

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

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

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЧАСТЬ IV

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
14 – 16 мая 2019 г.*

выпуск 23

Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева

**Новокузнецк
2019**

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор М.В. Темлянецв,
д-р физ.-мат. наук, профессор В.Е. Громов,
д-р техн. наук, профессор В.Н. Фрянов,
канд техн. наук, доцент В.В. Чаплыгин,
д-р техн. наук, профессор Г.В. Галевский,
д-р техн. наук, профессор Н.А. Козырев,
д-р техн. наук, доцент А.Р. Фастыковский,
д-р техн. наук, доцент А.В. Новичихин,
д-р техн. наук, доцент И.А. Жуков,
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, 2019. - Вып. 23. - Ч. IV. Естественные и технические науки. – 398 с., ил.- 148 , таб.- 69 .

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Четвертая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых, металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования, теории механизмов, машиностроения и транспорта, 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 621.785:669.1.08.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ag-W, ПОЛУЧЕННЫХ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ ШАХТНОГО ПОДЪЁМНИКА

Романов Д.А., Московский С.В.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, romanov_da@physics.sibsiu.ru*

В данной работе были исследованы покрытия системы Ag-W, полученные на медных контактах с помощью электровзрывного напыления. Были подобраны режимы напыления и массы навесок порошка Ag-W, нанесены покрытия методом электровзрывного напыления на медные контакты при различных режимах, проведены металлографические исследования, испытания на микротвердость и атомно-силовая микроскопия полученных покрытий.

Ключевые слова: композитное покрытие, серебро, вольфрам, структура, микротвердость.

Электрической эрозии, то есть разрушению токопроводящего материала под действием электрических разрядов, подвержены многие металлические контакты. Как известно, величина эрозионного разрушения падает с возрастанием температуры плавления материала. Нанесение покрытий из тугоплавких материалов на контакты позволяет вместе с сохранением электропроводности защитить их от электрической эрозии, тем самым продлевая срок службы данных изделий.

В настоящее время ученые располагают различными методами нанесения покрытий с помощью концентрированных потоков энергии: нанесение гальванических покрытий, газотермический метод, метод электронно-лучевого испарения–конденсации в вакууме метод нанесения защитных покрытий плазменным распылением, метод ионноплазменного нанесения покрытий и др.

Немалую роль в современном развитии методов формирования защитных покрытий играет электровзрывное напыление. Электровзрывное напыление – это метод нанесения упрочняющих покрытий из продуктов электрического взрыва фольги и порошковых навесок на поверхность материалов. Этот метод позволяет получать на металлической подложке модифицированный материал с повышенными прочностными, дюрометрическими и трибологическими свойствами. Упрочнение достигается за счет формирования покрытий с образованием мелкодисперсных фаз в вязкой металлической матрице.

Целью данной работы является изучение покрытий системы Ag-W, полученных с помощью электровзрывного напыления на медных контактах.

В данном исследовании на подложку из меди (контакты шахтного подъёмника) были нанесены композиционные покрытия системы Ag-W методом электровзрывного напыления на электровзрывной установке ЭВУ 60/10 (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк). Электровзрывная установка имеет следующие параметры плазмы, формирующейся при электрическом взрыве серебряной фольги с навеской порошка вольфрама: время воздействия плазмы ~ 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи $\sim 8,2$ ГВт/м², давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности $\sim 18,8$ МПа.

Была применена торцевая схема взрыва, для того чтобы повысить интенсивность теплового воздействия на поверхность материала до ее оплавления и обеспечить этим условия для напыления. Серебряная фольга массой 0,2463 г зажималась между коаксиальными электродами, на которые через вакуумный разрядник подавалось регулируемое напряжение. На серебряную фольгу насыпался порошок вольфрама массой 0,434 г. Покрытия нанесены при тепловом воздействии, вызывающем нагрев поверхности подложки до температуры плавления при трех различных режимах энергетического воздействия, отличающихся значениями поглощающей плотности мощности на коаксиальных электродах: $U_1 = 2,4$ кВ, $U_2 = 2,5$ кВ, $U_3 = 2,6$ кВ. При разряде емкостного накопителя периферийная область фольги, прилегающая к внешнему электроду-соплу, становится источником конденсированной фазы продуктов взрыва, а участок фольги над центральным электродом, куда засыпается порошок вольфрама, работает как источник ионизированного пара.

