разгерметизации резервуара. Наиболее опасными являются сценарии с выбросом нефти из резервуаров в присутствии источника зажигания при разных погодных условиях. При штиле или малой скорости ветра возможно образование паровоздушной смеси и последующим взрывом при внесении источника зажигания, последствиями могут быть разрушение соседних резервуаров, аппаратов и рядом расположенных зданий, попадающих в зону действия взрывной волны. При достаточном ветре возможен пожар пролива, и получение ожогов персоналом, отравление продуктами горения и пр. [3].

«Деревья событий» при разгерметизации сепаратора и резервуара представлены на рисунке 1 «дерево событий» при разгерметизации газопровода на факел высокого давления - на рисунке 2.

#### Библиографический список

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.01.97 №116-ФЗ.
2. ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001) «Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство». – М.: Стандартинформ. – 2006.– 46 с.
3. РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Утв. 10.07.2001 г. №30.
4. РД 03-409-01 Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01., №25.
5. Баженов, С.А. Применение интегрального параметра потенциальной опасности технологического оборудования при разработке декларации промышленной безопасности / С.А. Баженов, Ю.В. Косенко, А.Ю. Ершов, А.В. Ложкин, А.Г. Чазов // Промышленность и безопасность.– 2016. – Т. 100, №3. – С. 48-50.
6. Петров, К.В. Управление безопасностью объектов нефтепереработки с позиций концепции приемлемого риска / К.В. Петров, Е.К. Сергеев, М.В. Мальцев // Промышленность и безопасность. – 2015. – Т.84, № 5. – С. 26–29.
7. Гродзовский, Г.И. Анализ риска технических устройств в обосновании безопасности машин и оборудования / Г.И. Гродзовский, М.В. Пелипенко, В.В. Котельникова, И.В. Яковлев, Е.А. Еременко // Промышленность и безопасность. – 2014. – Т.74, № 10. – С. 42–49.

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛЭП И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЮДЕЙ**

**Воронцов А.В.**

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: san4es180796@mail.ru*

Проанализированы исследования в области негативного влияния линий электропередач (ЛЭП) на жизнедеятельность людей и последствий воздействия магнитного поля на здоровье человека. Установлена обоснованность соблюдения действующих нормативов при расположении жилых комплексов вблизи ЛЭП.

Ключевые слова: высоковольтные ЛЭП, магнитное поле промышленной частоты (МППЧ), безопасность, электрическое поле, охранная зона, гигиенические нормы, стандарты, влияние на здоровье.

Отношение к воздействию высоковольтных ЛЭП и магнитного поля промышленной частоты на безопасность жизнедеятельности людей сложилось в РФ как результат состояния, исторически наследованного от СССР. «В Советском Союзе в нормативах безопасности вообще не учитывалась магнитная составляющая излучения высоковольтных ЛЭП. Разрешалось и строительство в зоне ЛЭП, и проживание» [1].

Однако в настоящее время при выборе жилья люди все чаще и чаще большое уделяют внимание близости ЛЭП. Установлено, что «отрицательное действие электромагнитного поля проявляется под ЛЭП напряжением 330 кВ и выше» [2].

Известно, что электромагнитное поле представляет особую форму материи. Всякая электрически заряженная частица окружена электромагнитным полем, составляющим с ней единое целое. [3, С.227].

«Источниками электрических полей промышленной частоты (50 Гц) являются: линии электропередач и открытые распределительные устройства» [3, С.228] трансформаторы, трамвайные провода, шины высоковольтных электрических подстанций и др.

«Механизм воздействия ЭМП... в упрощенном виде...можно представить следующим образом: в постоянном электрическом поле молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются и ориентируются по направлению поля: в жидкостях, в частности в крови, под электрическим воздействием появляются ионы и... токи» [3, С.232].

Переменное поле вызывает нагрев тканей человека как за счет переменной поляризации диэлектрика, так и за счет появления токов проводимо-

сти. Тепловой эффект является следствием поглощения энергии электромагнитного поля. Вследствие этого поглощается энергия ЭМП не одинаково, отсюда воздействие на разные ткани происходит также не одинаково» [3, С.232].

Надо отметить, что, «наиболее опасное место на ЛЭП – середина пролета линии под крайним проводом. Напряженность электрического поля в этом месте ЛЭП составляет: для линий напряжением 330 кВ – 6 кВ/м, а для ЛЭП в 500 кВ – 14 кВ/м» [2].

Гигиеническими нормами ГОСТ 12.1.002-72 ССБТ [4] установлено, что в «поле напряженностью от 5 до 10 кВ/м допускается работать в течение не более 3 ч, при напряженности от 10 до 15 кВ/м – не более 1,5 ч в сутки».

Вследствие этого ЛЭП следует огораживать по участку охранной зоны, «охранная зона – это участок земли, ограниченный параллельными прямыми – проекцией крайнего провода ЛЭП на поверхность земли и линией, проходящей на расстоянии, установленном в зависимости от напряжения ЛЭП (таблица 1)» [2]. Охранные зоны вдоль воздушных линий электропередач и над подземными кабельными линиями установлены в целях обеспечения сохранности электрических сетей, надежного снабжения электроэнергией промышленности и населения, предотвращения несчастных случаев» [5].

Таблица 1- Охранная зона ЛЭП, м

Напряжение ЛЭП, кВ	До 1	10	35	110	150	220	400	500
Ширина зоны (А)	2	10	15	20	25	25	30	30

ЛЭП должны находиться относительно автомобильных дорог на определенном расстоянии. И так же должна быть выдержана высота проводов до земли (таблица 2).

Таблица 2 - Габариты ЛЭП, м [5]

Расстояние, м	Напряжение ЛЭП, кВ							
	До1	10	35	110	150	220	400	500
До полотна автомобильной дороги	6	7	7	7	7,5	8	8,5	9
До земли (вне дорог) ненаселенная местность	5	6	6	6	6,5	7	7,5	8
населенная местность	6	7	7	7	7,5	8	8	8

В [6] установлено, что на территории московского района «напряженность электрического поля вблизи ЛЭП не превышает установленных нормативов. По магнитному полю – все не так однозначно. Величина магнитного поля зависит от токов, проходящих по проводам, материала стен здания и даже конструкции опор ЛЭП».

Как известно из [7], у людей, проживающих на расстоянии до 800 м от



ЛЭП напряжением 200 кВ, статистически чаще встречаются лейкозы, опухоли мозга, онкология молочной железы. У мужчин снижается репродуктивная функция, снижается процент рождения мальчиков. Виной этому – повышенный уровень магнитной составляющей электромагнитного поля, опасный порог плотности магнитного потока в 0,1 микротеслы (мкТл). В Финляндии допустимо значение плотности магнитного потока в 0,2 мкТл» [7].

Немаловажно, что «агентство по исследованию рака ВОЗ отнесло МППЧ с плотностью потока выше 0,3-0,4 мкТл к «возможным канцерогенам» группы 2В. Группа 2А - «вероятных канцерогенов», группа 1 - абсолютно доказанные канцерогены. Эксперты ВОЗ допускают, что магнитная составляющая электромагнитного поля промышленной чистоты плотностью потока выше 0,3-0,4 мкТл – «в условиях длительного хронического воздействия, возможно, является канцерогенным фактором окружающей среды» [6].

#### Библиографический список

1. Сертифицированный экспертный центр в СДС «СУДЭКСПЕРТ» РОСС RU. И1124.04ЖЛД0/000826 СРО-Э-155/15/Энергоаудит/НП «Судебно-экспертная палата» [Электронный ресурс]. – URL:[https:// achek.ru/ articles/ 190910](https://achek.ru/articles/190910) . (дата обращения 21.02.2017).

2. Охрана труда и техника безопасности. Безопасность жизнедеятельности вблизи воздушных ЛЭП.» [Электронный ресурс]. – URL:<http://ohranatruda-ua.ru/stati-po-bzhd/2297-bezopasnost-zhiznedeyatelnosti-vblizi-vozdushnykh-lep.html> . (дата обращения 21.02.2017).

3. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп./ Под ред. О.Н. Русака. – СПб.: Издательство «Лань» , 2000. – 448с., ил. – (Учебники для вузов, специальная литература).

4.ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.[Электронный ресурс]. – URL:[http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_12.1.002-84](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_12.1.002-84). (дата обращения 21.02.2017).

5. Безопасность работ в охранных зонах и вблизи линий электропередач. [Электронный ресурс]. – URL:<http://cap2.ru/publ/39-1-0-712> .(дата обращения 21.02.2017).

6. Саратовский научно-медицинский журнал . Выпуск № 4 / том 10 / 2014. Магнитное поле воздушных линий электропередачи в московском регионе: обобщенные результаты измерений и их оценка.<http://cyberleninka.ru/article/n/magnitnoe-pole-vozdushnyh-linij-elektroperedachi-v-moskovskom-regione-obobschennye-rezultaty-izmereniy-i-ih-otsenka>.

7. Независимая экологическая экспертиза «экология жизненного пространства». Охранная зона ЛЭП [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ecospace.ru/ecology/oxrannaya-zona-lep/> (дата обращения 21.02.2017).

## ТЕПЛООБМЕНИКИ С ОРЕБРЕННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Птухина Т.Д. , Фёдоров В.М.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

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

В работе рассмотрены и проанализированы особенности оребрения поверхности теплообменников, применяемых в черной металлургии.

Ключевые слова: утилизация теплоты, рекуператоры, оребренные поверхности, теплообмен, коэффициент теплопередачи.

Известно, что металлургия является одной из самых энергоемких отраслей индустрии: доля затрат на энергоносители составляет 30 % и постоянно повышается из-за роста цен на энергоносители. Одним из путей повышения эффективности использования топлива является утилизация тепла. В этой связи перспективными представляются работы по совершенствованию и изысканию новых типов теплообменников.

В настоящее время на предприятиях металлургии при замене устаревшего теплообменного оборудования все чаще применяют оребренные пластинчатые рекуператоры.

Конструкции теплообменников с оребренными поверхностями являются весьма компактными и эффективными.

Оребренная поверхность состоит из поверхности ребер и поверхности участков, не занятых ребрами. Температура этих двух поверхностей и их размеры различны. Контакт между основанием ребра и несущей их стенкой трубы может быть недостаточно плотным. Поэтому должно быть учтено термическое сопротивление контакта и собственное термическое сопротивление ребра, зависящее от его формы, размеров и материала. Кроме того, разность температур оребренной поверхности и среды переменна по высоте ребер.

Оребрение поверхности теплообмена применяют для выравнивания термических сопротивлений в тех случаях, когда с одной стороны поверхности теплообмена наблюдаются большие значения коэффициента теплоотдачи, а с другой – малые [1].

Для увеличения общего коэффициента теплопередачи чаще всего оребрение поверхности теплообмена проводят с той стороны, где коэффициент теплоотдачи относительно мал. В этом случае воспринимаемое за счет развития поверхности теплообмена большее количество тепла передается по металлу ребер, обладающему низким термическим сопротивлением.

В теплообменных аппаратах типа «труба в трубе» конструктивно значительно легче обеспечивается оребрение поверхности теплообмена, что

позволяет в 4 - 5 раз увеличить поверхность теплообмена со стороны одной из теплообменивающихся сред. В этом случае оребрение поверхности со стороны такой теплообменивающейся среды позволяет значительно увеличить количество переданного тепла [4].

Для интенсификации теплообмена в аппаратах увеличивают площадь поверхности теплообмена со стороны газообразных продуктов сгорания за счет ее оребрения. Степень оребрения поверхности выбирают, исходя из соотношений коэффициентов теплоотдачи  $a_1$  и  $a_2$ . Если значения  $a_1$  и  $a_2$  малы, то оребрение выполняется с обеих сторон.

В случаях, когда одна из теплопередающих сред имеет низкий коэффициент теплоотдачи (газы, сильно вязкие жидкости), производят оребрение поверхности теплообмена со стороны этой среды. Этим достигают интенсификации теплообмена за счет увеличения поверхности [2]. Для газов и жидкостей применяются теплообменники с многорребристыми трубами, оребрение которых осуществляется с помощью приварки волнистой ленты, образующей ребра с просветом примерно 10 мм [5].

Наличие параметра скорости и критерия Рейнольдса в расчетных зависимостях по теплообмену указывает на жесткую связь теплообмена с гидродинамикой. В настоящее время практикуется оребрение поверхностей теплообмена для увеличения теплосъема. Однако в этих случаях необходимо обращать особое внимание на наличие надежного контакта между ребром и трубкой. При хорошем контакте термическое сопротивление в зоне контакта равно нулю.

Оребрение поверхности, как уже отмечалось выше, применяется со стороны теплоносителя, обладающего меньшим коэффициентом теплоотдачи. Оребрение поверхности теплообмена целесообразно не только в связи с высокими значениями коэффициента теплопередачи, но и по весовым показателям, так как поверхность оребрения, в 5 - 10 раз превосходящая несущую поверхность трубок, не подвержена давлению, а поэтому оребрение изготавливается из более тонкого материала, чем материал трубки, тем самым обеспечивается значительное преимущество по весу [3].

Целесообразной формой сечения ребра по теоретическим соображениям (наименьшей количество металла при максимальной теплоотдаче) является треугольной. Она применяется в чугунных игольчатых теплообменниках с иглами на внешней и внутренней стороне.

Наименьшую компактность имеют прямотрубные теплообменники. Для увеличения компактности используют оребрение поверхности теплообмена. Так как ребра не несут механической нагрузки от разностей давлений теплоносителей, они могут быть сделаны менее прочными по сравнению с несущей поверхностью, поэтому увеличение поверхности теплообмена за счет оребрения (например, в 5 раз) происходит без существенного (в 1,5-2,0 раза) увеличения массы.

## Библиографический список

1. Арнольд Л.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – Москва: Высшая школа, 1979. – 448с.
2. Исаченко В.П. Теплопередача/ В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомель. – 4-е изд. – М.: Энергоиздат,1981. – 416с.
3. Калинин Э.К. Дрейцер Г.А. и др. Эффективные поверхности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат,1998. – 408с.
4. Керн Д., Краус А., Развитые поверхности теплообмена. – М.: Энергия, 1977. – 464с.
5. Романков П.Г. и др. Процессы и аппараты химической промышленности. – Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1989. – 560с.

УДК 628.35

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Шенцова М.А., Пушкарёва Н.Ю., Скрыбина Е.А.**

**Научный руководитель: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.**

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

В статье освещается проблема сброса недостаточно очищенных сточных вод промышленных предприятий города Новокузнецка в канализационную систему. А также влияние указанных сбросов на микроорганизмы активного ила очистных сооружений канализации города.

Ключевые слова: биологическая очистка сточных вод, лабораторные исследования микрофлоры, активный ил, залповые выбросы, концентрация токсичных веществ, биоценоз водоёма.

Проблема сброса сточных вод с каждым годом становится острее. Особенно ярко данная проблема проявляется в городах с сильно развитой промышленностью. В связи с высокой стоимостью очистных сооружений, лишь немногие предприятия могут применять собственные очистные сооружения. Для большинства предприятий экономически выгодно производить выпуск сточных вод в систему городской канализации. Но наряду с этим возникает другая проблема – при превышении ПДК на сброс опасных веществ в сточной воде, создается угроза для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила, участвующих в биологической очистке. И, как следствие, создается угроза нарушения процесса качественной очистки всей сточной воды, поступающей на городские очистные сооружения и попадания загрязняющих веществ в природные водоемы (река Томь).

Промышленность города представлена несколькими отраслями. Наиболее крупные – металлургия, угольная промышленность и машиностроение, энергетика. Менее широко представлена фармакологическая и строительная промышленность. Все предприятия имеют хорошие перспективы развития и поставляют продукцию на российский рынок, а также экспортируют во многие страны мира.

Предприятия цветной металлургии Новокузнецка выпускают продукцию для авиационной промышленности, автомобильных и моторостроительных заводов и многих других предприятий.

В Новокузнецком районе несколько угольных шахт, на которые добывается уголь в больших количествах.

Предприятия машиностроения делают металлоконструкции для зданий, железнодорожных и автомобильных мостов. Продукция представлена в широком ассортименте.

В Новокузнецке производится более 100 наименований лекарственных препаратов, которые отвечают международным стандартам. Часть из них внесена в российский список жизненно необходимых лекарственных препаратов [1].

Основными источниками загрязненных сточных вод города Новокузнецка являются следующие отрасли: металлургия, предприятия пищевой промышленности (рестораны, кафе, столовые), фармацевтическая, производство пищевых продуктов (молокозаводы, кондитерское производство), загрязнения от автомобилей (автомойки, автосервисы, ливневые стоки с автомобильных дорог), а также коммунально-бытовые сточные воды.

На основе многолетних лабораторных исследований сточных вод предприятий и коммунально-бытовых сточных вод в Новокузнецке была выявлена следующая статистика по содержанию загрязняющих веществ в сточных водах:

- металлургическое производство (Новокузнецкий алюминиевый завод (НКАЗ); ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЕВРАЗ ЗСМК); ОАО "Кузнецкие ферросплавы"): соединения железа (например,  $Fe_2(SO_4)_3$ ), соединения алюминия (например,  $Al_2O_3$ ), соединений цинка (например,  $ZnSO_4$ ,  $Zn(OH)_2$ ), марганца (например,  $MnO_2$ ), свинца, СПАВЫ;

- предприятия пищевой промышленности (кафе, рестораны): азотная группа, фосфатная группа;

- автомобили: кислоты, СПАВ, различные масла, бензин;

- фармацевтическая промышленность (АО "Органика") – минеральные, органические примеси;

- производство пищевой продукции (ЗАО «Кузбасский пищекомбинат»; ОАО «Хлеб»; ОАО «Хлебокомбинат»; ОАО «Новокузнецкая кондитерская фабрика»; ОАО «Новокузнецкий хладокомбинат», ОАО Кузнецкая молочная компания) – спирты;

Вследствие попадания перечисленных веществ в концентрациях выше

ПДК в природные водоемы, возможны негативные последствия:

- соединения железа способны оказывать раздражающее действие на слизистые и кожу, вызывая гемохроматоз и аллергию;

- соединения алюминия - конкурируют с усвоением фосфора, кальция и железа, могут приводить к дефициту магния и марганца, изменяют энергообмен в клетках, в результате чего клетки теряют способность к нормальному размножению, начинают делиться хаотично, порождая опухоли [3];

- соединения цинка в больших концентрациях могут становиться токсичным, что проявляется в блокировании передачи нервных импульсов, торможении подвижности рыб и других функциональных нарушениях соматических органов. Токсичность действия растворенного в воде цинка зависит как от его концентрации, так и от наличия других химических элементов в воде. Так, в присутствии кадмия и меди в воде токсичность цинка для рыб возрастает, и, наоборот, в воде, насыщенной кальцием и магнием, токсическое действие проявляется при значительно более высокой его концентрации [4];

- соединения свинца оказывают воздействие на ЦНС, периферийную нервную систему, метаболизм кальция, гемопоэз, порфириновый обмен [2];

- соединения марганца оказывают воздействие на ЦНС, вызывают гемопоэз [2];

- СПАВ способны вызывать нарушения поведения организмов, и нарушения процессов, вносящих вклад в самоочищение воды. Многие СПАВ крайне медленно разрушаются в результате микробиологического окисления и биodeградации. Не только сами СПАВ, но и продукты их биodeградации, как установлено на примере НПАВ (такие вещества, как алкилфенолы и их производные), обладают персистентностью, высокими коэффициентами биоаккумуляции и оказывают, наряду с другими негативными воздействиями на биоту, эстрогенный эффект [5].