После проведенного электровзрывного напыления полученные при различных режимах образцы были исследованы на микротвердость по методу Виккерса (микротвердомер HVS-1000A). Нагрузка была постоянной для всех режимов и составляла 0,05 HV.

Исследование структуры прямых шлифов было проведено на металлографическом микроскопе Olympus GX-51. Исследование пористости покрытия и зоны термического влияния образцов производили на атомно-силовом микроскопе NT-MDT Solver «NEXT».

С помощью программы Image Analysis 3.5, встроенной в интерфейс программного обеспечения атомно-силового микроскопа был проведен анализ шероховатости покрытия, слоя с измененным состоянием и материала подложки (меди), изучено распределение высоты рельефа поверхности прямого шлифа в зависимости от расстояния.

При анализе структуры на металлографическом микроскопе поперечного сечения всех трех образцов, выявлено формирование многослойной структуры, которая состоит из низкопористого покрытия, незначительно варьирующей толщины, слоя жидкофазного легирования и слоя термического влияния. Толщина покрытия равна $49,04 \pm 0,7$ мкм для режима 1, $68,5 \pm 0,9$ мкм для режима 2 и $61,26 \pm 0,6$ мкм для образца 3. Измерение толщины покрытий произведено с помощью метода вертикальных секущих.

Покрyтия при режимах 2 и 3 получились более однородные по ширине, чем при режиме 1, что может быть объяснено, соответственно, более высокой температуры струи и, значит, скорость диффузии покрyтия с подложной до охлаждения оказалась выше.

При первом режиме обработки в покрyтии имеются поры размером от 3-х до 30 мкм. При режиме обработки 2 размер пор уменьшается, по сравнению с режимом 1. Среднее значение размера пор при втором режиме составляет 16 мкм. При третьем режиме обработки средний размер пор составляет 8 мкм. Таким образом, с увеличением поглощающей плотности мощности средний размер пор в покрyтии системы Ag-W уменьшается.

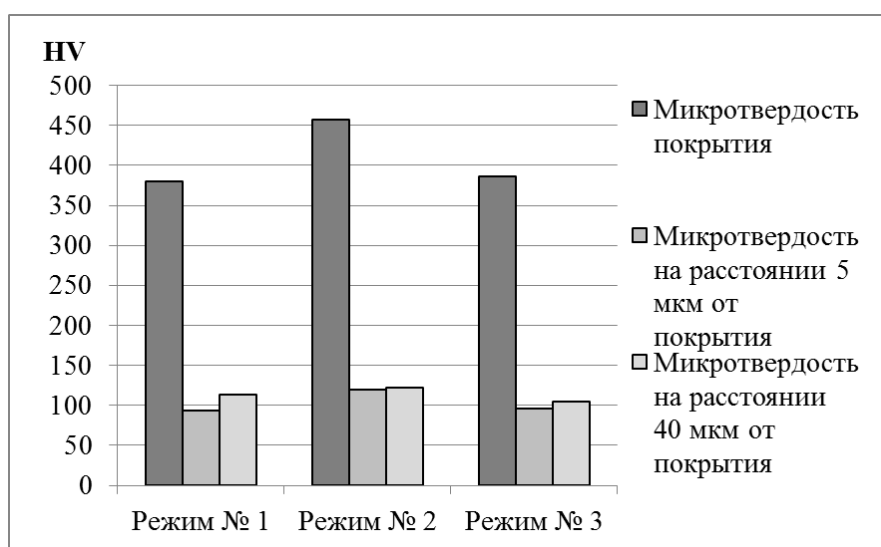


Рисунок 1 - Сравнительная гистограмма микротвердости покрyтия системы Ag-W, полученного при различных режимах обработки медных контактов шахтного подьёмника

Анализ переходного слоя между покрyтием и подложкой показал, что граница не является ровной. Формируется зона взаимного смешивания покрyтия с подложкой. Анализируя данные сравнительной гистограммы, можно сделать вывод о том, что режим обработки № 2 имеет максимальное среднее значение микротвердости слоя покрyтия, по сравнению с другими исследуемыми режимами. Оно составляет $457,5 \pm 55,2$. В подложке значения микротвердости меньше, по сравнению со слоем покрyтия, и составляют $119,4 \pm 2,5$ HV и $122,0 \pm 3,3$ HV на расстоянии 5 и 40 мкм от покрyтия, соответственно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук МД-89.2019.2.

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ ZnO-Ag

Московский С.В., Романов Д.А.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, psk-svm@yandex.ru*

В работе впервые получены электроэрозионностойкие покрытия системы ZnO-Ag методом электровзрывного напыления. Структура покрытий изучена методом атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Сформированное покрытие является однородным по структуре композиционным материалом, состоящим из серебряной матрицы и расположенных в ней включений ZnO. Проведены испытания напыленных покрытий на электроэрозионную стойкость в условиях дуговой эрозии.

Ключевые слова: композитное покрытие, серебро, оксид цинка, структура, электроэрозионная стойкость.

Объектом исследований являлись медные контакты контактора КПВ-604, на контактных поверхностях которых электровзрывным методом было сформировано системы ZnO-Ag. Методами сканирующей электронной микроскопии проведены исследования структуры и элементного состава поперечного шлифа системы «покрытие/подложка» сформированной электровзрывным методом. Анализ полученных результатов показывает, что сформированное покрытие является однородным по структуре композиционным материалом. По морфологии структуры и контрасту травления формирующееся покрытие состоит из светлой серебряной матрицы и темных включений ZnO с размерами, изменяющимися в пределах от 0,3 до 0,5 мкм. Элементный состав покрытия анализировали методами микрорентгеноспектрального анализа. Анализируя результаты можно отметить, что концентрации меди, кислорода и серебра в покрытии незначительно изменяются по его толщине. Этот факт также свидетельствует о структурной однородности полученного покрытия.

Атомно-силовую микроскопию проводили в слое покрытия, расположенном на расстоянии 10 мкм от поверхности покрытия, а также на границе раздела между покрытием и медной подложкой. Поскольку электровзрывное покрытие образовано серебряной матрицей и расположенными в ней частицами порошка ZnO, то мелкие частицы порошка ZnO могут выкрашиваться из матрицы при приготовлении шлифа. В этом случае на месте выпавших частиц образуются поры глубиной от 30 до 100 нм и шириной от 2 до 5 нм. Частицы ZnO диспергируются до 2...5 нм в процессе электрического взрыва при формировании импульсной плазменной струи продуктов электрического

взрыва проводников.

Также выявляются отдельные крупные частицы различной формы с размерами от 10 до 15 нм. Эти частицы ZnO не выкрашиваются из серебряной матрицы при приготовлении шлифа, резко выделяются цветом (они более светлые по сравнению с матрицей). Они хаотически расположены в серебряной матрице. Крупные частицы имеют сложное строение. Характерными структурными единицами, из которых они состоят являются сферы (глобулы) диаметром от 2 до 5 нм (это мелкие сферические частицы, описанные выше). Соотношение серебряной матрицы, крупных и мелких частиц порошка ZnO составляет 0,6:0,15:0,25. Если учесть, что крупные частицы ZnO состоят из более мелких глобулярных частиц ZnO, то соотношение серебряной матрицы и включений порошка ZnO составляет 0,6:0,4. Это соотношение пропорционально содержанию порошка ZnO и серебряной фольги, используемых для электровзрывного напыления.

Таким образом, удалось выявить важный структурный элемент – глобулу ZnO, частицу сферической формы диаметром от 2 до 5 нм. Налицо многоуровневая иерархическая структура покрытия системы ZnO-Ag в основе которой лежат однотипные сферические частицы ZnO диаметром от 2 до 5 нм. Единая структурная единица, из которой состоят включения ZnO, расположенные в серебряной матрице – очень важный аргумент в пользу фрактального механизма формирования электровзрывного покрытия. Такие частицы составляют первый иерархический уровень структуры электровзрывного покрытия системы ZnO-Ag. Вторым иерархическим уровнем составляют глобулы крупные частицы различной формы с размерами от 10 до 15 нм, которые в свою очередь, формируют седимент частицы микронных размеров неправильной формы, выявленные методом сканирующей электронной микроскопии.