Для предотвращения негативного воздействия перечисленных ранее соединений очень важна качественная биологическая очистка сточных вод. Для этого необходим определенный видовой состав активного ила. С учетом наиболее характерных загрязнителей, способных попадать в больших количествах на городские очистные сооружения, следует выделить микроорганизмы активного ила, способные перерабатывать указанные вещества. Именно на них, по нашему мнению, следует обращать особое внимание при анализе состояния активного ила:

- грибы – усвоение специфических загрязняющих веществ сточных вод – парафины, углеводороды и др.

- актиномицеты – утилизация углеводов и других гидрофобных веществ (характерно пенообразование);

- мелкие амёбы – показатели нарушения очистки, высокой нагрузки, недостаточной аэрации;

- жгутиконосцы – развиваются при высоких нагрузках, в условиях низкого содержания кислорода в иловой смеси, в момент аварийных сбросов

и перегрузок;

- ресничные инфузории – устойчивы к повышенной мутности, недостатку кислорода и повышенным нагрузкам по органическим веществам;

- прикрепленные инфузории – *Opercularia minima* – редко встречаемый вид, развивается в высоконагружаемых илах при неполной биологической очистке;

- род *Zoothamnium* – наличие представителей этого рода в активном иле, как правило, свидетельствует о полном окислении загрязняющих веществ и нитрификации. В массе развиваются в недогруженных илах с продленной аэрацией.

Помимо перечисленных микроорганизмов следует уделять особое внимание роду *Actinophrys* и виду *Gromia neglecta*, которые указывают на поступление токсичных веществ в сточной воде.

Видовое разнообразие является более наглядным показателем качества протекающего процесса очистки, чем просто число видов. Поскольку при воздействии неблагоприятных факторов чувствительные к ним виды исчезают, а их ниши заполняются устойчивыми видами, продуктивность которых возрастает [6].

Большую опасность для активного ила представляют залповые сбросы. В городе Новокузнецке стоит уделять особое внимание залповым сбросам металлургических предприятий. Это обусловлено близким расположением указанных предприятий к городским очистным сооружениям канализации. В результате чего нет возможности для растворения больших концентраций токсичных веществ в водах канализации и уменьшения их негативного воздействия. По причине вышеуказанных обстоятельств, при залповых сбросах происходит гибель микроорганизмов ила, ухудшение биологической очистки сточных вод.

Необходимое количество и оптимальное соотношение органических веществ и биогенных элементов в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, – обязательное условие удовлетворительного функционирования и хорошей осаждаемости активного ила.

Идеальным субстратом для роста и развития гетеротрофных бактерий являются бытовые сточные воды. Содержание основных питательных веществ в них характеризуется соотношением: БПК<sub>5</sub>: N : P – 100 : 17 : 5.

СНиП 2.04.03-85 рекомендует для сточных вод смешанного состава (бытовых и промышленных) содержание органических веществ и основных биогенных элементов в пропорции: БПК<sub>5</sub>: N: P – 100 : 5 : 1 [6].

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что необходим постоянный контроль за сбросом сточных вод, содержанием в них вредных, токсичных веществ. Превышения могут привести к нарушениям в процессе биологической очистки, из-за нарушения видового состава активного ила, что в свою очередь чревато попаданием вредных веществ в реку Томь и негативным влиянием на биоценоз водоема.

## Библиографический список

1. [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://www.wiki-prom.ru/city/178city.html>.
2. [Электронный ресурс] -Режим доступа:[http://eco-norm.ru /page/139634](http://eco-norm.ru/page/139634).
3. Венецкий С.И. Рассказы о металлах/ М., Metallurgia, 1993, 236 с.
4. Голованова И.Л. Раздельное и сочетанное влияние температуры, рН и тяжелых металлов (Cu, Zn) на активность карбогидраз кишечника рыб / И.Л. Голованова //Токсикологический вестник. – 2011. – №1. – с.32.
5. Остроумов С.А., Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на гидробиологические механизмы самоочищения водной среды [Электронный ресурс]: электрон. данные. - Минск: Белорусская цифровая библиотека LIBRARY.BY, 08 июля 2010. – Режим доступа: [http:// library. by/portalus/modules/ecology/readme.php?subaction=showfull&id=1278596306&archive=&start\\_from=&ucat=&](http://library.by/portalus/modules/ecology/readme.php?subaction=showfull&id=1278596306&archive=&start_from=&ucat=&) (свободный доступ). – Дата доступа: 16.03.2017.
6. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. - М.: АКВАРОС. 2003. - 512 с.

УДК 504.06

## **СБОР АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ С ВОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

**Квашева Е.А., Ушакова Е.С., Козлова И.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ушаков А.Г.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф.Горбачева, г. Кемерово, e-mail: kuzstu@mail.ru*

В данной работе предложен способ переработки животноводческих и древесных отходов для дальнейшего использования их в виде исходного сырья для нефтесорбента. Целевой продукт используется для ликвидации аварийных разливов нефти. Ниже также представлен способ усовершенствования сорбента, для эффективного его сбора после ликвидации аварийного загрязнения с водной поверхности, а именно добавление магнетита в состав продукта.

Ключевые слова: нефтепродукты, нефть, сорбенты, магнетит, вторичное сырье, древесные отходы, животноводческие отходы.

По оценке Гринпис, каждый год на нефтепроводах происходит более 10 000 аварий, из-за чего российскую нефтяную промышленность можно



назвать самой грязной в мире. Точная цифра никому не известна. Нефтяные компании сообщают далеко не обо всех разливах, а надзорные органы не успевают следить за ситуацией. Необходимо сказать, что утечка менее восьми тонн принято классифицировать как «случайность» и официально не регистрируется.

Анализируя данную ситуацию предприятия и экологические службы до сих пор находятся в поиске средств для эффективной ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов. Решение этой проблемы является поиск дешевых и эффективных методов очистки воды. Под эту характеристику подходит метод сорбционной очистки твердыми сорбентами, избирательно поглощающими из среды необходимые компоненты. Этот способ привлекателен своей высокой эффективностью, является экономически выгодным.

В качестве сырья для получения нефтесорбента могут служить отходы деревообрабатывающей промышленности и животноводческих ферм. С развитием животноводческих комплексов остро стоит вопрос о переработке отходов, которые возникают в результате жизнедеятельности организма. Необходимо отметить, что каждое хозяйство в какой-то мере самостоятельно занимается переработкой отходов животноводства, но этого не достаточно для полной их реализации [1]. Так, например, большинство животноводческих предприятий Кемеровской области вывозят отходы на поля и складывают их на свободной площадке. Но данный способ утилизации не является безопасным, так как вместе с отходами в почву попадают микроорганизмы бактериальной микрофлоры, что является нежелательным. Такими опасными возбудителями могут быть палочки туберкулеза, листериоза, гельминты и др. [2]. Ведущие эксперты в области экологии совсем недавно привели доказательства того, что отходы животноводства губительны для планеты и человечества. Крупномасштабное животноводство и современные средства удаления большого количества твердых отходов этой отрасли создают опасность загрязнения почвы и воды [3].

Существует множество положительных методов переработки отходов в основе которых лежит технология сухой экструзии, компостирования, вермикультивирование, пастеризации и многое другое. Но наиболее перспективным и современным методом считается биогазовые технологии переработки отходов. В процессе сбраживания отходов органического происхождения без доступа кислорода образуется биогаз и остается остаток до 80 % собственной массы, который содержит значительное количество питательных веществ и может быть использован в качестве удобрения. Для реализации остатка сброженной биомассы, мы предлагаем использовать ее в качестве исходного сырья для получения нефтесорбента, а также сырья для химического синтеза жидких энергоносителей. Это первая составляющая нефтесорбента, которая будет использована в качестве связующего [4].

В качестве второй составляющей возможно использование отходов деревообрабатывающих предприятий. Скопление отходов в технологических

процессах деревообработки приводит к образованию больших отвалов на территории самих предприятий или вне их. Они подвергаются действию атмосферного воздуха, влаги, бактерий, грибов и насекомых. При этом биомасса отходов разрушается с выделением большого числа соединений, многие из которых токсичны и канцерогенны. Эти вещества смываются атмосферными осадками в почву и загрязняют подземные воды, а также вымываются в соседние водоемы, реки, оказывая вредное воздействие на биологическую и микробиологическую среду. Кроме того, мягкие древесные отходы даже в малом количестве могут стать причиной пожара, как при наличии источника зажигания, так и в случае самовозгорания [5].

Необходимо отметить, что ликвидация аварийных последствий считается незамедлительным действием, но процесс сбора достаточно трудозатратный и длительный. Как правило, имеющиеся сейчас средства не обладают высокой эффективностью. Именно поэтому целью проекта является разработка состава технологии получения сорбента нового поколения – магнитоуправляемого. Чтобы добиться такой характеристики необходимо правильно ввести в состав еще один компонент – магнетит.

Третья составляющая сорбента – Магнетит ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) - широко распространённый минерал чёрного цвета из класса оксидов. Обладает сильными ферромагнитными свойствами. Может истираться в песок, который не теряет магнитных свойств. При поднесении магнита магнетитный песок притягивается к полюсам магнита.

Нами представлено три модели распределения магнитных частиц по сорбенту. Первое это расположение магнетита на поверхности сорбента. Второе распределение частиц магнетита в объеме сорбента. И третье ядро из магнетита, которое составляет основу сорбента. Так утилизация отработанного сорбента представляет собой его сжигание, предполагается извлечение магнетита из золы. Исходя из состава первых двух моделей, сделан вывод о затруднительной утилизации отработанного сорбента. И находясь на поверхности сорбента как в первом случае, частицы магнетита попросту отслаиваются. Способ введения магнетита в объем гранулы на стадии смешения наполнителя и связующего показал свою эффективность и на данный момент находится в разработке. Целевой продукт представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Магнитный сорбент

Наиболее перспективным по нашему мнению является введение магнетита в сорбент в качестве ядра. При этом после сжигания отработанного сорбента, мы извлекаем не магнитный порошок, а исходное ядро, которое может быть вновь использовано для получения нефтесорбента. В связи с этим важным и необходимым является решение вопроса гранулирования магнетита и поиска эффективного связующего. На данный имеется ряд возможных связующих для гранулирования магнетита, но так как заявка на патент еще не отправлена, их наименования не раскрываются.

#### Библиографический список

1. Н.Ф. Садовикова, О.Г. Позднякова. Переработка отходов животноводческих ферм способом вермикультивирования [Текст] // III Молодежный экологический форум: сб. статей.- Кемерово, 2016.
2. Животноводство убивает человечество// «Эзотера» – эзотерика, наука, психология. – 2006. – № 12. – С. 7–8.
3. Радзевич Н.Н., Пашканг К.В. Охрана и преобразование природы. – М.: Просвещение, 2011 – С.57.
4. Квашевая, Е.А. Гидрофобизированный магнитоуправляемый сорбент из отходов промышленных предприятий «Магнесорб» [Текст] / Eurasia Green: сб. тезисов. – Екатеринбург, 2015. – С. 21-23.
5. Зоотехнические аспекты производства экологически безопасного молока / А.В.Ярмоц, З.Т.Баева, С.И.Кононенко, М.Г.Кокаева, М.Я.Кебеков и др. // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2011. –№4. – С.85-89.

УДК 662.765

## ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

**Козлова И.В., Квашевая Е.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ушаков А.Г.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, e-mail:irina15151@mail.ru*

Поиск энергоносителей, альтернативных традиционному углю и газу – одна из важнейших задач для современного общества. Перспективным является использование органических отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий как исходного сырья для получения высококалорийного газа.

Ключевые слова: газогенератор, синтез-газ, основные параметры, газификация.

Непрерывная добыча нефти и газа неизбежно приведет к истощению

запасов природных энергоносителей. Поэтому, чтобы сэкономить невозобновляемые виды топлива, уже сейчас необходимо искать ему альтернативную замену.

Решение данной проблемы видится в использовании органических отходов для получения из них тепло- и электроэнергии. К ним можно отнести отходы животноводческих предприятий (навоз), птицефабрик (помет), предприятий с системой биологической очистки сточных вод (избыточный активный ил), а также деревообрабатывающих предприятий (опилки) [1]. Использование нетрадиционных источников энергии позволит снизить воздействие на окружающую среду, решив ряд экологических проблем [2].

Традиционно применяемый метод сжигания топлива не является энергетически выгодным и экологичным [3]. В результате сжигания образуются вредные вещества, остается зольная часть, а само использование топлива не всегда удобно. Взамен перспективным представляется использование газификации – метода высокотемпературной переработки топлива с ограниченным доступом воздуха, при высоком или нормальном давлении [4].

*Цель работы* – получение альтернативной энергии путем переработки органических веществ в газообразное топливо, включающее стадии получения биогаза и термохимической переработки сброженного остатка. Для достижения данной цели, были поставлены следующие задачи:

1. Изучить физико-химические свойства биогаза
2. Отладить процесс газификации.
3. Подобрать параметры процесса газификации для получения генераторного газа с необходимыми характеристиками.

Исходя из поставленных задач, объектом исследования явились отходы промышленного животноводства и птицеводства.

*Экспериментальные исследования состояли из 5 этапов:*

1. Анаэробное сбраживание исходного сырья.
2. Термическая обработка сброженного остатка.
3. Газификация термообработанного сброженного остатка.
4. Анализ полученных газов
5. Подбор параметров процесса газификации для получения генераторного газа с необходимыми характеристиками.

Схема лабораторной установки газификации сброженного остатка представлена на рисунке 1.

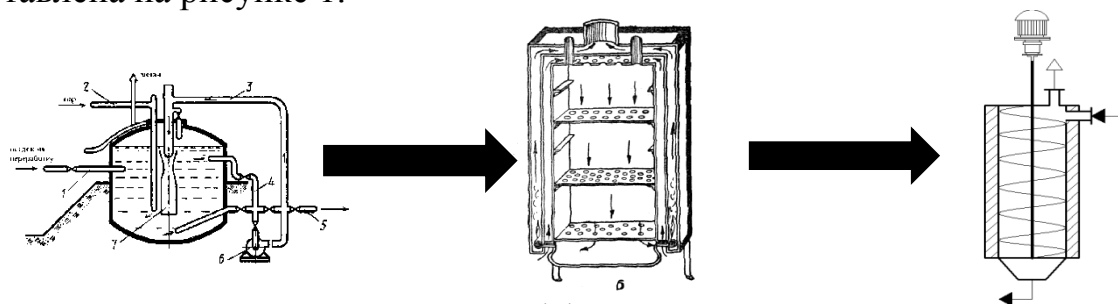


Рисунок 1 - Схема энергоэффективной линии

1. Метантенк
2. Высокотемпературная печь
3. Реактор-газификатор

Реактор газификации представляет собой цилиндрическую стальную емкость с внутренним диаметром 30 мм и длиной 800 мм, которая снабжена с двух концов штуцерами для газифицирующего агента и отвода парогазовой смеси. К одному из штуцеров подсоединена воздуходувка с контролируемым расходом воздуха через блок управления. А второй соединяет реактор с системой охлаждения и очистки парогазовой смеси и газового штуцера для отвода генераторного газа. Трубчатая печь способна нагреваться до 1000 °С со скоростью нагрева 20-30 °С/мин.

При анаэробном сбраживании органических веществ установлено, что концентрация метана в биогазе может достигать 85-90 % об. в зависимости от условий сбраживания.

Экспериментальным путем установили, что биогаз содержит:

- 50-87 %  $\text{CH}_4$ ;

- 13-50 %  $\text{CO}_2$

примеси  $\text{H}_2\text{S}$  и прочих кислых газов.

Калорийность биогаза – варьируется в широких пределах в зависимости от условий получения и может достигать 6000 ккал (25000 МДж) / $\text{м}^3$ .

Также установлено, что из 1 кг сухого вещества возможно получение от 300 до 500 литров биогаза, кроме этого установили, что физические свойства биогаза позволяют судить о возможностях его практического использования и необходимых для этого приемах. Теплота сгорания определяется в основном содержанием  $\text{CH}_4$ , поскольку незначительные количества  $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  на этот показатель практически не влияют. Соответственно температура воспламенения и предел воспламеняемости тоже зависят от содержания  $\text{CH}_4$ .

*Результаты и обсуждения:*

К несомненным плюсам биотоплива полученного средством переработки отходов с помощью энергоэффективной биогазовой линии это его доступность, особенно для сельских жителей, которые могут организовать замкнутый цикл производства на хозяйстве.

Газификация сброженного остатка позволяет полностью перевести органические вещества в газообразную фазу путем термодеструкции и получить газообразное топливо.

Однако, вопреки ожиданиям, биогаз не является легковоспламеняемым или взрывным. Биогаз сам по себе, как и другие горючие газы, не загорается, лишь в тех случаях, когда есть смесь из газа и воздуха в пределах воспламенения, иными словами, когда есть соответствующее соотношение из газа и воздуха.

Благодаря своей универсальности установка может быть использована, как в частных фермерских хозяйствах, так и в крупных промышленных комплексах, кроме этого экономические выгоды такого процесса заключается в

эффективной и экологичной переработке отходов, с получением на выходе полезных в хозяйстве веществ.

#### Библиографический список

1. Нуркеев С.С., Нуркеев А.С., Джамалова Г.А., Кораблев В.В. [и др.]/ Использование биореакторов для моделирования процессов разложения свалочных масс и определения эмиссий загрязняющих веществ на полигонах твердых коммунальных отходов // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Архитектура и строительство в новом тысячелетии». г. Алматы, 7-8 ноября, 2008 г. Алматы: КазНТУ, 2009, С. 471-474.
2. Панцхава, Е.С. Техническая биоэнергетика // Новое в жизни, науке, технике. Сер. Техника. М.: Знание, 1990, №12. 64 с.
3. Муромцев, Г.С. Сельскохозяйственная биотехнология: Состояние, перспективы развития. - Международный сельскохозяйственный журнал, 1986. №3.-С. 56-61.
4. Анаэробная биологическая обработка сточных вод/ Тезисы докладов участников республиканской научно-технической конференции 15-17 ноября 1988г./ Кишинев, 1988г.