На границе раздела между покрытием и медной подложкой различимы темные впадины размером от 10 до 15 нм. Из них выкрошились крупные частицы ZnO, о которых речь шла выше. Кроме того на границе раздела покрытие/подложка в серебряной матрице возникают поверхностные периодические структуры (ППС). Секущая, проведенная перпендикулярно данным структурным образованиям дает основание утверждать, что длина волны в них составляет в среднем 3 нм. Структуры представляют собой остаточный нанорельеф поверхности. После окончания воздействия импульсной плазменной струи продуктов электрического взрыва проводников на подложку и остывания поверхности наведенный рельеф закрепляется в виде ППС. Конкретными процессами их образования могут быть испарение, оплавление поверхности и вытеснение расплава избыточным давлением паров, термокапиллярные явления и термохимические реакции, термические деформации, возникновение и развитие различных неустойчивостей, таких как Релея-Тейлора, Кельвина-Гельмгольца, Марангони и др. В целом явление носит универсальный характер и представляет собой пример самоорганизации в системе, где изначально отсутствуют выделенные направления и структуры.

Энергетические режимы получения ППС соответствуют нагреву материала до температуры, примерно равной температуре плавления (нижний предел), но не выше температуры развитого испарения. Именно такой режим был использован при электровзрывном напылении в настоящей работе.

Профилометрия поверхности показала, что параметр шероховатости электровзрывного покрытия системы ZnO-Ag составляет 73 нм. Максимальный выступ профиля в этом случае достигает значения 536,85 нм, а впадина – 497,5 нм. Сравнивая параметры шероховатости на границе электровзрывного покрытия с подложкой со значением параметра шероховатости в слое покрытия, расположенном на расстоянии 10 мкм можно отметить, что они отличаются на 28 %. На рис. 3, а 35 % фотографии занимает подложка, а 65 % – покрытие. Это дает основание заключить, что шероховатость подложки ниже шероховатости покрытия. Это является закономерным, поскольку из-за выпавших из серебряной матрицы включений ZnO параметр шероховатости покрытия увеличивается.

Механизм сборки такого сложного многоуровневого CdO в серебряной матрице можно представить следующим образом. Единый размер r_1 сферических частиц CdO первого уровня иерархии может быть объяснен в рамках модели диффузионно-лимитированной агрегации по механизму диффузионно-лимитируемой агрегации «частица-кластер». В кластер, который превратится затем в сферу диаметром от 2 до 5 нм, собираются плазменные компоненты многофазной струи продуктов электрического взрыва проводников, распределенные в некотором эффективном объеме на некотором эффективном пространстве интерфейса подложки того же размера. Следует отметить, что размер эффективного объема, в котором происходит образование заготовок сферических частиц первого уровня иерархии, будет зависеть от состава взрывааемых проводников и температуры.

Проанализируем зависимость контактного сопротивления (R) от числа циклов включения/отключения (N) при испытаниях покрытий системы ZnO-Ag на электроэрозионную стойкость в условиях дуговой эрозии. В начале эксперимента значение R контактов составляет 11, 7,5 и 9,5 мкОм для фаз L_1 , L_2 и L_3 соответственно. После осуществления первых циклов включения/отключения R начинает уменьшаться от начальных значений по линейной зависимости до следующих значений: для фазы L_1 значение R составляет 6,3 мкОм при $N = 3059$; для фазы L_2 значение R составляет 4,7 мкОм при $N = 2956$ и является наименьшим среди всех фаз; для фазы L_3 значение R составляет 5,4 мкОм при $N = 3211$. Постепенное снижение R при изменении N от 0 до 3211 говорит о том, что на этом участке испытаний происходит постепенная приработка контактов вследствие чего создается стабильная шероховатость поверхности. На следующем участке кривой с увеличением N происходит увеличение R до максимальных значений: для фазы L_1 значение $R = 15,6$ мкОм при $N = 5015$; для фазы L_2 значение $R = 13,3$ мкОм при $N = 5123$ и является наименьшим; для фазы L_3 значение $R = 14,3$ мкОм при $N =$