УДК 622.6

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Истомин И.Б.**

**Научные руководители: канд. биол. наук, доцент Игнатова А.Ю.,  
канд. техн. наук, доцент Папин А.В.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово, e-mail: istominzima@ya.ru*

Представлены примеры использования углеродных материалов в качестве сырья для нагревательных элементов. Рассмотрена возможность использования в качестве материала нагревательных элементов углеродсодержащие отходы.

Ключевые слова: углеродсодержащие отходы, нагревательные элементы, переработка отходов, материал токопроводящих частей.

На территории Кемеровской области в связи с работой угольных предприятий количество техногенных отходов непрерывно увеличивается. Углеродсодержащие отходы занимают значительные территории и негативно влияют на окружающую среду. Переработка данных отходов позволит их эффективно использовать как сырье, при этом экологическая обстановка в регионе будет улучшаться.

На данный момент, есть несколько направлений по переработке угольных отходов, среди них газификация некачественных углей и угольных отходов, направленное окисление и гидролиз, плазменная переработка, изготовление водоугольного топлива и др.

Новым и весьма актуальным решением в переработке угольных отходов стало их использование для получения углеродсодержащих нагревательных элементов. Обычно в качестве сырья для изготовления токопроводящих частей нагревательных элементов используются технический углерод, графит, сажа.

Японскими учеными Такеути Манабу, Коиде Акихико, Катаяма Казухико был разработан состав углеродсодержащей композиции, предназначенной для нагревательного элемента курительного изделия несжигаемого типа. Углеродсодержащая нагревательная композиция содержит 30-55 вес. % карбоната кальция, а остальное составляет углерод, включая случай, когда нагревательная композиция содержит связующее. Источник углерода (в форме частиц) не особенно ограничен, и можно использовать любые известные виды углерода [1].

Российские ученые [2] предлагают изготавливать электропроводную резистивную нить для тканых нагревательных элементов, состоящую из синтетического волокна на основе поли-*m*-фениленизофталамида, поли-*n*-фенилентерефталамида или поли-*n*-бензамида и углеродного наполнителя – технического углерода и графита. Наполнитель распределен в указанном синтетическом волокне при массовом соотношении синтетического волокна и наполнителя от 1: 0,2 до 1:0,3. Для изготовления нити готовят раствор термостойкого волокнообразующего полимера, в который добавляют при перемешивании технический углерод, диспергируют его и получают коллоидный раствор, в который дополнительно вводят растворитель для снижения концентрации термостойкого волокнообразующего полимера до 6-7%. Затем вводят коллоидный графит и осуществляют его диспергирование в коллоидном растворе. Из полученного прядильного раствора формуют углеродсодержащие волокна по сухомокрому способу.

Иванова И.В. с соавторами [3] предлагают способ получения нагревательного элемента, имеющего в качестве электропроводящего материала углеродное волокно, а в качестве изоляционного материала - синтетический полимер. Способ содержит формирование заготовки для получения электропроводящего материала скручиванием жгута из полимерных нитей, обработку заготовки водным раствором катализатора, ее сушку, термоокисление при 200÷300 °С, карбонизацию при 1500÷2000 °С и графитацию при 2000÷3000 °С. Обработка заготовки для получения электропроводящего материала водным раствором катализатора производится при давлении  $(2\div 5) \cdot 10^5$  Па и температуре 20÷50 °С. Слой изоляционного материала - силиконового каучука - наносится на электропроводящий материал экструзией при 150÷200 °С и давлении  $(2\div 3) \cdot 10^7$  Па. Техническим результатом является сокращение операций при достижении высоких физико-механических показателей, устойчи-

вость к электрическому пробую и механическим нагрузкам.

Левакова О.К. и др. [4] разработали способ изготовления электропроводящих покрытий резистивных нагревательных элементов. Электропроводящий композиционный материал содержит, мас. %: карбосилицид титана  $Ti_3SiC_2$  - 89-93, карбид титана  $TiC$  - 4-6 и фазу на основе железа - остальное. Для получения заявляемого электропроводящего композиционного материала используют шихту, содержащую, мас. %: ферросилиций 17-21, титан 67-70 и углерод 12-13 (сажа марки ПМ-15). Электропроводящая композиция содержит заявляемый электропроводящий композиционный материал 30-80 мас. % и связующее, в качестве которого используют кремнийорганическое соединение в количестве 20-70 мас.%. Достоинство изобретения заключается в том, что покрытия на основе карбосилицида титана обладают более высокой температурной стабильностью.

Нами на базе лаборатории термодинамики многофазных систем КузГТУ разрабатывается технология получения нагревательных элементов, в которых в качестве сырья для токопроводящих частей нагревательного элемента предлагается использовать не технический углерод, а углеродсодержащие отходы - угольные шламы, кеки, твердый углеродистый остаток пиролиза автошин и другие техногенные отходы.

Технологический процесс изготовления нагревательных элементов из данных отходов заключается в измельчении сырья до фракций 1-2 нм, просеивание и виброзаполнение токоизоляционной оболочки.

Возможные области применения: в дорожном и ландшафтном строительстве – для обогрева, предотвращения обледенения и улучшения снеготаяния на асфальтных, бетонных и плиточных покрытиях, на проезжей части дорог, мостов, тротуаров, пешеходных дорожек, автостоянок, спортплощадок, газонов, теплиц, детских площадок. В текстильной, медицинской и легкой промышленности для электроподогрева одежды, автомобильных сидений, одеял, подстилок для домашних питомцев, туристических палаток и матрацев, изготовления медицинских грелок и поясов, ковриков для рыбаков и охотников, спальных мест и мест отдыха в самолетах, на железнодорожном и водном транспорте. В жилищном и промышленном строительстве — для обогрева квартир, коттеджей, гостиниц, детских садов и школ, больниц, бассейнов и саун, офисных и производственных помещений, кровли домов.

Преимуществом данного метода является то, что в процессе изготовления нагревательного элемента не используются химические реагенты, что исключает образования сточных вод. Также доступность исходного сырья позволит уменьшить себестоимость данных нагревательных элементов.

#### Библиографический список

1. Пат. № 2357623 Углеродсодержащая композиция для нагревательного элемента курительного изделия несжигаемого типа / Такеути Манабу, Коиде Акихико, Катаяма Казухико//Джапан Тобакко ИНК. Заявл. 22.12.2005,



опубл. 10.06.2009.

2. Пат. № 2203352 Электропроводная резистивная комплексная нить для электронагревательной ткани и способ изготовления этой нити/ И.А. Гриневич, Д.И. Филиппов, В.С. Толочик, Д.Клещик, А.В. Шелемех. Заявл. 27.06.2001, опубл. 27.04.2001.

3. Пат. РФ №2334373 Способ получения нагревательного элемента/ И.В. Иванова, И.С. Юрьев//ООО «ЭЛИТ». Заявл. 16.03.2007, опубл. 20.09.2008.

4. Пат. РФ № 2341839 Электропроводящий композиционный материал, шихта для его получения и электропроводящая композиция/ О. К. Лепакова, Н. Н. Голобоков, В. Д. Китлер и др.// Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (ТНЦ СО РАН). Заявл. 31.10.2007, опубл. 20.12.2008.

УДК 622.6

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Истомин И.Б.**

**Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Игнатова А.Ю.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово, e-mail: istominzima@ya.ru*

В статье рассматривается разработанная авторами универсальная роботизированная платформа, позволяющая вести аварийно-спасательные работы на подземных объектах.

Ключевые слова: аварийно- спасательные работы, малый наземный робот, малый беспилотный летательный аппарат.

В последнее время отмечается увеличение числа техногенных катастроф различного масштаба. При возникновении таких ситуаций увеличивается количество пострадавших людей. Особенно опасными являются аварии и катастрофы, происходящие на различных подземных объектах: на шахтах, линиях и станциях метрополитена. Подземные объекты также могут подвергаться атакам террористов.

В связи с этим актуальна разработка робототехнических средств, позволяющих уменьшить степень участия человека при проведении спасательных работ.

Проводимые нами исследования направлены на создание технического устройства, представляющего собой роботизированную систему, для проведения работ по обследованию последствий техногенных аварий на подзем-

ных предприятиях и сооружениях, в т. ч. шахтах. Спасатели испытывают большую потребность в таких технических устройствах.

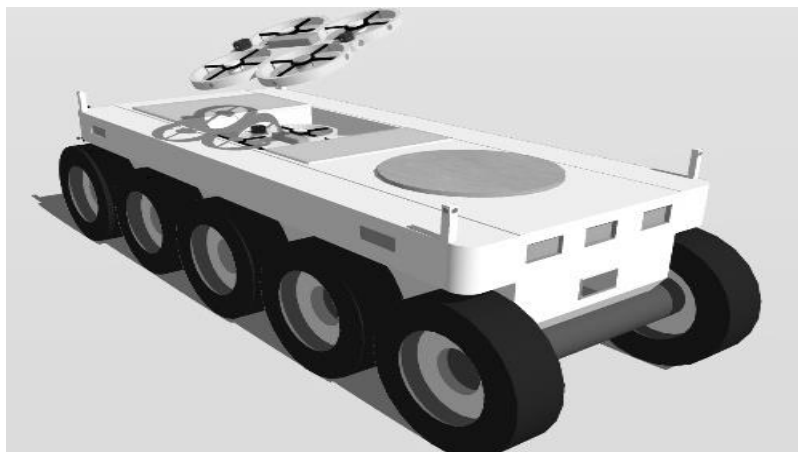


Рисунок 1 – Универсальная роботизированная платформа

Габаритные размеры платформы: длина 180 сантиметров, ширина 90 сантиметров и высота 70 сантиметров. Корпус имеет плоское дно для увеличения проходимости по нагромождениям камней и сыпучим грунтам. Каждое колесо платформы носителя оснащено своим электродвигателем с системой управления, которая позволяет устанавливать необходимый вращающий момент и скорость вращения колеса, независимо от других колес. Подобная система позволяет увеличить проходимость платформы-носителя при прохождении завалов, и повысить общую живучесть комплекса в целом. Каждое колесо платформы носителя имеет независимую управляемую подвеску, что позволяет в разумных пределах удерживать корпус платформы в горизонтальном положении. В верхней части корпуса платформы-носителя расположены створки отсека, в котором хранятся при доставке малые робототехнические системы (МБПЛА, МНР). Так же на верхней палубе может быть установлен антропоморфный манипулятор, предназначенный для выгрузки МНР из отсека.

Способности платформы:

- движение по пересеченной местности, в загазованной среде
- доставка двух малых беспилотных летательных аппаратов к эпицентру аварии,
- работа в качестве ретранслятора для удаленного управления малыми беспилотными летательными аппаратами.
- установка антропоморфного манипулятора,
- прокладка временной линии беспроводной связи и доставка грузов к эпицентру аварии,
- проведение разведки местности с использованием датчиков, видеокамер и систем технического зрения.

- транспортировка пострадавшего
- использоваться в качестве насосной станции высокого давления, обеспечивающей работу ручного гидравлического инструмента
- платформа оснащена лебедкой, которая может помочь при разборе завалов

Особенности системы управления роботизированной платформой:

- возможность выбора варианта действий при потере связи с пультом управления,
- автоматический контроль состояния связи с пультом управления,
- возможность самостоятельного выбора траектории движения по сильно пересеченной местности с учетом данных от систем технического зрения.

Проведя анализ рынка, мы выявили следующие преимущества над аналогами:

- широкий спектр решаемых задач за счёт возможности транспортировки к эпицентру аварий малых роботов различной конфигурации;
- повышенная надежность, за счет меньшего количества выступающих из корпуса частей; повышенная маневренность, за счет конструкции подвески; повышенная живучесть машины, за счет применения колесного движителя;
- возможность работы в качестве ретрансляционного пункта для управления МНР или МБЛА;
- возможность выбора варианта действий при потере связи с пультом управления;
- автоматический контроль состояния связи с пультом управления;
- возможность самостоятельного выбора траектории движения по сильно пересеченной местности с учетом данных от систем технического зрения.

Внедрение данной платформы позволит выполнять широкий спектр задач, от простой разведки местности, до возможности транспортировки беспилотных летательных аппаратов, поддержки работы спасателей с помощью устанавливаемого навесного оборудования и транспортировки пострадавших.

#### Библиографический список

1. Кизилев С.А. Патент на полезную модель № 151430 «Робот– платформа», опубл. 10.04.2015 г. (соавт. Игнатова А.Ю., Бойцова М.С., Папин А.В.).

## **ВЛИЯНИЕ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ УГОЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И СПОСОБЫ ЕГО ОЧИСТКИ**

**Сысолятин А.С. Козлова И.В., Ушаков К.Ю.**

**Научный руководитель: Богомолов А.Р.**

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово, e-mail: andrey09.94@mail.ru*

Выбросы дымовых газов от предприятий угольной генерации. Состав газов. Влияние оксидов серы и азота на окружающую среду. Способы очистки дымовых газов. Анализ способов и выбор наиболее эффективного. Рассмотрение абсорбции, как наиболее эффективный метод очистки. Анализ абсорберов.

Ключевые слова: дымовые газы, окружающая среда оксид серы, оксид азота, абсорбция.

В настоящее время в России работает около 350 угольных ГРЭС и ТЭЦ и из всех антропогенных загрязнителей эти предприятия улавливают только некоторое количество золы (фильтры). Сернистый и углекислый газы, оксиды азота, которые также входят в состав дымовых газов предприятий угольной генерации являются основными загрязнителями атмосферы и выбрасываются в окружающую среду вместе с другими вредными выбросами: сероводородом, хлором, фтором, аммиаком, соединением фосфора, частицами и соединениями ртути и мышьяка [1].

Наибольшую опасность представляет собой загрязнение соединениями серы, которые выбрасываются в атмосферу при сжигании угольного топлива, нефти и природного газа, а также при выплавке металлов и производстве серной кислоты. Сернистый ангидрид или трехокись серы (VI) образуется при постепенном окислении сернистого ангидрида или двуокись серы (IV) кислородом воздуха с участием света. Конечным продуктом реакции является аэрозоль сернистой кислоты или серной кислоты в воздухе, раствор в дождевой воде (в облаках). Выпадая с осадками, она подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей, скрыто угнетающе воздействует на здоровье человека. Выпадение аэрозоля серной кислоты из дымовых факелов химических предприятий чаще отмечается при низкой облачности и высокой влажности воздуха [2, 3].

Технологии и установки очистки дымовых газов от оксидов серы и азота отличаются большим разнообразием, но можно выделить, что несколько направлений:

- Очистка с помощью различных кислот и с получением ценных продуктов для химической отрасли (степень очистки более 99 %);
- Использование облучения с предварительной обработкой дымовых

газов, что позволит снизить производственные затраты (степень – 85-98 %);

- Применение аммиака или другого аммиакосодержащего восстановителя с паром, газом, воздухом или их смесями; водной суспензии гидроксида или карбоната кальция; аминосодержащих восстановителей, например, водного раствора карбамида, аммиака, карбоната аммония, оксалата аммония; водной суспензии гидроксида или карбоната кальция; щелочного реагента, извести или известняка; сточной воды продувки котлов, содержащей щелочь, причем возможно сочетать некаталитическое и каталитическое восстановление (степень от 50 до 90-99 %);

- И другие, например, механического действия или с применением отходов ТЭС в виде сырых осадков сточных вод и т.д.

На сегодняшний день проведено значительное количество исследований по направлению улавливания оксидов серы и азота из дымовых газов, при этом методам абсорбционной очистки посвящена существенная часть этих работ.

Абсорбцией называют процесс поглощения газа жидким поглотителем, в котором газ растворим в той или иной степени [4].

При абсорбционных процессах массообмен протекает на поверхности газовой и жидкой фазы. В этом случае различают несколько разновидностей аппаратов (абсорберов), в которых протекает поглощение:

1. Поверхностные абсорберы:

а) Поверхностные абсорберы (в них поверхность контакта двух фаз – это зеркало жидкости);

б) Пленочные абсорберы (в процессе участвует поверхность пленки жидкости);

в) Насадочные абсорберы (они имеют специальную насадку, по которой из тел разных форм (кусовой материал, кольца и т. д.) стекает жидкость.);

г) Пленочные механические абсорберы.

2. Барботажные абсорберы.

В них процесс происходит путем заполнения аппарата жидкостью и пропускания через нее газа. Такие опыты могут проводиться и в двух других разновидностях: насадочных абсорберах и барботажных абсорберах колонного типа, которые имеют специальные тарелки различного типа. Сюда же входит вариант барботажных абсорберов, в которых жидкости перемешивают механическими мешалками.

3. Распыливающие абсорберы.

В этих абсорберах поверхность контакта так же, как у барботажных абсорберах, зависит от режима гидродинамики, но отличается способом образования: в этом случае жидкость в общей массе газа распыляется на мелкие капельки.

В свою очередь они тоже делятся на подвиды:

- Форсуночные (жидкость распыляется с помощью форсунок);

- Скоростные прямоточные (жидкость распыляется в токе движущегося с большой скоростью газа);
- Механические (жидкость распыляется с помощью вращающихся механических устройств).

Наиболее широко применяемые абсорбционные аппараты для мокрой очистки газов представляют собой скрубберы. Принципиальная схема очистки дымовых газов при использовании скрубберов представлена на рисунке 1.

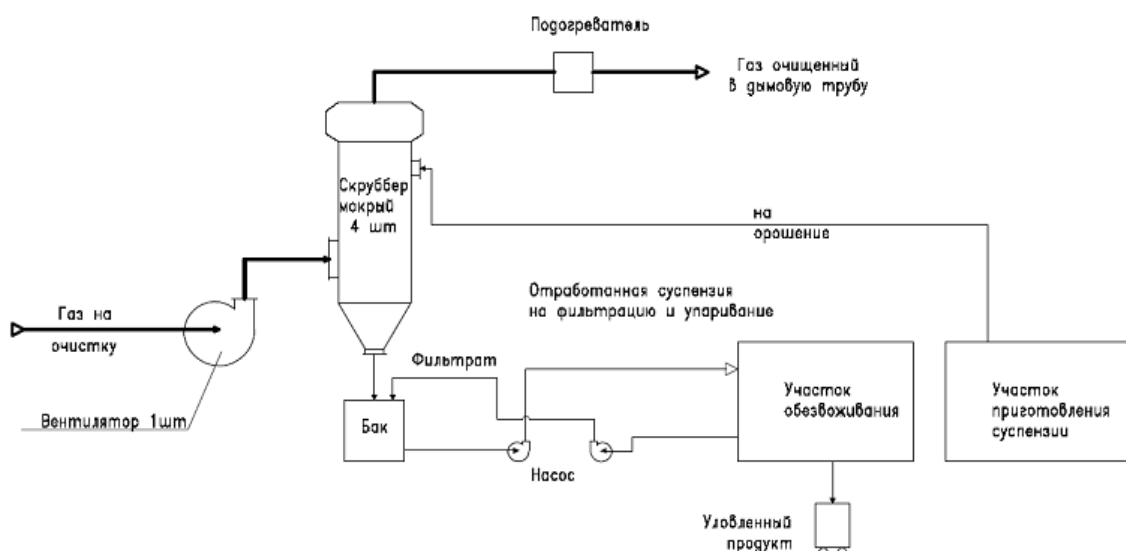


Рисунок 1 - Принципиальная схема очистки дымовых газов при использовании скрубберов

В заключение доклада необходимо отметить, что, несмотря на многочисленные исследования и опыты в данной области, очистке дымовых газов угольной генерации необходимо уделить еще больше внимания. Если же оставить данный вопрос без внимания, то это может привести к катастрофическим последствиям для окружающей среды и как следствие для человека.