4967. Это свидетельствует о том, что на настоящем этапе эксперимента начинается интенсивное испарение легкоплавкой серебряной матрицы под воздействием электрической дуги. Поверхность контакта обогащается частицами порошка ZnO, обладающего меньшей электропроводностью по сравнению с серебром. По этой причине увеличивается контактное сопротивление на этом участке графика. При достижении максимальных значений R на всех трех фазах с дальнейшим увеличением N электрическое сопротивление снова уменьшается. Это вызвано тем, что при $N \approx 5000$ вследствие испарения серебра поверхность контактов максимально обогащается тугоплавкими частицами ZnO, обладающий низкой электропроводностью. По достижению $N \approx 5000$ происходит механическое удаление скоплений частиц ZnO на поверхности контакта. Вследствие этого электрическое сопротивление снова уменьшается, а именно для фаз L_1 и L_2 значения R составляют 6,2 мкОм при $N = 6023$ и 4 мкОм при $N = 5983$ соответственно. Для L_3 значение $R = 5,7$ мкОм при $N = 6122$. Проведенные испытания показали, что сформированные покрытия системы Ag-ZnO удовлетворяют испытаниям пускателей на коммутационную износостойкость.

Таким образом, повышение электрического сопротивления в ходе испытаний электровзрывных покрытий системы Ag-ZnO на коммутационную износостойкость вызвано испарением легкоплавкой серебряной матрицы под воздействием электрической дуги и обогащением поверхности покрытия частицами ZnO. Электрические контакты, упрочнённые электровзрывными покрытиями системы Ag-ZnO способны к механической очистке поверхности от частиц ZnO. Сформированные покрытия системы Ag-ZnO удовлетворяют испытаниям пускателей на коммутационную износостойкость.

Сформированные покрытия системы Ag-ZnO удовлетворяют испытаниям пускателей на коммутационную износостойкость. Повышение электрического сопротивления в ходе испытаний электровзрывных покрытий системы Ag-ZnO на коммутационную износостойкость вызвано испарением легкоплавкой серебряной матрицы под воздействием электрической дуги и обогащением поверхности покрытия частицами ZnO. Электрические контакты, упрочнённые электровзрывными покрытиями системы Ag-CuO способны к механической очистке поверхности от частиц CuO.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00013).

ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

Зорин Н.С.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Кузнецова Е.В.

*Лунецкий государственный технический университет,
г.Лунецк, e-mail: eva351@yandex.ru, zorin.nikita98@mail.ru.*

В работе рассмотрены особенности структурного анализа данных с использованием кластерного анализа и когнитивной графики. Приведены примеры решения прикладной задачи показателей мотивационной сферы студентов ЛГТУ 3-4 курсов факультета автоматизации и информатики специальности "Прикладная математика". Для компьютерной обработки и анализа данных использовался прикладной пакет Statistica.

Ключевые слова: пиктографики, когнитивная графика, лица Чернова, кластерный анализ, опрос.

Одним из мощных средств разведочного анализа данных являются многомерные пиктографики. Главная идея пиктографиков состоит в представлении отдельных единиц наблюдения в виде определенных графических объектов; при этом значения переменных ставятся в соответствие определенным характеристикам или параметрам этих объектов. Таким образом, наблюдатель может идентифицировать уникальные для каждой конфигурации значений наглядные характеристики объектов. Исследование таких пиктограмм может помочь обнаружить определенные группы простых зависимостей и взаимосвязей между переменными. Лица Чернова нашли широкое применение для анализа ситуации в самых разных областях. Этот метод позволяет быстро оценивать состояние многофакторных систем, используя врожденную способность человека быстро оценивать изменения в лице человека по многим параметрам. Идея состоит в том, что человек с гораздо большей легкостью узнает различия в лицах и чертах лиц, чем в табличных данных. Эту идею математик Герман Чернов (Herman Chernoff) предложил применять, когда нужно выявить характерные зависимости или группы наблюдений, а также необходимо исследовать предположительно сложные взаимосвязи между несколькими переменными. Каждое лицо - это массив из 18 элементов, каждый из которых принимает значение от 0 до 1. Значению соответствует внешний вид соответствующей части лица. Параметры исследуемых объектов приводятся к этим значениям. Экстремумы реальных данных будут приняты как 0 и 1. Все остальное - лежащим в этом промежутке. По полученному массиву конструируется лицо.