#### Библиографический список

1. Современные экологические системы сухого золошлакоудаления [Электронный ресурс].– Режим доступа:–<http://ksfenix.org/files/news/Fenix-EnergoAcademy.pdf>.
2. Рамм В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Изд-во «Химия», 1976.– 655 с.
3. Путилов А. В. Охрана окружающей среды/ А. В. Путилов. – М., 2003. –154 с.
4. Рамм В. М. Абсорбция газов/ В.М. Рамм.- М. : Химия, 1966.– 768 с.

## ПОИСК НОВЫХ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ

Попов В.С.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Папин А.В.,  
канд. биол. наук, доцент Игнатова А.Ю.**

*Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово, e-mail:  
VasilyWinter@gmail.com*

В данной статье раскрываются эколого-экономические проблемы утилизации изношенных шин в России методом низкотемпературного пиролиза. Предлагается получение композитного топлива на основе твердого остатка пиролиза автошин с применением вторичного полимера как связующего.

Ключевые слова: утилизация шин, переработка, пиролиз, углеродный остаток, композитное топливо, связующее, вторичные полимеры.

На сегодняшний день одной из самых острых экологических проблем является рост числа бытовых отходов в виде пластмасс. С каждым годом производство пластмасс растёт на 5-6 %, и к концу десятилетия объём производства может приблизиться к 300 млн. т. Потребление пластмасс в развитых странах составляет около 100 кг на душу населения. Соответственно вырастают объёмы полимерных отходов. В развитых странах свалки бытовых отходов растут огромными темпами. Так, по данным Минприроды РФ, в России ежегодно образуется 70 млн. т твердых бытовых отходов, 3 % составляет пластмасса, это около 2 млн. т полимерных отходов в год.

Рассматриваемый вид отходов имеет сложную структуру. Период естественного разложения полимеров длится до ста лет и больше. Всё это создает серьёзную экологическую проблему. Вывоз данных отходов осуществляется на специализированные свалки ТБО, но бывают случаи образования стихийных свалок наносящий огромный вред окружающей среде, загрязняя лесополосы, овраги и т.д. [1].

Существуют несколько методов переработки полимерных отходов:

1. Захоронение;
2. Сжигание;
3. Пиролиз;
4. Гидролиз;
5. Вторичная переработка полимеров.

Захоронение полимерных отходов требует вывода из хозяйственного оборота огромных территорий, которые впоследствии на долгие годы будут не пригодны для использования, также загрязняются грунтовые воды. В целом данный метод крайне нерационален и примитивен.

Сжигание полимерных отходов производится без предварительной сортировки полимеров. В отличие от захоронения не загрязняет почву и грунтовые воды, но при этом во время сжигания полимеров образуются летучие вещества способствующие интенсификации парникового эффекта, а в определенных случаях разрушающие озоновый слой. Для приведения данного производства к международным стандартам ISO 9001 требуется установка дорогостоящего очистного оборудования, в следствии чего данный метод становится нерентабельным.

Пиролиз является более перспективным методом, заключающимся в термическом разложении полимерных отходов и получении из них высококалорийного топлива, сырья, полуфабрикатов и мономеров, применяемых в разных технологических процессах и при синтезе полимеров. Объёмы выбросов загрязняющих веществ при пиролизе равны половине от выбросов при сжигании тяжелых бытовых отходов на мусоросжигающих заводах. Газ образываемый при разложении полимеров можно применять в качестве топлива для получения водяного пара. Жидкую фракцию можно применять в качестве теплоносителя, а твердую в виде компонента для различных смазок, эмульсий, защитных составов, пропиток и т.д.

Гидролиз или обратная поликонденсация позволяет при направленном действии воды по местам соединения компонентов разрушать поликонденсаты до исходных соединений. Сам процесс осуществляется под действием высоких температур и давлений. Данный метод является более выгодным по сравнению с пиролизом, так как требует меньших энергетических затрат и возвращает в оборот высококачественные химические продукты.

Вторичная переработка полимеров является наиболее экологически и экономически рентабельным методом. Существует множество различных методов переработки вторичных полимеров, все они состоят из стадий сбора, сортировки, мойки-сушки, измельчения, пластификации, гранулирования. Это создаёт экономические трудности при организации переработки. В России наиболее применим механический рециклинг вторичных полимеров, из-за своей дешевизны и простоты процесса. Данный метод может быть реализован на месте скопления отходов, что сокращает транспортные расходы [2-4].

Нами разрабатывается способ утилизации полимерных отходов совместно с обогащённым твёрдым остатком пиролиза автошин путем получения композитного брикетированного топлива.

Обогащённый концентрат смешивали со связующим – вторичным полимером в соотношении 8-9 % к массе исходного концентрата, после загружали в пресс форму, разогревали до расплавления связующего полимера, прессовали и на выходе получали прочный брикет.

При сжигании топливных брикетов повышается на 25-35 % КПД топочных устройств, снижаются на 15-20 % выбросы сернистого газа, более



чем в 2 раза – выбросы твердых веществ с дымовыми газами. Учитывая эти факторы, становится очевидным перспективность перевода котельных на топливные брикеты, при этом существенное изменение конструкций топок не потребуется. Освоение производства топливных брикетов в значительной мере повышает эффективность использования топлива за счет ресурсосбережения [5]. В качестве связующего при брикетировании нами предлагается использовать вторичные полимеры. По нашему мнению, наиболее подходящим связующим для композитного топлива из твердого остатка пиролиза автошин являются отходы вторполимеров – полиолефинов (ПЭВД, ПЭНД, ПП) и полиэтилентерефталат.

Переработка полимеров является одной из приоритетных задач с точки зрения экономики и экологии, а также является перспективным направлением развития бизнеса. В России переработка полимеров только набирает свои обороты. Требуется организации сбора, сортировки и первичной обработки полимеров, внедрения новых технологий, а также финансовой поддержки со стороны государства. Эти проблемы специфичны, но, тем не менее, их нельзя назвать неразрешимыми.

#### Библиографический список

1. Черп, О.М., Винченко, В.Н. Проблемы твердых бытовых отходов: комплексный подход. М.: Эколайн – Ecologia. 1996 г, с. 17.
2. Будникова, О.А., Будников, Б.О. Утилизация полимерных материалов. Немецкий опыт и российская реальность. *Packing International / ПАКЕТ* № 5, 2005.
3. Вольфсон, В.А. Вторичная переработка полимеров. // *Высокомолек. соед.* Т. 42С. 2000. № 11. С. 2000.
4. Вторичная переработка пластмасс. Под ред. Ф.П. Ла Мантиа. С-Петербург: «Профессия» 2006. 400 с.
5. Вторичное использование полимерных материалов. Под ред. Е.Г. Любешкиной. М.: Химия, 1985.
6. Папин А.В. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки / А.В. Папин, А.Ю. Игнатова, А.В. Неведров, Т.Г. Черкасова// *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.*– № 5. – 2015. – С. 43-50.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ЮГО-ВОСТОЧНОГО АДМИНИСТРАТИВНОГО ОКРУГА МОСКВЫ

Уманская Ю.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.Б.

*Московский политехнический университет,  
г. Москва, e-mail: ulius89@mail.ru*

Проведена оценка экологического состояния почвы ЮВАО Москвы с использованием метода биоиндикации. Установлено, что наиболее загрязненные почвы находятся на территории Волгоградского проспекта и МНПЗ. При этом суммарный показатель загрязнения не превышает допустимых значений.

Ключевые слова: почва, биоиндикатор, тяжелые металлы, проба.

Сегодня все компоненты окружающей среды подвергаются активному антропогенному и техногенному воздействию. Состояние одного из компонентов – почвы – требует в мегаполисе повышенного внимания, так как влияние транспорта и промышленных объектов оказывает на поверхностный слой существенное воздействие и лишает почвенный покров в городах способности выполнять важные экологические функции.

Среди загрязняющих почву веществ особое место занимают тяжелые металлы, поскольку, не подвергаясь значительной физико-химической и биологической деградации, они накапливаются в течение длительного времени в поверхностном слое почв и являются доступными для корневого поглощения растениями. Тяжелые металлы, поступив в почву, распределяются в ней между твердой и жидкой фазами. В почвенном растворе они присутствуют в виде гидратированных свободных ионов или растворимых минеральных, органо-минеральных комплексов и являются наиболее доступными для поглощения корнями растений. В твердой фазе они находятся в обменно- и необменно-связанном состоянии, входят в состав тонкодисперсных минеральных частиц и гумусового вещества.

Как и другие токсичные микроэлементы, тяжелые металлы, накапливаясь, образуют около промышленных предприятий и вдоль крупных транспортных магистралей техногенные аномалии, которые имеют радиус от нескольких до нескольких десятков километров.

В данной работе предпринята попытка оценить экологическое состояние почвы одного из наиболее загрязненных административных округов столицы – Юго-Восточного – с помощью метода биоиндикации.

ЮВАО – промышленный округ Москвы, на территории которого располагаются 115 промышленных предприятий. В том числе, гигант, общерос-

сийского значения АО «Москабельмет», АО «Газпромнефть-МНПЗ», «Московский подшипник», шинный, Карачаровский механический заводы, ТЭЦ-11, ТЭЦ-8, завод «Компрессор», МСВЗ им. Войтовича, «Станкоагрегат» и др. В округе находятся также более 40 предприятий пищевой промышленности, 80 научных и проектно-конструкторских организаций и институтов («Энергия», «Стекло», «Синтез» и др.).

На экологическую ситуацию в ЮВАО влияют также автомобильные магистрали (Волгоградский и Рязанский проспекты). Предприятия-загрязнители имеются практически на всей территории округа, все районы сильно загрязнены, особенно – Капотня, Марьино, Люблино, Кожухово. Тем не менее, положительно на экологическую ситуацию в округе влияет Кузьминский лесопарк. Наиболее чистыми местами ЮВАО являются районы Кузьминки и Выхино-Жулебино. Природно-исторический парк «Кузьминки» – единственный лесопарк в экологически неблагоприятном округе. Вся территория ПИП «Кузьминки» имеет статус особо охраняемой природной территории и защищена законодательством.

Образцы почвы для исследования были отобраны с площадок, находящихся на территории Московского нефтеперерабатывающего завода, в районе Волгоградского проспекта, а также в Кузьминском лесопарке. Отбор образцов осуществлялся по стандартной методике «конверта», пробы отбирали с глубины 0-10 см, 10-20 см и 20-40 см. Из данных образцов почвы была приготовлена почвенная водная вытяжка по ГОСТ 26423-85, а для определения рН почвы – почвенная солевая вытяжка [1].

Содержание тяжелых металлов в пробах определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с использованием прибора «МГА-915». Полученные результаты сравнивались с ОДК для почв различной кислотности [2].

При сравнении полученных результатов с ОДК по ГН 2.1.7.2511-09 установлено, что наибольшее превышение по сравнению с допустимыми пределами наблюдается в образцах почвы Волгоградского проспекта и МНПЗ. В пробе почвы, отобранной на Волгоградском проспекте, наблюдается превышение Cu (в 1,5 раза), Ni (1,5 раза), Pb (в 3 раза), Cd (0,5 раз); в пробе МНПЗ превышение содержание Cu (в 1,5 раза), Ni (1,5 раза), Pb (в 5 раз), Cd (1,5 раза). В почве Кузьминского лесопарка содержание тяжелых металлов не превышает ОДК.

Для загрязненных почв был рассчитан суммарный показатель загрязнения, который тесно связан с показателями здоровья человека (МУ 2.1.7.730-99). Полученные данные свидетельствуют о допустимом загрязнении тяжелыми металлами исследуемых почв, так как для всех проб менее  $Z_c < 16$ .

Для проведения биотестирования в качестве биоиндикатора была выбрана пшеница, так как для биоиндикации в водной вытяжке предпочтительнее мелкие семена с небольшим запасом питательных веществ [3]. Для проращивания пшеницы было взято 100 семян для каждого образца почвенной водной вытяжки. Семена были размещены на слое марли в чашках Пет-

ри и ежедневно поливались водной вытяжкой (рисунок 1).



Рисунок 1 - Пробы биоиндикации

Динамика поста семян коррелирует с данными по загрязнению образцов почвы тяжелыми металлами (рисунок 1).

В результате установлено, что почва Кузьминского лесопарка в ЮВАО Москвы не загрязнена тяжелыми металлами, что подтверждается данными биоиндикации. Почва Волгоградского проспекта и МНПЗ содержит тяжелые металлы в пределах, не превышающих допустимые значения для соответствующей кислотности почв.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – М: Изд-во стандартов, 1985. – 9 с.
2. Гигиенические нормативы: ГН 2.1.7.2042-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – М: Роспотребнадзор, 2009. – 27 с.
3. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация. Учебное пособие. – Тверь: ТвГУ, 2005. – 178 с.

УДК 658.567.1:678.065

## ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК

**Никокошева А.А., Захарова Н.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

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

В работе проанализированы методы переработки автомобильных покрышек.

Ключевые слова: автомобильные покрышки, резина, утилизация.

В настоящее время очень актуальна проблема утилизации автотранс-

портных средств, выработавших свой ресурс. В комплексе задач, требующих своего эффективного решения, поставлена задача утилизации и переработки резино-технических изделий и, в частности, автомобильных покрышек (АП).

Утилизация и переработка использованных автопокрышек - это необходимое направление в экологической деятельности региона, поскольку использованные АП складываются в местах их применения, а также вывозятся на полигоны, свалки и другие несанкционированные места выброса. Данный вид отходов пагубно влияет на окружающую среду: при сжигании каждой тонны покрышек в атмосферу попадает более 250 кг сажи и более 400 кг токсичных газов [1].

Цель данного исследования – проанализировать существующие способы переработки (утилизации) автопокрышек и обосновать наиболее рациональные.

Для достижения поставленной цели анализировались данные по объемам образования АП, методам переработки изношенных АП, а также рассматривалась возможность использования крошки в целях теплоизоляции домов.

*Объемы образования автопокрышек.* Производство АП в больших количествах приводит к тому, что и отходы изношенных покрышек достигают внушительных объемов.

Резина, которая не эксплуатируется, выделяет определенное количество химических веществ. Наиболее опасными канцерогенами являются бензапирен и другие полиароматические углеводороды, которых в шинах обнаружено до 15 наименований. Все эти вещества входят в список самых вредных токсикантов, по данным Международной организации по исследованию рака и Агентства по охране окружающей среды США.

По оценкам исследователей в резиновой пыли содержится больше канцерогенных веществ, чем в выхлопных газах двигателей, которые до этого считались традиционными источниками загрязнения окружающей среды [2].

*Методы утилизации автомобильных покрышек.* В данное время существует множество методов для переработки резинотехнических изделий и автошин. Основными из них считаются: физический, химический, и физико-химический.

*Физическая утилизация автопокрышек.* Утилизация АП с помощью физического метода предусматривает различные технологии измельчения резины до состояния резиновой крошки, в результате чего получается сырье со всеми свойствами резины.

*Физико-химическая утилизация автопокрышек.* Утилизация АП выполняется посредством физико-химических методов, подразумевающих регенерацию материала при помощи различных технологий, которые обеспечивают сохранение структуры сырья, применяемого для производства резины.

*Химическая утилизация автопокрышек.* Химические методы утилизации автопокрышек приводят к необратимым химическим изменениям не только в резине, но и во всех ее составляющих: каучук, смягчители и прочие

вещества. Химическая переработка резины выполняется в условиях высоких температур. Результатом процесса становится полная деструкция полимерного материала посредством или полного сжигания сырья, или пиролиза [3].

*Полный материальный рециклинг.* В основе предлагаемого проекта лежит уникальный способ переработки резиносодержащих и полимерных отходов путём растворения в органическом растворителе (термолиз), конечным результатом которого является не только уничтожение вредных и практически не разлагающихся отходов, но и получение на конечной стадии процесса переработки высоколиквидных продуктов, жизненно важных для деятельности человека. Получаемая в процессе переработки продукция ликвидная и пользуется спросом как на внутреннем рынке, так и за рубежом - ЕС, США, Китай, Азия и др. Из одной тонны резины получают следующие продукты: бензиновая фракция - 325 кг, мазут - 175 кг, технический углерод (УУМ) - 300 кг, металлокорд - 200 кг. Продажа этих продуктов даёт доход около 703 евро [3].

*Использование резиновой крошки в теплоизоляции домов.* Использование резиновой крошки в теплоизоляции домов опасно вследствие легкой воспламеняемости самой резины и возможно только в случае обработки ее и нанесения огнезащитных пропиток – антипиренов.

*Антипирены* (от греч. огонь) — вещества (фосфат аммония, бура, соединения сурьмы, твердые хлорированные углеводороды и др.), понижающие горючесть древесины, тканей, пластмасс и др. органических материалов.

Абсолютно негорючей резину не сделаешь. Однако антипирены при грамотном применении позволяют существенно снизить скорость распространения пожара. Результат обработки во многом зависит от качества применяемого состава и глубины его проникновения в волокна обрабатываемой поверхности [4].

Для более практичного использования крошки ее необходимо обработать связующим клеем [5].

#### Библиографический список

1. Гринин А.С.,Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация и переработка. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336с.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kudagradusnik.ru/index.php/articles/3871-ekologicheskaya-znachimost-pererabotki-avtoshin.html>.
3. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.webkursovik.ru/kartgotrab.asp?id=-63316>.
4. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://kak-svoimi-rukami.com/2016/01/ognezashhitnye-sostavy-i-propitki-primenenie-antipirenov/>.
5. [Электронный ресурс].– Режим до Режим доступа: [http://ms.nomer.ru/?utm\\_content=desktop.search&utm\\_source=none&utm\\_term=%D0%A1%D0%B2%D1%8](http://ms.nomer.ru/?utm_content=desktop.search&utm_source=none&utm_term=%D0%A1%D0%B2%D1%8).

## КОМПЛЕКСНАЯ СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ТОПЛИВА

**Козлова Н.Е., Абдыкалык Т.Е.**

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

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

Рассмотрены различные аспекты глобальной проблемы человечества – «парникового эффекта». Представлен принципиально новый параметр оценки металлургических топлив, приведены расчеты, подтверждающие правильность предложенной концепции.

Ключевые слова: экология, экологические проблемы, вредные выбросы, эмиссия  $\text{CO}_2$ , парниковый эффект, топливо, оценка топлива.

Проблема энергосбережения и экологии становится все более актуальной. Эта проблема еще более обостряется в связи с постоянным увеличением стоимости энергоносителей. Подавляющую часть энергоресурсов представляют в настоящее время так называемые невозобновляемые источники энергии в виде органических минеральных топлив (природный газ, нефть, уголь, торф и другие виды топлив).

Использование этих топлив как энергетических источников приводит и к значительным выбросам как парниковых газов, так и вредных веществ (пыли, оксидов серы и азота и т.д.). Поэтому проблема энергосбережения тесно связана с решением ряда важных экологических проблем [1].

Существует даже формальный перечень парниковых газов, согласно [2] к ним относятся: диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), озон и другие газы. И, как следует из теплофизики [3], способностью практического поглощения тепловой энергии обладают трех- (и более) атомные газы. И хотя вода, вернее, водяные пары ( $\text{H}_2\text{O}$ ) попадают под это определение, вода не включена в этот список в силу быстрого исчезновения из атмосферы в виде жидкости (дождя).

Нет единых данных, отображающих объемную долю каждого из парниковых газов по содержанию в атмосфере. В различных источниках эти величины оцениваются по разному. И наибольший вклад вносит диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , который на 70 % [4] имеет антропогенное происхождение.

Источником  $\text{CO}_2$  является углеводородное топливо, которое используется при сжигании для различных целей и генерирует  $\text{CO}_2$  при окислении углерода кислородом. Поэтому самым действенным путем снижения эмиссии  $\text{CO}_2$  является уменьшение объемов сжигаемого топлива. Но так как в настоящее время человечество 70 % потребляемой энергии использует в виде теплоты, генерируемой при сжигании топлива [5], то отказаться от ис-

пользования топлива невозможно и единственным путем является рационализация потребления топлива. Что и указано в ст. 2 п.5 Киотского протокола [6], принятого в 1997 году как основного директивного документа по выполнению Рамочной конвенции по изменению климата [7], утвержденной в 1991 году в Рио-де-Жанейро.

В декабре 2015 года в Париже состоялся экологический саммит, где главы 192 государств подписали соглашение [8], где закреплена политическая воля участников саммита продолжить борьбу с «парниковым эффектом».

Тот очевидный факт, что количество выбросов  $\text{CO}_2$  зависит от объема энергопотребления, а, следовательно, и от количества сжигаемого топлива, определяет приоритет энергосбережения перед экологией. Этот принцип: «Меньше сжигаешь топлива, меньше имеешь выбросов» и привел к предложению режима энергосбережения для обеспечения уменьшения объемов выбросов  $\text{CO}_2$ .

С другой стороны, количество выбросов связано с массой потребления топлива через выражение:

$$V = C_m \cdot M, \quad (1)$$

где  $V$  – объем выбросов,  $\text{м}^3$ ;

$M$  – масса сжигаемого топлива, кг;

$C_m$  – коэффициент пропорциональности  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

И если член уравнения (1)  $M$  является экстенсивным параметром, связанным с размерами, количеством, то величина  $C_m$  является мерой интенсивности, показывающей удельную, т.е. приходящуюся на единицу, величину. Она является более представительной и объективной, т.к. является показателем процесса, а не его размеров, масштабов. Очевидно, что  $C_m = V/M$  должна быть постоянной мерой в этом соотношении.

Но так как сжигание топлива производится с целью обеспечения какой-то тепловой мощности, то более показательным будет величина

$$C_q = V/Q \quad (2)$$

В свою очередь

$$Q = Q_H^P \cdot M, \quad (3)$$

где  $Q_H^P$  – теплота сгорания единицы топлива ( $\text{ккал}/\text{кг}$ ,  $\text{ккал}/\text{м}^3$ )

Окончательно, после подстановки получим:

$$C_q = C_m \cdot M / Q_H^P \cdot M = C_m / Q_H^P \quad [\text{м}^3/\text{ккал}], \quad [\text{м}^3/\text{кДж}] \quad (4)$$

Полученная величина является показателем эмиссии диоксида углерода  $\text{CO}_2$   $\text{м}^3$  на 1 ккал, кДж, содержащихся в топливе, она служит мерой интенсивности. Мы считаем, что эта величина является принципиально новой характеристикой топлива, которая как и известные теплотехнические показатели – теплота сгорания  $Q_H^P$  и стоимость единицы топлива, определяет его



экологическое качество.

Для получения сравнительных характеристик различных топлив по эмиссии  $\text{CO}_2$  лучше всего использовать этот показатель. Сравнивая их по этому параметру, можно к стоимостной и термохимической оценке топлива добавить экологическую. При этом можно сравнивать топлива различных агрегатных состояний: и газ, и мазут, и уголь, которые используются, например, в металлургии как наиболее энергоемкой и распространенной технологии.

В отечественной металлургии используются доменный, коксовый и природный газы, а так же их смеси – коксо-доменный, природно-доменный и коксо-природный.

Для получения величины  $C_q$ , которая показывает количество  $\text{CO}_2$   $\text{м}^3$  на 1 ккал исследуемых топлив, была проведена обработка литературных данных по расчету горения этих топлив [10]. Данные расчетов содержали все необходимые величины для выполнения контрольных расчетов: состав топлива, теплоту сгорания, состав и объем продуктов горения, включая  $\text{CO}_2$ .

Результаты расчетов представлены на рисунке сплошной линией, где можно видеть несколько зон для различных топлив: коксо-доменная смесь (гиперболическая функция  $C_q = f(Q)$ ); природный газ (чистый газ и смесь с коксовым); попутный нефтяной газ (прямолинейная зависимость).

Для проверки результатов, основанных на литературных данных, нами были проведены собственные расчеты для доменного и коксового газов ОАО «Евраз ЗСМК». Результаты этих расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Состав газов ЗСМК [11], % %

Газы	$\text{H}_2$	$\text{CO}$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{O}_2$	$\text{N}_2$	$\Sigma$
Коксовый газ	58,2	8,4	24,3	2,0	2,4	0,4	4,3	100,0
Доменный газ	2,3	29,0	0,2	-	13,1	-	55,4	100,0

Таблица 2 – Параметры горения газов ЗСМК

Газы	$L_0$	$V_0$	$V_{\text{CO}_2}$	$\% \text{CO}_2$	$C_q$	$Q_p^H$
Доменный	76,43	161,18	42,3	26,24	0,422	951
Коксовый	418,56	551,86	47,5	8,618	0,473	4109

где  $L_0$  – расход воздуха на горение,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$V_0$  – объем продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$V_{\text{CO}_2}$  – объем  $\text{CO}_2$  в продуктах сгорания,  $\text{м}^3$ ;

$\% \text{CO}_2$  – процентное содержание  $\text{CO}_2$  в продуктах сгорания, %;

$C_q$  – количество  $\text{CO}_2$ ,  $\text{м}^3$  на 1 ккал исследуемого топлива;

$Q_p^H$  – теплота сгорания топлива, ккал/ $\text{м}^3$ .

Для того, чтобы найти вводимый параметр  $C_q$  расчеты были проведены для составов коксо-доменной смеси при шести разных значениях теплоты сгорания.



Рисунок 1 – Сравнение полученных данных

Эти результаты представлены штриховой линией на рисунке. Как видно, эти точки хорошо повторяют кривую, построенную по литературным данным, что подтверждает предлагаемую модель оценки эмиссии  $\text{CO}_2$ , как функцию теплоты сгорания  $Q_p^H$ .

Проверка этой модели для жидкого (мазута) и твердого топлива (угля) представлена на рисунке (точки обозначены «ромбами»). Для  $Q = 10038$  ккал/кг определена точка для мазута по данным («треугольник») [1]. В качестве твердого топлива были рассмотрены энергетические угли Кузнецкого бассейна [12].

Исходные составы углей представлены в таблице 3, а результаты расчетов – в таблице 4.

Таблица 3 – Состав энергетических углей, %

Наименование шахты, марка угля	$C^p$	$H^p$	$S^p$	$O^p$	$N^p$	$W^p$	$A^p$
Уголь марки «Д»							
Шахта им. Ярославского, ДСШ	58,79	4,19	0,37	9,57	1,87	12,00	13,20
Инское шахтоуправление, ДКМ	66,25	4,80	0,22	9,50	1,94	8,50	7,32
Шахта им. Ярославского, ДР	61,01	4,39	0,30	10,10	1,94	11,00	10,68
Уголь марки «Г»							
Шахта Польшаевская, ГКОМ	70,05	5,10	0,30	7,55	1,94	6,00	7,52
Шахта Октябрьская, ГР	61,82	4,48	0,37	8,23	2,02	8,00	14,72
Шахта им. Кирова, Г+ГР	59,05	4,30	0,82	6,88	2,09	10,00	17,10
Уголь марки «Т»							
Шахта Листвянская, ТОМСШ	69,55	3,32	0,45	2,24	1,50	7,00	15,81
Шахта Шуштулепская, ТОМСШ	66,68	2,72	0,67	2,24	1,35	8,00	18,40
Михайловский участок, ТРОК	64,47	2,61	0,45	5,46	1,72	10,00	15,30

Таблица 4 – Результаты расчетов горения угля (усредненные значения, при коэффициенте расхода воздуха  $n=1$ )

	CO <sub>2</sub>		Q <sub>н</sub> <sup>р</sup>	C <sub>q</sub>
	м <sup>3</sup>	кг	ккал/кг	м <sup>3</sup> /ккал
Уголь марки «Д»	1,15	2,28	4816,23	0,238
Уголь марки «Г»	1,18	2,34	6066,47	0,194
Уголь марки «Т»	1,24	2,45	6010,41	0,206

Результаты расчетов показывают сходимость результатов, что указывает на общность модели эмиссии CO<sub>2</sub> для различных марок углей, а проверка статистической гипотезы об однородности дисперсии на основе критерия Кохрена [13] подтвердила правильность этой гипотезы. Расчеты еще 9 различных случаев (по три месторождения для трех марок углей) тоже не выявили расхождений для разных марок угля.

Таким образом, доказана возможность и целесообразность использовать показатель эмиссии CO<sub>2</sub>, отнесенный к энергетической ценности топлива наряду с натуральными (Q<sub>н</sub><sup>р</sup>) и стоимостными (цена) показателями. Причем такой подход, когда оценка качества относится к единице энергии (ведь покупают ее, а не топливо), может быть использован для любого составляющего компонента продуктов горения и, прежде всего, вредных.

Ценность предложенного подхода увеличивается, если мы перейдем к стоимостной форме этой удельной характеристики. Для эмиссии CO<sub>2</sub> это может быть получено в соответствии со следующим выражением:

$$Ц_{CO_2} = \rho * C_q * \Pi * 10^{-3} \text{руб/кДж} \quad (5)$$

Умножая C<sub>q</sub> [м<sup>3</sup>/кДж] на плотность  $\rho$  [кг/м<sup>3</sup>] мы получим массу выбрасываемого CO<sub>2</sub> [кг/кДж], поскольку плата за выбросы  $\Pi$  устанавливается за массу, конкретно руб/тонна. Показатель 10<sup>-3</sup> указывает перевод массы из килограммов в тонны.

Но точно так же можно определить стоимость 1 кДж в топливе по выражению:

$$Ц_Q = \frac{C_Q * 10^{-3}}{Q_p^H} \text{руб/кДж}, \quad (6)$$

где C<sub>Q</sub> – цена топлива (угля), руб/т;

Q<sub>п</sub><sup>н</sup> – теплота сгорания, кДж/кг.

Аналогично можно определить удельные затраты на транспортировку топлива, его хранение и переработку, сжигание и т.д.

В результате мы получим аддитивную совокупность характеристик, имеющих стоимостный характер, что позволяет их складывать. Это создает возможность формальной оценки для разных топлив по величине общей стоимости 1 единицы энергии в соответствии с выражением

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i \quad , \quad (7)$$

где  $C_i$  – удельная стоимость затрат по отдельным признакам, руб/кДж.

Это позволит формировать сравнение качеств топлива, переводя всю процедуру на компьютерное определение отдельных видов затрат. В этом случае можно сравнивать различные топлива с детальной оценкой затрат по их реализации. При данном подходе, вероятно, наиболее приемлемым будет топливо с минимальной величиной общих затрат.

#### *Заключение.*

Доказана рациональность введения удельных оценок параметров топлива, т.е. отнесенных к 1 единице энергии.

На основе этого подхода предложена методика получения комплексного стоимостного показателя энергоэкологической стоимости топлива, позволяющая компьютеризировать оценку качества топлива по минимальным удельным затратам.

#### Библиографический список

1. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения. В 2 книгах. / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплоэнергетик, 2003. 688 с.
2. Кокорин А.О. Что будет после Киотского соглашения / А.О. Кокорин, Г.В. Сафонов. WWF России, GOF, 2007. – 24 с.
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева: М.: Энергия, 1973. - 320 с.
4. Экобаланс. Независимая экологическая экспертиза. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <http://ekobalans.ru/investigations/uglekislyij-gaz>
5. Проценко А.Н. Энергетика сегодня и завтра / А.Н. Проценко. – М: Молодая гвардия, 1987. – 220 с.
6. Интернет-сайт для консультаций по практическому исследованию механизмов Киотского протокола. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: [www.carbonmarketsolutions.com](http://www.carbonmarketsolutions.com).
7. Рамочная конвенция ООН об изменениях климата. Нью-Йорк. 9 мая 1992 г.
8. Парижское соглашение об изменении климата, 15.12.2015 г. Париж. Интернет-сайт. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
9. Государственная Программа РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 27.12.2010 г. «2446-р).
10. Справочник конструктора печей прокатного производства. Том 1 (под ред. В.М. Тымчака). – М.: Металлургия, 1970. – 575 с.
11. Самохвалов Г.В. Учебно-методическое пособие по проектированию металлургических печей / Г.В. Самохвалов. Изд-во Сибирского металлургического института – Новокузнецк, 1991. – 107 с.
12. Энергетическое топливо СССР: (ископаемые угли, горючие слан-

цы, торф, мазут и горючий газ). Справочник / Матвеева И.И., Новицкий Н.В., Вдовченко В.С. и др. – М.: Энергия, 1979. – 128 с., ил.

13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1973. – 364 с.

УДК 501.17

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПЛИВА**

**Татарина Е.С., Чикурова И.В.**

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

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

Рассмотрен новый подход при выборе топлива на основе различных сторон его качества. Предложен комплексный стоимостный показатель энергоэкологической эффективности топлива. Показана возможность расчета теплоты сгорания газового топлива на основе элементарного состава как для твердого топлива.

Ключевые слова: топливо, эмиссия углекислоты, углеродный баланс, комплексный стоимостный показатель.

Человек изменяет климат на планете, загрязняя ее отходами цивилизации. В атмосферу выделяется углекислый газ от сжигания угля, нефти и древесины. Зафиксирован «парниковый эффект», который изменяет климат. Среднегодовая температура поднимается. 2012-2015 годы признаны самыми теплыми в истории. Это влечет за собой экстремальные погодные условия. Полярные ледники могут растаять, уровень моря поднимется; станут более опасными такие погодные явления, как наводнения, засухи и пожары.

Мировая экономика главным образом основана на ископаемом топливе. Это уголь, нефть и природный газ. От нефти зависит практически весь транспорт; от угля и природного газа – большая часть электроэнергетики, при этом используются очень опасные способы их добычи. Например, горные вершины взрывают ради угля, добывают сланцевый газ, внедряют шельфовое бурение и разрабатывают нефтяные пески – все это самые губительные способы добычи горючих ископаемых. Кроме того, вырубаются огромные площади лесов, и загрязняется вода в ручьях и реках. Значимость для экономики страны угольной промышленности и других отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК) вызывает необходимость проанализировать их состояние и определить перспективы развития.

Мощным способом регулирования выбросов, в частности парниковых газов, является международное сотрудничество. Деятельность по междуна-

родному сотрудничеству направлена на объединение усилий по обеспечению экологической безопасности путем гармонизации методологии и методов экологического контроля и оценок состояния окружающей среды [1].

В «Киотском протоколе» [2] в ст.5 содержится определение основной меры борьбы с потеплением, вызванным парниковым эффектом, – это энергосбережение, приводящее к снижению выбросов парниковых газов. Причем это уменьшение может быть достигнуто за счет прямого уменьшения потребления топлива и особенно угля.

Но поскольку обществу для функционирования во всех своих областях необходима энергия, то более рациональным является разработка и внедрение новых способов использования топлива, которые бы давали пониженную эмиссию диоксида углерода – основного представителя парниковых газов.

Активность международного общества по этим энергоэкологическим проблемам до России еще не дошла. Достаточно сказать, что специалисты по защите атмосферы до сих пор не знают, что в России, как давно уже во всем мире, введена плата за выбросы  $\text{CO}_2$ . Но, если посмотреть один из наиболее авторитетных источников по энергоэкологическим проблемам [3], то в нем указана плата за выбросы  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и др., а за  $\text{CO}_2$  - нет.

В том же Киотском протоколе отмечена необходимость ввести учет выбросов  $\text{CO}_2$ , но ничего нигде в России не делается. Поскольку страна взяла на себя обязательство продолжить работу по уменьшению выбросов  $\text{CO}_2$ , подписав в декабре 2015 Парижское соглашение [4], то необходимо готовиться к выполнению этих обязательств.

В настоящей статье представлена попытка упростить определение объемов эмиссии  $\text{CO}_2$  на основе элементарного состава (то есть по содержанию отдельных химических элементов) в противоположность расчету по химическому составу, определение которого трудоемко и не всегда доступно на любом предприятии.

На основе стехиометрических уравнений окисления углерода до  $\text{CO}_2$  выявлено, что во всех случаях один моль углерода генерирует один моль  $\text{CO}_2$ . С учетом молекулярной массы каждого из них можно определить соотношение  $\text{C}:\text{CO}_2 = 1:3,67$ .

Для определения массы углерода в твердом топливе используют информацию из сертификатов, представленных при поставках, а для газообразного топлива не нужно проводить полный химический анализ, достаточно определить содержание  $\text{CO}_2$  в продуктах опытного сжигания.

При расчете теплоты сгорания газового топлива, когда известно содержание углерода и не известен полный химический состав, предлагается использовать формулы для твердого и жидкого топлива. Расчеты подтвердили справедливость этого допущения.

Для сравнения эмиссионной способности по  $\text{CO}_2$  для разных топлив предлагается использовать удельную величину на 1 кДж выделенного тепла.