Для представления "лиц Чернова" используются параметры, приведённые ниже:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. Размер глаза | 10. Вертикальная позиция брови |
| 2. Размер зрачка | 11. Верхняя граница волос |
| 3. Позиция зрачка | 12. Нижняя граница волос |
| 4. Наклон глаза | 13. Обвод лица |
| 5. Горизонтальная позиция глаза | 14. Темнота волос |
| 6. Вертикальная позиция глаза | 15. Наклон штриховки волос |
| 7. Изгиб брови | 16. Нос |
| 8. Плотность брови | 17. Размер рта |
| 9. Горизонтальная позиция брови | 18. Изгиб рта |

Всего для оценки было выбрано 34 дисциплины:

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Алгебра и аналит.геометрия | 18. Функц.анализ |
| 2. Мат.анализ | 19. Теорияслуч.процессов |
| 3. Алг.языки и программирование | 20. Численные методы |
| 4. Английский язык | 21. Теория ф-ции компл.переменного |
| 5. История | 22. Объектно-ориент-ное прогр-ние |
| 6. Русский язык | 23. Эконометрика |
| 7. Метрология | 24. Дифф.ур-ния с частн.произв-ми |
| 8. Компьютерная графика | 25. Архитектура ЭВМ |
| 9. Физика | 26. Интеллект.системы |
| 10. Философия | 27. Оптимизация вычислений |
| 11. Социология | 28. Мат.моделирование |
| 12. Дискретная математика | 29. Методы оптимизации |
| 13. Теория вероятностей и мат.стат. | 30. Экономико-мат.методы и модели |
| 14. Дифф.уравнения | 31. Прикладное ПО |
| 15. Экономика | 32. Мат.теория систем |
| 16. Сети ЭВМ | 33. Методы исслед-ия эк.процессов |
| 17. Базы данных | 34. Алгоритмы оптимизации |

В опросе, посвящённому учебному процессу глазами студента, приняло участие 49 студентов, из них 22 юноши и 27 девушек. Каждый участник опроса, используя 100-бальную шкалу оценил 11 параметров (таблица 1) для каждой из 34 учебных дисциплин, составляющих образовательную программу курса "Прикладная математика".

Каждой переменной из опроса была поставлен в соответствие один из параметров лиц Чернова:

лицо/ширина = O1

ухо/уровень = O2

половина лица/высота = O3

глаза/эксц. = O4

верх лица/эксц. = M1

нос/длина = M2

низ лица/эксц. = M3

глаза/длина = P1
 рот/кривизна = P2
 рот/центр = P3
 глаза/высота = P4

Таблица 1 - Результаты внутренней согласованности анкеты

Шкала	Пункты	Переменная
1. Организация учебного процесса	1.1. Достаточность часов в целом	O1
	1.2. Недостаточно теории	O2
	1.3. Недостаточно практики	O3
	1.4. недостаточно учебников и пособий	O4
2. Мастерство преподавателя	2.1. Квалификация (знание предмета)	M1
	2.2. Педагогическое мастерство	M2
	2.3. Объективность оценок	M3
3. Результаты	3.1. Субъективная оценка сложности дисциплины	P1
	3.2. Интерес к предмету	P2
	3.3. Уровень знаний студента (самооценка)	P3
	3.4. Необходимость перемен	P4

Для проверки был проведён кластерный анализ, который подтвердил визуальное разбиение дисциплин на 4 группы. В первую группу вошли предметы, которые вызывают минимальный интерес у студентов, во вторую дисциплины, связанные с программированием- их отличает от других групп недостаток теории, в третью дисциплины, которые, в целом легко даются студентам, подача материала поставлена грамотно и сбалансировано, в четвёртой, в основном, это математические дисциплины, и студенты, как раз в этой группе дисциплин, хотят видеть изменения в подаче материала и обучения.

Ниже представлены вхождения каждой из дисциплин в определённый кластер.

1-й кластер: Метрология, Физика, Философия, Социология.

2-й кластер: Алг.языки и программирование, Компьютерная графика, Сети ЭВМ, ООП, Архитектура ЭВМ.

3-й кластер: Алгебра и аналит. геометрия, Английский язык, История, Русский язык, Дискретная математика, Теория вероятностей и мат.стат., Дифф. уравнения, Экономика, Базы данных, Теория случ. процессов, Численные методы, Эконометрика, Интеллект. системы, Экономико-мат. методы и модели, Оптимизация вычислений, Прикладное ПО, Методы исследования эк.процессов, Алгоритмы оптимизации.