Поскольку гипотеза о применимости элементарного состава для расче-

та теплоты сгорания принята для газообразных топлив, то ее можно использовать для оценки потенциала эмиссии углекислоты и определения удельной величины выбросов  $m_{CO_2}$ , отнесенной к единице выделенной энергии, т.е.

$$m_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{Q_H^P}, \quad (1)$$

Это выражение является ключевым и предлагается следующий алгоритм для действующего теплотехнического агрегата:

1. Определяется тепловая мощность агрегата  $N$ , кВт. Как правило, она известна даже на стадии проектирования, поэтому предлагаемая методика выбросов  $CO_2$  может использоваться как для прогнозирования эмиссии, так и при исследовании действующих агрегатов;

2. Определяется потребное количество энергии на основе нормативных или практических данных по работе агрегата:

$$E = e * N \text{ кВт}, \quad (2)$$

где  $e$  – нормативный удельный показатель расхода энергии на единицу продукции;

1. Осуществляется выбор топлива, если существует возможность разных вариантов, и определяется его расход  $G$ , кг/с (т/час):

$$G = \frac{E}{Q_H^P} \text{ кг/с (м}^3\text{/с)}, \quad (3)$$

где  $Q_H^P$  – теплота сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

2. По составу топлива (угля) определяется масса углерода  $M_C$

$$M_C = G * \%C \text{ кг/с}; \quad (4)$$

В случае использования газового топлива масса углерода определяется суммированием вкладов всех углеродсодержащих компонентов топлива, т.е.

$$M_C = \sum_{i=1}^n M_{C_i}, \quad (5)$$

что возможно при знании состава топлива

Если предполагается выбор топлива, то эти расчеты необходимо провести для каждого из них.

В настоящее время топливо оценивается с трех позиций:

- энергетическая ценность  $Q_H^P$ , кДж/кг;
- финансовая стоимость (угля)  $C$ , руб/кг;
- экологическое качество  $\sum m_C$ , кг/кг.

Сравнивать эти различные по природе показатели сложно, тем более, что тут возможны разногласия, топливо ценное, но дорогое, много выбросов,

топливо богатое, цена удовлетворительная, много выбросов и др.

Поэтому следует найти такой способ оценки ценности топлива, что бы получать однородные показатели для оценки разных сторон качества топлива.

При использовании топлива в качестве основной учетной единицы нужно принять стоимость, те или иные затраты и эффекты отнесенные к единице поставленной энергии. Это значит, что все затраты оценки, должны иметь размерности [руб/кДж].

Концепция комплексной стоимостной оценки может быть использована для многих других случаев. При этом в качестве удельной единицы, по отношению которой оценивается вклад того или иного фактора, может быть выбрана любая характеристика (параметр), который служит для оценки результатов работы агрегатов.

По сути дела этот принцип лежит в основе калькуляции основной продукции. Все виды затрат (сырье, труд, транспорт и многое другое), приводятся к стоимостной форме. Рациональность и необходимость таких расчетов ни у кого не вызывает сомнения и так поступают всегда по отношению к продукции.

#### Библиографический список

1. Никаноров А.М. Экология / А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая. – М.: «Издательство ПРИОР», 2000. – 304 с.
2. Интернет-сайт для консультации по практическому исследованию механизмов Киотского протокола. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: [www.carbonmarketsolutions.com](http://www.carbonmarketsolutions.com).
3. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения / В.Г. Лисиенко. – М.: Теплоэнергетик, 2003. – 688с.
4. Парижское соглашение об изменении климата, 15.12.2015 г. Париж. Интернет-сайт. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

УДК 6669.046

### РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Хертек А-Д.А.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: aydemir.1993@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности.

Ключевые слова: теплоизоляционные конструкции, энергоэффективность, конструкции.



В последнее время в условиях интенсификации тепловых процессов и повышения их энергоэффективности все большее значение приобретает разработки в области новых теплоизоляционных материалов для различных отраслей промышленности. К теплоизоляционным материалам предъявляют разнообразные и довольно противоречивые требования: с одной стороны, они должны снижать теплопроводимость ограждающих конструкций, с другой - обладать конструкционными свойствами, обеспечивающую длительную службу теплового агрегата [1].

Теплоизоляционные конструкции являются неотъемлемой частью защитных элементов промышленного оборудования, трубопроводов, частей промышленных зданий. Благодаря изоляции значительно повышаются надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий, сооружений и оборудования.

Тепловая изоляция выполняет следующие функции:

- снижает тепловые потери в окружающую среду от объектов (здания, сооружения, оборудование, трубопроводы и др.);
- обеспечивает нормальный технологический процесс в аппаратах;
- поддерживает заданные температуры компонентов в технологических процессах;
- создает нормальные температурные условия для обслуживающего персонала;
- уменьшает температурные напряжения в металлических конструкциях, огнеупорной футеровке и т.д.;

Как за рубежом, так и в нашей стране развитие производства теплоизоляционных работ идет по пути индустриализации с применением современных теплоизоляционных материалов и конструкций, высокомеханизированных инструментов и приспособлений, а также сборных средств (лесов, подмостей). В практике теплоизоляционных работ все чаще используются конструкции полной заводской готовности, поставляемые с предприятий в виде готовых комплексных элементов, состоящих из теплоизоляционного и кровного слоев, оснащенных комплектом крепежных деталей. Производство теплоизоляционных работ при этом сводятся к установке готовых элементов на изоляцию.

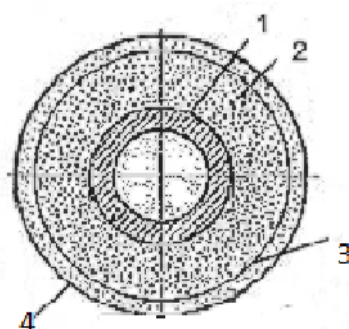
Тепловая изоляция труб в настоящее время имеет достаточно много конструктивных решений, начиная от простейших покрытий, наносимых подчас самым примитивным способом на уложение трубы. Более высоким конструктивным и теплотехническим уровнем является предварительно изолированные трубы, изготавливаемые производственным способом.

Общеинженерная логика утверждает, что если решение имеет 2 варианта, то ни один из них не является совершенным. Если изоляция на месте позволяет выполнить работ практически в любых условиях, не требует строгой подготовки, но не дает высокой эффективности, то использование прединдустриальных труб приводит к более высоким результатам, но логистика

должна быть совершенной: большой выбор, своевременная поставка, строгие правила складирования. Ведь достаточно пробить гидроизоляцию этой трубы и дорогое изделие становится бесполезным.

Если применять промежуточные решения, то можно использовать положительные стороны каждого из методов, ведь не зря говорят “истина где-то посередине”. Таким промежуточным способом является покрытие уложенных труб, предварительно подготовленными элементами – “скорлупками”.

Скорлупка представляет собой полуцилиндр с пустотой внутри, размеры которой соответствует диаметру трубы. При изоляции трубопровода по сути дела осуществляется монтаже, предварительно подготовленных элементов. При этом на каждый размер трубы производится свой размер скорлупки, что является ограничением достоинств этого способа.



1 – трубопровод; 2- теплоизоляционный слой; 3 – покровный слой;  
4 – крепежные детали.

Рисунок 1 - Элементы теплоизоляции трубопровода

На рисунке 1 показано, как труба покрыта элементами теплоизоляции. В теплоизоляционном слое материал покрыт сплошной плитой.

Разработанная форма (скорлупка с пазами) работает неоднородной пористой структуре когда, значительная часть объема значимой нагрузки воздуха. В некоторых работах было доказано, что пористость обеспечивает уменьшение теплового потока. В рассматриваемом материале, как и любом теплоизоляционном материале, пористость существует т.к. сказать на “субуровне”, т.е. в самом материале. Но идею пористости можно реализовать и на “макроуровне”, изменяя структуру тела (слоя), выполняющего функцию теплоизоляции.

Если в сплошной плите сделаны пазы, то первом очевидным эффектом будет экономия материала плиты, будет работать более эффективно и в теплотехническом отношении, что следует из анализа тепловой работы [2, 3].

Существует вариант использование скорлупок:

1. Тело скорлупки имеет пазы, что приводит экономия материала снижению теплового потока.

2. Скорлупка формируется оборачиванием тела трубы любого диаметра плоской пластиной с пазами. Это позволяет отказаться от цилиндриче-

ских скорлупок фиксированного размера.

Такая форма позволит дать ряд преимуществ всей конструкции:

- отсутствует места концентрации, напряжением благодаря закруглениям;
- облегчается удаление формирующих элементов при изготовлении благодаря переменному сечению;

- увеличивается вместимость при перевозке плит, т.к. они частично входят друг в друга при этом, и увеличится их сохранность при погрузочных работах, складировании и монтажных работах.

При установке 2-х слоев плит их нужно устанавливать с расположением одного слоя над другим с поворотом на 90°. При этом будет обеспечиваться жесткость слоя и улучшения теплоизоляции. Переход от одного слоя к другой дает эффект – за счет теплоизоляции и замена при ремонте.

Таким образом, предлагается плоская плита для теплоизоляции из фенола, пенопласта и других выпеченных материалов заменить на плиты с ребрами переменного сечения, промежутки между которыми будут заполнены воздухом.

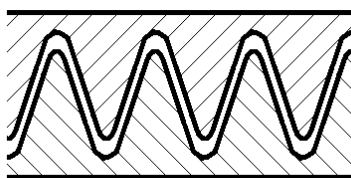


Рисунок 2 - Способ укладки плит с пазами при перевозке

Эта конструкция теплоизолирующей плиты даст следующее преимущество:

- экономия материала при изготовлении и следовательно снижение капитальных вложений;

- экономия затрат на перевозку т.к. увеличится вместимость транспортных средств (автомашины);

- снизить эксплуатационные затраты поскольку результирующий тепловой поток уменьшится;

- уменьшения объема при замене поврежденных элементов на ремонтах.

*Выводы:* Предложен оптимальный вариант теплоизоляционного элемента, который во многом определяет эффективность использования как плоских, так и цилиндрических поверхностей. В настоящее время приводится конструктивная проработка таких элементов.

#### Библиографический список

1. Евтушенко Е.И., Дороганов В.А., Перетокина Н.А., Зайцева Т.И. // Научные исследования и разработки. 2014. № 8. С. 25-27.

2. Стерлигов В.В., Чекулаев А.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 8. С. 45-48.

3. Стерлигов В.В., Шадринцева Д.А. // Известие высших учебных заведений. Черная металлургия. 2014. № 2. С. 30-33.

## СОЗДАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГАЗОВ

**Хертек А.А.**

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

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

Рассматривается методика получения обобщенной модели теплопроводности газов на основе частных зависимостей.

Ключевые слова: теплопроводность, явление, аффинное подобие, модель, процесс.

В учении о теплообмене рассматриваются процессы распространения теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Эти процессы по своей физико-механической природе весьма многообразны, отличаются большой сложностью и обычно развиваются в виде целого комплекса разнородных явлений.

Перенос теплоты может осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением, или радиацией. Эти формы глубоко различны по своей природе и характеризуются различными законами.

Процесс переноса теплоты теплопроводностью происходит между непосредственно соприкасающимися телами или частицами тел с различной температурой. Учение о теплопроводности однородных и изотропных тел опирается на весьма прочный теоретический фундамент. Оно основано на простых количественных законах и располагает хорошо разработанным математическим аппаратом. Теплопроводность представляет собой, согласно взглядам современной физики, молекулярный процесс передачи теплоты [1].

В твердых телах перенос тепла осуществляется только за счет колебаний кристаллической решетки или с точки зрения квантовой теории за счет движения фононов. Если при данной температуре один из узлов колеблется с амплитудой, большей среднего значения, то он, будучи связан с соседями силой межатомного взаимодействия, будет действовать на них, вызывая рост амплитуды колебаний соседних частиц. Таким образом, энергия передается от одного узла решетки к другому. Если концы твердого тела поддерживаются при разных температурах, то в образце возникает непрерывный поток тепла. Каждый узел колеблется с меньшей амплитудой, чем соседний с ним со стороны более нагретого конца, и с большей амплитудой, чем соседний с ним со стороны менее нагретого конца.

Теплопроводность жидкостей – это количество тепла в калориях, которое проходит в 1 сек через  $1\text{ см}^2$  слоя толщиной 1 см. Теплопроводность обычно выражается в  $\text{ккал/см}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$  или  $\text{кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ . Теплопроводность

жидкостей уменьшается с повышением температуры.

По сравнению с жидкостями газы имеют не только малую теплоемкость, но и малую теплопроводность, поэтому они являются хорошими теплоизоляторами.

Количество тепла, перенесенное путем теплопроводности, зависит от температуры, площади, через которую происходит передача, и времени. Теплопроводность газов возрастает с температурой, но она не зависит ни от давления, ни от плотности газа. В то же время повышение давления вызывает некоторое увеличение скорости переноса тепла путем конвекции [2].

Практически это очень частые явления механических процессов. Необходимо иметь простую инженерную модель этого явления.

Ниже рассматриваются методика создания обобщенной модели теплопроводности газов.

Аффинные преобразования относятся, к аналитической геометрии означают возможность отражения точек одной поверхности на другой поверхности за счет некоторых математических операций.

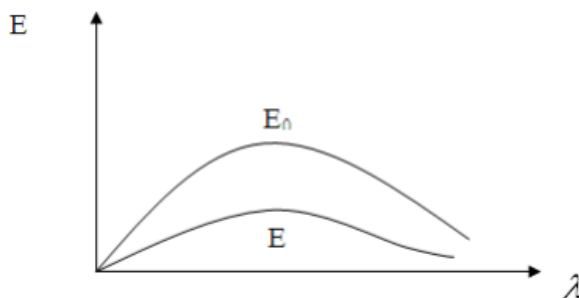
Возникающие при этом аффинное подобие кривых, фигур является частным случаем общего подобия.

Если при полном подобии все константы линейного подобия имеют идентичное значение, это позволяет записать

$$c_l = c_x = c_y = c_z = idem, \quad (1)$$

где  $c_x, c_y, c_z$  - константы подобия для отдельных проекций отрезка « $l$ » на оси координат декартовой системы.

Широко известен случай аффинного подобия для характеристики изучения «серого тела», который обычно представляется такой иллюстрацией (рисунок 1).



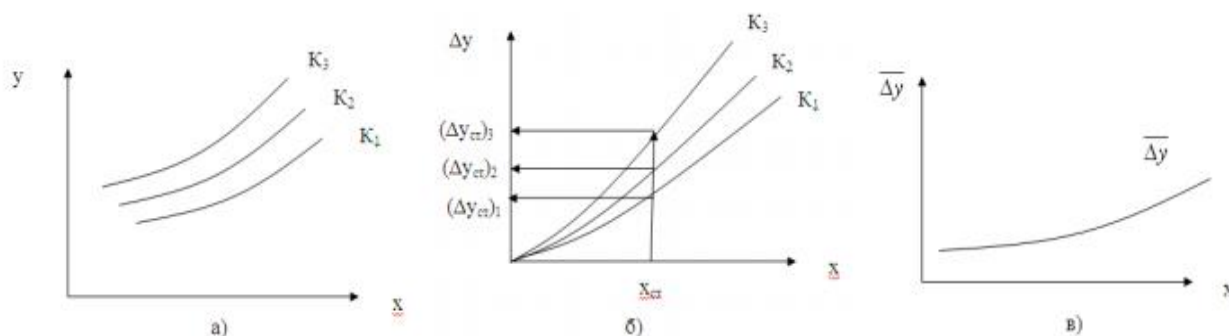
$E_0$  — излучение «абсолютного черного» (идеального) излучателя, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $E$  — излучение «серого» (реального) излучателя, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  — длина волны, м

Рисунок 1 — Излучение «серого тела»

Константы подобия для этого случая выражаются так;

$$C_E = \frac{E}{E_0} = \varepsilon; C_\lambda = \frac{\lambda}{\lambda_0} = 1, \text{ т. е. } C_E \neq C_\lambda.$$

Часто графическое изображение в виде совокупности кривых получается при физическом моделировании (рисунок 2).



$x$  – входной фактор;  $y$  – выходной фактор;  $K_1, K_2, K_3$ – дискретные параметры  
 а) исходные кривые; б) «поляризация»; в) обобщенная кривая

Рисунок 2– Результаты однофакторного эксперимента и их аффинное преобразование

Реально, существует непрерывная зависимость

$$y = (x, k, m, n), \quad (2)$$

где  $x$ – входной (изучаемый) фактор;  
 $k, m, n$  – другие факторы.

Таким образом, аффинные преобразования с целью получения обобщенной зависимости включают две операции:

1. Поляризация;
2. Нормирование.

Рассмотрим самое общее уравнение

$$y = y_0 + kx^n. \quad (3)$$

Член  $kx^n$  учитывает действие фактора  $x$ , а  $y_0$ – во всех остальных факторов, которые действуют «аддитивно», т.е. как добавок.

Поляризация математически означает устранение аддитивно действующих факторов и выражается как

$$\Delta y = y - y_0 = kx^n. \quad (4)$$

Нормирование заключается в устранении факторов, действующих «мультипликативно» как сомножители, и выражается так:

$$\overline{\Delta y} = \frac{\Delta y}{\Delta y_{cm}} \quad (5)$$

где  $\Delta y_{cm}$  – приращение величины функции при некотором  $x_{cm}$  которое можно выбрать произвольно.

Используя выражение (4), (5), получим

$$\overline{\Delta y} = \frac{\Delta y}{\Delta y_{cm}} = \frac{kx^n}{kx_{cm}^n} = \left(\frac{x}{x_{cm}}\right)^n = Ax^n, \quad (6)$$

где  $A = \left(\frac{x}{x_{cm}}\right)^n = const$ , одинаковые для всех кривых, поэтому функция  $\overline{\Delta y} = Ax^n$  даст одну кривую, выражающую обобщенную зависимость  $y = \varphi(x)$ .

Таким образом, алгоритм получения обобщенной зависимости сводится к двум операциям:

– поляризация  $\Delta y = y - y_0 = kx^n$ ;

– нормирование  $\overline{\Delta y} = \frac{\Delta y^n}{kx_{cm}^n}$ .

Как видно из процедуры аффинных преобразований эти две операции устраняют влияние факторов, которые характеризуют особые свойства изучаемого процесса, то что принято называть «условия однозначности».

Как видно из процедуры аффинных преобразований эти две операции устраняют влияние тех факторов, которые характеризуют особые свойства изучаемого процесса, то что принято называть «условия однозначности». Для получения конкретного значения  $y$  при заданных условиях необходимо провести обратные операции:

- денормирование  $\Delta y = \Delta y_{cm} = \Delta y_i$ ;

- деполяризация  $\Delta y_i + \Delta y_{oi} = y_i$

Эти два действия характеризуют воздействие условий однозначности и позволяют получить одно единственное значение искомой величины, т.е. выполняются требования алгоритма получения частных значений из общего уравнения [3].

На основе этой обобщенной зависимости мы получим универсальную инженерную модель позволяющий определить коэффициент теплопроводности газов.

#### Библиографический список

1. Механизмы переноса [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://staredu.ru/446074340.html> (дата обращения 12.03.2017).
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Москва 1952. Ст. 391.
3. Стерлигов В.В. Создание обобщенных моделей на основе аффинных преобразований. Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды IV Всероссийской научно-практической конференции международным участием. Ч1-2016-Ст. 348-351.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ**

**Пуликов П.С.**

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

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

Рассмотрены разработки в области применения теплонасосных установок в цикле тепловых электрических станций. Представлен обзор работ по использованию тепловых насосов в охлаждающем контуре паровой турбины.

Ключевые слова: Теплоэлектроцентраль, ТЭЦ, коэффициент полезного действия, КПД, пар, работа, тепловая экономичность, конденсатор, паровая турбина, охлаждающий контур, теплонасосное оборудование, тепловой насос.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) - одна из разновидностей тепловой электростанции, которая производит электроэнергию, а также, является источником тепловой энергии - в виде пара и горячей воды - в централизованных системах теплоснабжения, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов [1].

Коэффициент полезного действия (КПД) ТЭЦ, как правило, не превышает 40-45 %. Такой показатель обусловлен особенностями технологического процесса производства тепла и электрической энергии. ТЭЦ, как правило, работает на высоких и сверхвысоких параметрах пара, но при переменных режимах ее оборудование работает на более низких начальных параметрах пара, что влечет за собой снижение номинальной мощности энергоблоков, и как следствие, тепловой экономичности электростанции в целом [2].

Одним из основных показателей снижения тепловой экономичности ТЭЦ является сброс охлаждающей воды с конденсатора паровой турбины.

На ТЭЦ для охлаждения и конденсации пара в конденсаторах паровых турбин используют воду из естественных источников: реки, озера, и т.д. Проходя через конденсатор, вода возвращается в источник, при этом уже имея более высокую температуру, чем в источнике. При ограниченном количестве воды в источнике увеличение температуры на выходе из конденсатора может привести к повышению температуры источника выше допустимых пределов. Это, в свою очередь, ухудшает эффективность охлаждения конденсатора, что влечет за собой снижение КПД установки, а в некоторых случаях может привести к нарушению экологической обстановки [3].

С целью повышения эффективности работы ТЭЦ, при номинальных и переменных режимах работы, предлагаются различные варианты примене-



ния высокоэффективного теплонасосного оборудования – промышленных тепловых насосов (ПТН).

В настоящее время существуют несколько разработок по использованию тепловых насосов в охлаждающем контуре турбины. Например, в работе «*Устройство для утилизации тепловой энергии воды, охлаждающей конденсатор паровой турбины*» авторов С.К. Коротаева и С.Н. Малинина предложен вариант применения сразу двух тепловых насосов. Особенностью разработки, является то, что один из теплообменников первого теплового насоса установлен на трубопроводе сбросной линии охлаждения конденсатора, а теплообменник второго насоса - непосредственно соединен с теплопотребителем [4].

В работе авторов В.И. Шарапова, М.Е Орлова и Н.С. Подстрешной «*Способ работы тепловой электрической станции*» описан вариант использования теплового насоса для подогрева сетевой воды: весь поток обратной сетевой воды, возвращаемый от потребителей, нагревают паром отборов турбины в нижнем и в верхнем сетевых подогревателях, а также в конденсаторе теплонасосной установки, после чего направляют потребителям [5].

*Выводы:* Использование теплонасосных установок в цикле работы тепловых электростанций, а конкретно, в охлаждающем контуре паровой турбины, благоприятно сказывается на КПД установки в целом.

На сегодняшний день продолжают развиваться разработки по применению тепловых насосов в этом направлении.

#### Библиографический список

1. Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) - Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [<https://ru.wikipedia.org/wiki>]; (дата обращения: 25.03.2017).
2. Янченко И.В. Влияние абсорбционного теплового насоса на тепловую экономичность ТЭС и АЭС / ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, 2015. – 180 с.
3. АЭС виновны в парниковом эффекте / Независимая газета, 08.04.2008. – 25с.
4. Патент РФ № 2008135721/22, 04.09.2008. Коротаев С.К., Малинин С.Н. Устройство для утилизации тепловой энергии воды, охлаждающей конденсатор паровой турбины // Патент России № 79431. Опубликовано: 10.01.2009 Бюл. № 1.
5. Патент РФ № 2004114382/06, 11.05.2004. Шарапов В.И., Орлов М.Е, Подстрешная Н.С. Способ работы тепловой электрической станции // Патент России № 2275512. Опубликовано: 27.04.2006 Бюл. № 12.

## **СИСТЕМА МЕЖДУНАРОДНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

**Колегова А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Стерлигов В.В.**

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

Климат на планете Земля меняется. Это факт, признаваемый академической наукой, политиками, большинством жителей планеты, на собственном опыте ощущающих необычные, неприятные и даже трагические проявления климатических изменений.

Ключевые слова: климат, международные документы, парниковый эффект, Парижское соглашение.

До появления человека и его деятельного отношения к природе в живом мире господствовали взаимная зависимость и связанность, можно сказать, что существовала экологическая гармония. С появлением человека начинается процесс нарушения этого состояния. Этот процесс начался несколько тысяч лет назад, когда предок человека приобрел способность мыслить, начал делать орудия труда, пользоваться знаниями, рисовать и в своей деятельности производить средства для жизни. Но, осваивая природу в процессе трудовой деятельности, человек не учитывал необходимости уважения закономерностей, господствующих в биосфере и своей деятельностью нарушал уравновешенность условий и влияний в природной среде [1, С. 24].

Экологические проблемы возникли как следствие эксплуататорского отношения человека к природе, стремительного роста технологии, размаха индустриализации и роста населения. Выработка природных ресурсов настолько велика, что встал вопрос об их использовании в будущем. Экологические проблемы современности по своим масштабам условно могут быть разделены на локальные, региональные и глобальные и требуют для своего решения неодинаковых средств решения и различных по характеру научных разработок. В числе значительного перечня экологических проблем человечества особое место в последние десятилетия принадлежит проблеме глобального изменения климата. Активную роль в разработке экологических инициатив и концепций принадлежит государствам Европейского союза. Дальнейшее усовершенствование экологических концепций связано с согласованием позиций и принятием законодательных решений национальными государствами по экологическим проблемам на уровне Организации Объединенных Наций.

Уже с 1972 года ведется активная мировая экологическая политика по

изменению климата, разрабатываются проекты, направленные на снижение выбросов парниковых газов [2, С.17].

Создание МГЭИК, Международной группы по борьбе с климатическими изменениями (1988) имело своей целью изучение с научной точки зрения влияния человека на климатические изменения, оценку рисков и разработку стратегии по смягчению последствий.

В 1990 году было создано АДЕМЕ, Агентство по окружающей среде и управлению энергетикой – государственное учреждение, которое участвует в реализации политики в области устойчивого развития, охраны окружающей среды и энергетики. Оно предоставляет в распоряжение государственных предприятий, организаций и территориальных объединений услуги по консалтингу и экспертизе [4, С. 62].

Конференция в Рио 4 (1992), также известная как Саммит Земли или Конференция ООН по защите окружающей среды и развитию (ЮНСЕД), собрала представителей 182 стран в Рио-де-Жанейро, чтобы обсудить будущее планеты. Именно во время первого Саммита Земли была разработана концепция устойчивого развития, описывающая процесс эволюции, позволяющий отвечать текущим запросам граждан, не затрагивая их будущих интересов [4, С. 64].

Киотское соглашение в отношении выброса парниковых газов (1990-2007) Соглашение предусматривает определенную гибкость для стран в отношении путей и способов достижения поставленных в Протоколе задач (увеличение количества лесов, финансирование зарубежных проектов и т. д.). Вступление в силу Киотского Протокола состоялось лишь в феврале 2005 года.

Копенгагенское соглашение (2009) – это трехстраничный текст, который объединяет общие направления действий в области изменения климата на международном уровне (снижение выбросов парниковых газов, ограничение глобального потепления на 2 °С, финансирование в размере 30 миллиардов долларов в 2010–2012 годы).

Соглашения в Дурбане (2011) направлены на принятое в 2015 году универсального соглашения. Они положили начало формулировке нового протокола, принятие которого в 2015 году должно было привести к конкретным результатам в отношении выбросов парниковых газов и снижению темпов глобального потепления до 2 °С уже к 2020 году.

СОР 20 в Лиме (2014) вывела на первый план необходимость дополнительных усилий для поддержания темпов потепления ниже 2 °С к 2100 году. Она привела к редактированию предварительного документа будущего соглашения СОР21 в Париже и утверждению 37 страниц текста.

СОР 21 прошел 30 ноября по 11 декабря 2015 в Париже, соглашение определяет направление дальнейших усилий по удержанию роста температуры на уровне значительно ниже 2 градусов, возможно даже ниже 1,5 градуса. В соглашении предусматривается механизм повышения целевого

уровня. Парижское соглашение имеет широкомасштабный, динамичный и всеобщий характер. Оно охватывает все страны и все выбросы, а его осуществление рассчитано на долгие годы, определяет направление дальнейших действий. Парижское соглашение посылает мощный сигнал рынкам о том, что пришло время для инвестиций в экономику с низким уровнем выбросов, и содержит механизмы обеспечения транспарентности в целях укрепления взаимного доверия и уверенности.

На климатической конференции ООН COP22 в Марракеше, где страны, компании и коалиции заявляют о безусловном приоритете зеленой энергетики, Россия обозначила свой особый путь: приоритеты на среднесрочную перспективу отдаются развитию газодобычи, повышению энергоэффективности в угольной и материалоемких отраслях, а также атомной энергетике.

Потепление и раньше имело место в мире, но никогда ранее его темпы не были столь стремительными из-за деятельности человека. Например, всего за шесть лет в Арктике произошли шокирующие изменения. Удержать повышение глобальной температуры на уровне ниже 2 градусов можно, если начать действовать сегодня. Необходимо, чтобы все страны и все сектора общества действовали уже сейчас – это в интересах всех и каждого. Это выполнимо. Принятие действий по борьбе с изменением климата в настоящее время экономически целесообразно. Чем дольше мы медлим, тем большую цену нам придется заплатить. Действуя сегодня, мы сможем стимулировать экономический рост, искоренить крайнюю нищету и улучшить здоровье и благополучие людей.

#### Библиографический список

1. Лопатин В.Н., Муравых А.И., Грицевич И.Г. Глобальное изменение климата, проблемы и перспективы реализации Киотского протокола в Российской Федерации, 2013.-124 с.
2. Ерофеев Б.В. Экологическое право России: Учебник. - М.: Юристъ, 1996. - 624 с.
3. Аттали Ж. На пороге нового тысячелетия: Пер. С англ. - М.: Международные отношения, 1993. - 136 с.
4. Лавров С.Б. Глобальные проблемы современности: часть 2.[Электронный ресурс] - СПб.: СПбГУПМ, 2016. - 72 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ АБЫ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Александрова О.А., Алшынбаев С.Д.

Научные руководители: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.<sup>1</sup>,  
канд. геогр. наук, доцент Андреева О.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет,

<sup>2</sup>НФИ Кемеровского государственного университета,

г. Новокузнецк, e-mail: o\_s\_a@bk.ru

Объектом является река Аба, рассматривается её экологическое состояние, источники загрязнения и методы её очистки, предлагаются идеи создания мест отдыха горожан.

Ключевые слова: загрязнение реки Аба, ПДК, среднегодовые концентрации загрязнителей, очистка и благоустройство реки.

В Кемеровской области насчитывается более 1600 больших, средних и малых рек, и наиболее загрязненной из них считается река Аба.

Река Аба берёт начало в районе города Киселевска на склонах Тырганского плато и впадает в реку Томь слева на 580 км от устья. Это типичная равнинная малая река, имеющая довольно медленное течение (около 0,4м/сек), узкое русло с пологими бортами, незначительный годовой сток. Длина реки – 71 км, площадь водосбора – 867 км<sup>2</sup>. Бассейн реки расположен в пределах юго-западной части Кузнецкой котловины. Поверхность бассейна реки изрезана логами, занята пашнями, лугами, по склонам долин частично залесена, в поймах заболочена [1].

Река Аба протекает по Киселевско-Прокопьевскому промышленному району, в результате чего загрязнена сточными водами предприятий горнодобывающей промышленности, хозяйственно-бытовыми стоками, а также поверхностными, ливневыми и тальными водами. Имеет мутный поток серо-грязного цвета и неприятного запаха. Всего в реку Абу (с притоком Большие Топки) сбрасывается в год 5291 тыс. м<sup>3</sup> стоков предприятиями: ОАО «ПИК» «Киселёвская», ОАО «Киселёвский машиностроительный завод им. И.С. Черных», ОАО «Шахта Тайбинская», ОАО «Вахрушевразрезуголь», ОАО «Завод «Гормаш», П КК и ТС №1, шахта им Вахрушева, участок Коксовый. Ни один сброс сточных вод предприятиями не отвечает нормативным требованиям установленных предельно допустимых сбросов [2].

В устье р. Абы в разовых пробах воды в течение 2015 года были зарегистрированы высокие концентрации нефтепродуктов от 43,2 ПДК до 61 ПДК. В реке Аба среднегодовые концентрации в створах ниже города Прокопьевска и в устье реки соответственно составили: нефтепродуктов - 5/13,8 ПДК; азота нитритного – 2,5/2,4 ПДК; фенолов – 2/1 ПДК; органических со-

единений по показателю ХПК – 1,2/1 ПДК; по показателю БПК5 – 1,1/1,1 ПДК. Река Аба по–прежнему загрязнена взвешенными веществами, среднегодовые концентрации которых составили соответственно ниже г. Прокопьевск – 298,0 мг/л, в устье – 513,0 мг/л. Максимальные концентрации взвешенных веществ в разовых пробах в створах ниже г. Прокопьевск – 818,0 мг/л, в устье – 642,0 мг/л. Качество воды в р. Аба по обобщенному показателю УКИЗВ по сравнению с 2009 годом ухудшилось, вода характеризовалась как «очень загрязненная» (УКИЗВ составил 3,41/3,43), а в 2010 году вода характеризуется как «грязная» (УКИЗВ составил 4,09/3,61) [2].

В течение зимы 2014 года зарегистрировано 4 случая теплового загрязнения р. Аба. Температура воды повышалась до + 7,3 °С.

Таблица 1 – Мониторинг температуры воды в реке Аба

Сезон года	Значения температуры воды (°С)			
	Зима	Весна	Лето	Осень
2012г	-30	+10	+25	+5
2013г	-20	+15	+30	+8
2014г	-15	+20	+35	+12

В Новокузнецке сбросы промышленных предприятий не только подогревают воду, что она не замерзает и обогащает её различными токсичными веществами, но и самой настоящей живой органикой (за счет большого количества биогенных веществ и теплой воды). Как итог, в реке обитают личинки мошки, пиявки, прудовики. Вследствие обилия пищи в реке и забота горожан, которые подкармливают уток, всё больше их остаётся зимовать в Новокузнецке.

2017 год – год экологии в России. По договоренности с Росводресурсами в течение ближайших трех лет в Кузбасс поступит 151 миллион рублей, которые будут направлены на очистку 12,1 га русла реки [4].

Для «оздоровления» реки необходимо осуществить следующие мероприятия:

- сокращение сброса загрязняющих веществ в водный объект;
- проведение очистки водоохраных зон реки, продолжить работу по ликвидации несанкционированных свалок и запрету размещения автотранспорта;
- выполнение берегоукрепительных работ и углубление речного дна;
- проведение очистки дренажных и ливневых канав на промышленных площадках промышленных предприятий;
- проектирование и строительство очистных сооружений городских ливнестоков.

Уже сегодня областной департамент природных ресурсов и экологии разрабатывает план мероприятий для городов Прокопьевск и Киселевск. Угледобывающие предприятия, расположенные на территории этих муници-

пальных образований и соседствующих с ними районов, должны модернизировать свои системы очистки сброса сточных вод.

В 2017 году стоимость работ составит 27 млн рублей. Экскаваторы углубят и расширят русло, будет убран мусор и кустарник. Извлечённые со дна 202 тыс. м<sup>3</sup> грунта направят на частичную рекультивацию отработанного угольного карьера в Новокузнецком районе.

Подрядчики с помощью бульдозеров выровняют берега и для их укрепления посеют многолетние травы. Береговую линию площадью в 1,5 тыс. м<sup>3</sup>, где река подходит близко к домам, укрепят крупным щебнем слоем 30 сантиметров.

Результатом выполнения данных мероприятий станет значительное сокращение концентрации взвешенных веществ в водах Абы. Река станет значительно чище.

Улучшение качества воды может привести к появлению в реке ценных пород рыб, таких как таймень, стерлядь, осётр. На реке можно установить территории для любительского и спортивного рыболовства.

На реке, с целью создания мест отдыха горожан, предлагаем построить набережные. Можно обустроить следующие набережные в черте города. Для каждого района – свою. В Абашево обустроить существующий участок дороги вдоль реки (1,4 км), запретив по нему проезд транспорта, установив ограждение и парковые скамейки, сделав разметку пешеходных и велосипедных полос. В Байдаевке обустроить участок по обе стороны от Байдаевского моста в 1 км. В центре города – параллельно ул. Запорожской от Кузнецкого моста до начала Левобережного водозабора. В отличие участка у торгового центра в этом месте расположена небольшая лесополоса, которую легко можно превратить в небольшой природный парк. Набережные обеспечивают свободный выход из прилегающих микрорайонов к воде, а оформление центральной части города, станет одним из главных его фасадов.