4-й кластер: Мат.анализ, Функциональный анализ, Теория функций комплексного переменного, Дифф. уравнения с частн. производными, Мат.моделирование, Методы оптимизации, Мат.теория систем.

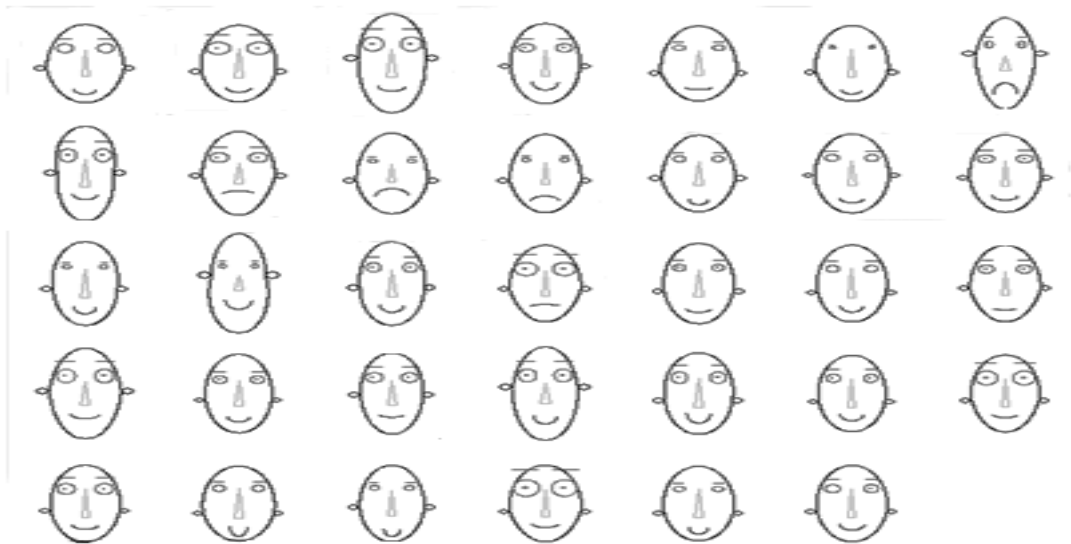


Рисунок 1 - Лица Чернова

Приведём наглядный пример визуального разбиения на кластеры. За основу возьмём кластер 1. Лица 7, 9, 10, 11 характеризуют дисциплины Метрология, Физика, Философия, Социология соответственно. Как можно увидеть из пиктографиков, эти лица выглядят "грустными". Это можно судить по искривлению линии рта. Если лицо "улыбается", то можно сделать вывод, что студентам интересен этот предмет, и, наоборот, если лицо "грустит", то студентам эта дисциплина не интересна. Также отличительной особенностью этих лиц является сравнительно небольшой размер носа, чем он длиннее, тем выше педагогическое мастерство преподавателя и наоборот. Из этих двух особенностей можно сделать вывод, что именно от мастерства преподавателя зависит, получится привить интерес к своему предмету студентам или нет.

В результате метод когнитивной графики "лица Чернова" дал очень достоверные результаты, что говорит о достаточной эффективности применения данного метода на практике.

Библиографический список

1. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика/ Под ред. Д.А. Пospelова. - М.: Наука, 1991. — 187 с.
2. Кабулов Б.Т. Метод построения лиц Чернова, ориентированный на интервальные оценки параметров // Техническая кибернетика, 1991. — 250
3. Марухина О.В., Берестнева О.Г., Шаропин К.А., Осадчая И.А. Когнитивная графика в социально-психологических исследованиях // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XVI Байкальской Всерос. конф.. Информационные и математические технологии в науке и управлении.. Часть 3. — Иркутск, 2011.— С. 176–181.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
МАРАНГОНИ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
В КОРОТКОВОЛНОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ**

Дырма А.О.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: leha515151@mail.ru*

В докладе приводится вывод и анализ дисперсионного уравнения термокапиллярной неустойчивости Марангони.

Ключевые слова: термокапиллярность, дисперсионное уравнение, инкремент.

Введение. Термокапиллярная гидродинамическая неустойчивость Марангони – вид неустойчивости, при которой коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры. Во многих работах рассматривался ее анализ при различных условиях: в тонкой пленке, с поглощением внешнего излучения, в наномасштабах [1 - 5]. Эта неустойчивость имеет большое значение для материаловедения, так как, зная механизм ее действия можно будет предсказать формирование структур в расплавах в зависимости от градиента температуры.