#### Библиографический список

1. О.А.Ягунова, А.С.Ягунов, Информация о загрязнении реки Аба сточными водами с ликвидированных шахт юга Кузбасса (<http://cyberleninka.ru/article/>).
2. Романенко М.Ф. Экология Кузбасса: Проблемы и перспективы.- Новокузнецк, 1992.
3. Минаков Е. С. Экологические проблемы г. Новокузнецка [Электронный ресурс]: докл. / Е. С. Минаков – URL <http://www.inesa.ru/?dr=bulletin/arhiv/0075&pg=008>.
4. [Электронный ресурс]:- Режим доступа: <http://amp.kem.kp.ru/online/news/2592122/>.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b> .....	3
<b>Романов Д.А., Степиков М.А., Гаевой Е.А., Апапина В.О.</b> Анализ структуры электровзрывных покрытий системы TiC-TiAl методом просвечивающей электронной микроскопии.....	3
<b>Зайцев Н.С., Бендре Ю.В., Зенцова С.В.</b> Активация реакции окисления титана статическим электрическим зарядом, сообщаемым металлу от внешнего источника.....	6
<b>Шляров В.В., Осинцев К.А.</b> Исследования потери массы поликристаллического алюминия марки А85 при изменении температуры для образцов, разрушенных в условия ползучести с магнитным воздействием и без него.....	15
<b>Истомин И.Б.</b> Спектральный метод исследования межфазных взаимодействий на границе раздела уголь-раствор ПАВ .....	20
<b>Павлов Н.В.</b> Поведение наноразмерных пленок оксида молибдена (VI) под действием света.....	23
<b>Суровая В.Э.</b> Модификация наноразмерных пленок марганца в процессе термической обработки при T=473K.....	26
<b>Назарова Е.С.</b> Облучение наноразмерных пленок висмута светом $\lambda = 360$ нм интенсивностью $I = 7,0 \cdot 10^{15}$ квант·см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> .....	29
<b>Гостевская А.Н., Рубанникова Ю.А., Мусорина Е.В.</b> Структурно-фазовые состояния и свойства поверхности термомеханически упрочненной низкоуглеродистой стали.....	32
<b>Мусорина Е.В., Гостевская А.Н., Рубанникова Ю.А.</b> Эволюция структурно-фазовых состояний поверхностного слоя рельсовой стали при длительной эксплуатации.....	34
<b>Рубанникова Ю.А., Мусорина Е.В., Гостевская А.Н.</b> Влияние электронно-пучковой обработки на структурно- фазовые состояния поверхностного слоя материала наплавки, сформированной на стали электроконтактным методом.....	36



<b>Устюжанин С. В., Грановский А.Ю.</b> Модели формирования капель на электроде при электросварных технологиях.....	39
<b>Шляпников С.С.</b> Математическое моделирование структурно-фазовых превращений при прерывистом охлаждении проката .....	42
<b>Поданев А.П., Грановский А.Ю.</b> Модель перемешивания в ванне расплава при электродуговой наплавке.....	45
<b>Козлова И.В., Сысолятин А.С.</b> Определение основных параметров высококалорийного синтез-газа полученного из органических веществ.....	48
<b>Ильященко А.В.</b> Математическая модель распространения термоупругих волн при воздействии газочапельной среды на горячий прокат.....	51
<b>Михайлов В.А.</b> Оптические свойства наноразмерной системы $Bi - MoO_3$ при $T=473K$ .....	54
<b>Бахриева Л.Р., Романов Д.А.</b> Анализ особенностей формирования структуры электровзрывного покрытия системы $Mo-C-Cu$ .....	57
<b>Беляев В.А.</b> Варианты метода коллокации и наименьших невязок для решения задач математической физики в неканонических областях.....	59
<b>II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....</b>	<b>61</b>
<b>Сергеев А.А.</b> Использование комплекса глубокой разработки пластов на разрезе «Южный» .....	61
<b>Ермилов В.В., Матвеев А.В.</b> Анализ современных методов разработки месторождений природного камня.....	64
<b>Сергеев А.А.</b> Увеличение производительности обогатительной установки с крутонаклонным сепаратором.....	66

<b>Веденяпина О.Ю.</b> Энергосистема Кузбасса.....	69
<b>Обрядин А.А.</b> Разработка структуры и выбор средств реализации модели проведения горной выработки.....	72
<b>Шабунев М.Е.</b> К анализу путей модернизации устаревших вентиляторов главного проветривания шахт.....	76
<b>Микунов В.В., Никитина А.М., Риб С.В.</b> Разработка технико - технологических решений по повышению эффективности монтажно-демонтажных работ для шахт Юга Кузбасса на примере ООО «Шахта «Алардинская» .....	78
<b>Черешнева Е.В.</b> Разработка алгоритма оценивания результатов выполнения компьютерной лабораторной работы по специальности 21.05.04 «Горное дело» .....	84
<b>Обрядин А.А.</b> Исследование влияния разгрузочных скважин на напряжён- деформированное состояние массива горных пород.....	87
<b>Сёмин А.А., Клишкин М.А.</b> Регистрация сейсмических колебаний от подземного массового взрыва .....	91
<b>Сёмин А.А., Клишкин М.А.</b> Регистрация сейсмических колебаний от массовых взрывов в пос. Гавриловка.....	93
<b>Сёмин А.А., Клишкин М.А.</b> Методика и аппаратура регистрации сейсмических колебаний.....	97
<b>Ильина Е.Н.</b> Применение патронированных эмульсионных ВВ.....	100
<b>Колмаков А.А.</b> Отработка рудных залежей шергешевского месторождения в опасных условиях.....	103
<b>Назаров В.П.</b> Способы предотвращения опасных выделений природных газов при подземной разработке рудных месторождений Норильска.....	108
<b>Торопова Н.В.</b> Высококачественное брикетное топливо .....	111

<b>Косинова Н.С.</b> Повышение эффективности обезвоживания концентрата при помощи фильтра высокого давления 6ПТК-10.....	114
<b>Бурова А.О., Малофеев Д.В.</b> Учет влияния технологических взрывов на устойчивость уступов карьеров .....	117
<b>Малофеев Д.В., Черемных Т.В., Матвеев А.В.</b> Анализ современных методик расчета параметров, принимаемых значений удельного расхода ВВ и кусковатости взорванных пород.....	121
<b>Малофеев Д.В., Черемных Т.В., Матвеев А.В.</b> Методическая основа, современные способы расчета параметров БВР и определение гранулометрического состава взорванных пород.....	123
<b>III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.....</b>	126
<b>Кузнецов С.Н., Неунывахина Д.Т.</b> Математическое моделирование процессов восстановления железа в условиях термохимического окускования конвертерных шламов.....	126
<b>Запольская Е.М.</b> Разработка показателя тепловой эффективности стендов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей.....	129
<b>Кузнецова О.В., Коноз К.С.</b> Влияние неравномерности нагрева заготовок на угар металла в методических печах с механизированным подом.....	132
<b>Числавлев В.В.</b> Моделирование гидродинамических процессов в промежуточном ковше с использованием полнопрофильных перегородок.....	135
<b>Думова Л.В., Уманский А.А.</b> Исследование влияния химического состава рельсовой стали Э78ХСФ на образование поверхностных дефектов рельсов при их производстве.....	138

<b>Сафонов С.О.</b> Анализ конструктивных особенностей дутьевых устройств для продувки металлического расплава в конвертере.....	141
<b>Горшенева О.В.</b> Исследование эффективности внепечной обработки металла с использованием различных шлакообразующих смесей в ККЦ № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» .....	144
<b>Башев В.С., Чумаевский А.В., Зыкова А.П.</b> Исследование влияния нанопорошка Ti на микроструктуру и механические свойства сплава АК12.....	146
<b>Думова Л.В., Уманский А.А.</b> Исследование влияния параметров продувки азотом при обработке на установках доводки металла на его концентрацию в готовой стали и качество слитков .....	149
<b>Ишин Д.Е.</b> Исследование технологических особенностей продувки металла в 350-т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с использованием высокомагнезильного флюса ФОМИ.....	152
<b>Подаруев С.Е.</b> Совершенствование конструкции погружных стаканов для непрерывной разливки рельсовой стали в ЭСПЦ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» .....	155
<b>Костина Д.А., Топоркова Ю.И.</b> Исследование процесса выщелачивания пыли электродуговой плавки в аммиачно-хлоридных системах.....	157
<b>Думова Л.В., Уманский А.А.</b> Анализ влияния параметров внепечной обработки рельсовой электростали на образование оксидных неметаллических включений.....	159
<b>Садыкина Р.А.</b> Влияние химического состава чугуна на производительность кислородного конвертера.....	162
<b>Думова Л.В., Уманский А.А.</b> Обоснование технико-экономической эффективности применения новых видов ферросплавов для раскисления рельсовой электростали.....	164

<b>Денисов Я.В., Уманский А.А.</b> Исследование формоизменения внутренних дефектов непрерывнолитых заготовок при использовании различных методов производства рельсов.....	167
<b>Гальчун А.Г.</b> Снижение расхода топлива на нагревательных печах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» .....	170
<b>Шафикова С.А., Мухарлямова В.И.</b> Оценка эффективности применения различных видов связующих в технологии переработки техногенного железосодержащего сырья.....	173
<b>Ульянина В.А., Семенов В.М.</b> Модель выбора связующего материала для процесса брикетирования железосодержащего техногенного сырья.....	178
<b>Каргапольцева Т.Н.</b> Проблемы переработки вторичного свинцового сырья.....	181
<b>Дитков Д.В. Журба О.М.</b> Использование конечно элементного моделирования при прочностных расчетах прокатного оборудования.....	182
<b>Журба О.М., Дитков Д.В.</b> Определение работоспособности системы прокатная клеть – валковая арматура.....	185
<b>Прудников В.А.</b> Влияние отжига на линейное расширение листовой стали 10, изготовленной с использованием термоциклической деформации.....	188
<b>Прудников В.А., Сазонов М.С.</b> Воздействие термической обработки на микроструктуру и фазовый состав поршней двигателей ЯМЗ из сплава АК21.....	191
<b>Прудников В.А., Духанин Ф.А.</b> Формирование поверхности излома слитков полунепрерывного литья из заэвтектического силумина.....	194
<b>Иванов А.А., Шабалин А.В.</b> Влияние газового азотирования на стойкость инструмента для литья пластмасс.....	197
<b>Иванов А.А.</b> Изучение влияния химического состава на прокаливаемость стали марки 30ХГСА.....	200

<b>Рахуба Е.М., Деев В.Б., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Приходько О.Г.</b>	
Особенности технологии получения художественных литых изделий из сплавов на основе олова.....	203
<b>Рахуба Е.М., Деев В.Б., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Приходько О.Г.</b>	
Перспективы использования сплавов на основе олова для художественного литья.....	205
<b>Рахуба Е.М., Деев В.Б., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Приходько О.Г.</b>	
Технико-экономическое обоснование применения легкоплавких сплавов для художественного литья.....	207
<b>Сметанюк С.В., Деев В.Б., Рахуба Е.М., Пономарева К.В., Приходько О.Г.</b>	
Совместное использование полиуретана и отходов литейного производства для изготовления оригинальных художественных изделий.....	209
<b>Яблонский М.А.</b>	
Совершенствование технологии сварки рельсов.....	213
<b>Долгополов А.Е., Мамедов Р.О.</b>	
Исследования влияния физико-механических свойств ХТС на качество отливок из железоуглеродистых сплавов .....	216
<b>Шишкин П.Е., Шевченко Р.А., Патрушев А.О.</b>	
Оптимизация режимов сварки рельсов на машине К 1100 методами математического моделирования.....	219
<b>Шишкин П.Е., Патрушев А.О.</b>	
Моделирование процесса сварки рельсов на машине К 1100.....	222
<b>Шевченко Р.А., Шишкин П.Е., Патрушев А.О.</b>	
Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов.....	225
<b>Шевченко Р.А., Шишкин П.Е., Патрушев А.О.</b>	
Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов.....	229
<b>Долгополов А.Е., Мамедов Р.О.</b>	
Исследования влияния физико-механических свойств ХТС на качество отливок из железоуглеродистых сплавов.....	232

<b>Осетковский И.В., Гусев А.И.</b> Влияния кобальта на механические свойства и структуру металла наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V.....	235
<b>Гусев А.И., Осетковский И.В.</b> Исследование качества металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co.....	237
<b>Михно А.Р., Бурнаков М.А.</b> Применение углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов.....	240
<b>Бурнаков М.А., Михно А.Р.</b> Возможность использования карбонатов в сварочных флюсах.....	242
<b>Непомнящих А.С., Федотов Е.Е., Белов Д.Е.</b> Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки системы C-Si-Mn-Cr-V-Mo для наплавки прокатных валков.....	245
<b>Федотов Е.Е., Непомнящих А.С., Белов Д.Е.</b> Совершенствование состава порошковых проволок системы C-Si-Mn-Cr-W-V с целью повышения качества и эксплуатационных характеристик наплавленного слоя.....	248
<b>Патрушев А.О., Липатова У.И., Свистунов А.Д, Айматов В.Г.</b> Разработка новых сварочных флюсов.....	250
<b>Патрушев А.О., Липатова У.И.</b> Разработка нового сварочного флюса на основе шлака силикомарганца.....	252
<b>Патрушев А.О., Липатова У.И., Махин Д.И.</b> Использование барий-стронциевого карбонатита при сварке под флюсом.....	255
<b>Баротов Ф.Б.</b> Нанометаллургия вольфрама: современное состояние и перспективы развития.....	257
<b>Мацела Е.В.</b> Кристаллическая структура боридов хрома: актуализация и систематизация научно-технической информации .....	260
<b>Алексеева Т.И.</b> Применение карбида циркония в современной технике: настоящее и будущее.....	263

<b>Алексеева Т.И.</b> Анализ российского и мирового рынка нанокристаллического карбида циркония.....	265
<b>Комрони М.</b> Сырьевая база производства молибдена.....	268
<b>Коновалова Х.А.</b> Смолистые отходы коксохимического производства: практика и перспективы применения.....	271
<b>Павловская Е.Д., Чистюхин Е.А., Джалолов Х.О.</b> Комплексная аттестация цинксодержащих шламов предприятий по производству искусственных волокон Западно-Сибирского региона.....	275
<b>Чистюхин Е.А., Джалолов Х.А., Павловская Е.Д.</b> Переработка цинксодержащих отходов химико-металлургических производств Западно-Сибирского региона.....	278
<b>Попов А.С.</b> Особенности улавливания аммиака при очистке коксового газа.....	280
<b>Старцев С.С.</b> Способы сухого тушения кокса: технологические особенности и перспективы применения.....	283
<b>Ефимова К.А.</b> Производство диборида титана: исследование современных технологических решений, оценка перспектив развития.....	286
<b>Ефимова К.А.</b> Применение диборида титана: мониторинг состояния и анализ перспектив.....	289
<b>Ефимова К.А.</b> Перспективы применения диборида титана в покрытии катода алюминиевого электролизера.....	292
<b>Пономарев Н.С.</b> Коксовая пыль КХП: практика и перспективы использования.....	295
<b>Пенкин А.Е.</b> Колонные флотомашинны: сравнительный анализ и перспективы использования.....	298



<b>Ефимова К.А.</b> Нанотехнологии в производстве многофункциональных соединений титана с бором и углеродом: состояние, исследование, результаты.....	300
<b>Малюх М.А.</b> Влияние меди на линейное расширение алюминиевых сплавов Al-Si.....	304
<b>IV. ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ</b>	308
<b>Сазонова Я.Е.</b> Влияние способа отопления котельных агрегатов на вредные выбросы в атмосферу.....	308
<b>Садковский В.С.</b> Оценка экологического риска от выбросов в атмосферу доменного цеха.....	311
<b>Злобина Е.С.</b> Переработка высокозольных угольных отходов в топливо методом масляной агломерации.....	316
<b>Брызгалова А.Ю., Семичева И.Р.</b> Исследования содержания тяжелых металлов в сточных водах металлургического производства.....	319
<b>Рогозина А.В., Обголец Е.О.</b> Состояние вопроса загрязнения почв тяжелыми металлами г. Новокузнецка.....	323
<b>Дятлова К.А.</b> Каталитическое обезвреживание выбросов коксохимического производства на базе металлургических шлаков.....	326
<b>Перегаедова К.А.</b> Возможность глубокого обезвоживания отходов углеобогащения с помощью фильтр-пресса .....	331
<b>Кононова А.С.</b> Решение задач энергосбережения на молочных фермах с помощью тепловых насосов.....	334
<b>Колпаков Д. Е.</b> Способы оценки воздействия участка открытых горных работ на состояние подземных вод.....	337

<b>Мелентьева А.В., Зинченко Г.Г.</b> Влияние деятельности угольного предприятия на изменение качества воды.....	342
<b>Клишин М.В.</b> О рациональном использовании отходов углеобогащения.....	347
<b>Зонов Д.И., Устинова А.Г., Шишкин А.А.</b> Источники энергии для тепловых насосов.....	350
<b>Шалаева Н.А.</b> Каталитическая очистка выбросов цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования.....	352
<b>Кравченко К.Н.</b> Использование вторичного сырья, содержащего $V_2O_5$ для производства катализатора.....	357
<b>Дроздова А.В.</b> Актуальность техники безопасности на электроэнергетических предприятиях.....	360
<b>Мещерякова Д.Е., Пушкарёва Н.Ю., Скрыбина Е.А.</b> Биологический этап рекультивации нарушенных земель угольного разреза.....	363
<b>Каримова И.О.</b> Построение дерева событий для опасного производственного объекта: нефтесборного пункта.....	366
<b>Воронцов А.В.</b> Влияние высоковольтных ЛЭП и магнитного поля промышленной частоты на безопасность жизнедеятельности людей.....	371
<b>Птухина Т.Д., Фёдоров В.М.</b> Теплообменники с оребренными поверхностями.....	374
<b>Шенцова М.А., Пушкарёва Н.Ю., Скрыбина Е.А.</b> Технологические основы биологической очистки сточных вод городских очистных сооружений.....	376
<b>Квашевая Е.А., Ушакова Е.С., Козлова И.В.</b> Сбор аварийных разливов нефти с водных поверхностей сорбентами на основе вторичного сырья.....	380
<b>Козлова И.В., Квашевая Е.А.</b> Получение альтернативной энергии.....	383

<b>Истомин И.Б.</b> Использование техногенных углеродсодержащих отходов в качестве нагревательных элементов.....	386
<b>Истомин И.Б.</b> Многофункциональная робототехническая платформа для ведения аварийно-спасательных работ на подземных объектах.....	389
<b>Сысолятин А.С. Козлова И.В., Ушаков К.Ю.</b> Влияние дымовых газов угольной генерации на окружающую среду и способы его очистки.....	392
<b>Попов В.С.</b> Поиск новых методов утилизации полимеров.....	395
<b>Уманская Ю.В.</b> Оценка экологического состояния почвы Юго-Восточного административного округа Москвы.....	398
<b>Никокошева А.А., Захарова Н.С.</b> Переработка и утилизация автомобильных покрышек.....	400
<b>Козлова Н.Е., Абдыкалык Т.Е.</b> Комплексная стоимостная оценка энергоэкологического качества топлива.....	403
<b>Татарина Е.С., Чикурова И.В.</b> Прогнозирование эмиссии диоксида углерода на основе углеродного потенциала топлива.....	409
<b>Хертек А-Д.А.</b> Разработка универсального элемента тепловой изоляции.....	412
<b>Хертек А.А.</b> Создание обобщенной модели теплопроводности газов.....	416
<b>Пуликов П.С.</b> Использование тепловых насосов для увеличения эффективности работы ТЭЦ.....	420
<b>Колегова А.А.</b> Система международных документов по регулированию проблемы глобального изменения климата.....	422
<b>Александрова О.А., Алшынбаев С.Д.</b> Экологическое состояние реки Абы: настоящее и будущее.....	425

Научное издание

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

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Часть II**

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых*

**Выпуск 21**

Под общей редакцией

М.В. Темлянцева

Технический редактор

Г.А. Морина

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 26.04.2017 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 25,8 Уч.-изд. л. 28,2. Тираж 300 экз. Заказ № 236

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