Однако анализ уравнения этой неустойчивости в различных случаях всегда сопровождается трудностями, так как даже в самом простом – случае полубесконечного слоя жидкости – анализируется трансцендентное многопараметрическое дисперсионное уравнение. Это обусловлено тем, что в этом и некоторых других видах неустойчивости учитывается поверхностное натяжение. Ввиду этих особенностей при анализе термокапиллярной неустойчивости для упрощения задачи вводятся ограничения параметров в дисперсионном уравнении, например деформация поверхности может учитываться не полностью.

Вывод дисперсионного уравнения. В декартовой системе координат (x, y, z) рассматривается вязкая несжимаемая теплопроводная жидкость на полубесконечной области (z<0), на свободной поверхности (z=0) которой поглощается тепло. Коэффициент поверхностного натяжения линейно зависит от температуры

$$\sigma = \sigma_0 - \sigma_T(T - T_0), \quad (1)$$

Основные линейные уравнения динамики вязкой теплопроводной жидкости

$$\operatorname{div} \bar{V} = 0, \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \Delta \bar{V}, \frac{\partial T}{\partial t} + w G_0 = \chi \Delta T \quad (2)$$

Здесь $\vec{V} = (u, v, w)$ – вектор возмущенной скорости и его компоненты на оси x, y, z ; ρ, ν, χ – плотность, кинематическая вязкость, температуропроводность расплава; p – давление в слое жидкости; T – возмущение температуры $T_0(z)$.
Граничные условия на поверхности при $z=0$:

$$\begin{aligned} -p + 2\nu\rho \frac{\partial w}{\partial z} &= \sigma \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right), \rho\nu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \\ \rho\nu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) &= \frac{\partial \sigma}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial \eta}{\partial t} = w \end{aligned} \quad (3)$$

аметим, что

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \frac{\partial \sigma}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + a \frac{\partial T_0}{\partial z} \eta_x \right), \frac{\partial \sigma}{\partial y} = \frac{\partial \sigma}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial y} + a \frac{\partial T_0}{\partial z} \eta_y \right) \quad (4)$$

Здесь параметр a введен для того, чтобы сравнить дисперсионные уравнения, полученные в [4] при $a=0$ и [5-8] при $a=1$. Если положить $\sigma_0=0$ и $a=0$, $\sigma_T \neq 0$, то получим задачу о термокапиллярной неустойчивости с недеформированной плоской границей (задача Пирсона). Поэтому мы случай $a=0$ назвали как учет деформации поверхности не в полной степени.

Граничные условия при $z \rightarrow -\infty$ примем нулевыми:

$$u = v = w = 0, T = 0.$$

Зависимость возмущений соответствующих величин от координат и времени представим в виде:

$$f(x, y, z, t) = F(z) \exp(\varphi), \varphi = \omega t - i(lx + my) \quad (5)$$

где ω – частота возмущения;

$\vec{k} = (l, m)$ – волновой вектор,

i – мнимая единица.

Введем новые переменные:

$$\omega_c^2 = \frac{\sigma_0}{\rho} k^3, \omega_T = \frac{\sigma_T G_0}{\nu \rho}, \omega_\nu = \nu k^2 \quad (6)$$

После преобразований получено дисперсионное уравнение $R_\sigma - R_T = 0$, где

$$\begin{aligned} R_T &= \omega_\nu \omega_T \left(\left(1 - \frac{z}{z_1} \right) \delta(\omega^2 + 2\omega\omega_\nu + \omega_c^2) + \left(1 - \frac{z}{z_1} \right) \right. \\ &\quad \left. (2\omega\omega_\nu z + \omega_c^2) + a\omega(\omega + 2\omega_\nu(1 - z)) \right), \\ R_\sigma &= \omega^2 ((\omega + 2\omega_\nu)^2 + \omega_c^2 - 4z\omega_\nu^2) \end{aligned} \quad (7)$$

Для металлов справедливо $\chi \gg \nu$, тогда число Прандтля $\delta \approx \frac{\nu}{\chi} = \varepsilon \ll 1$.

Кроме того, используем приближение низкочастотных колебаний или коротких волн $|\omega| \ll \chi k^2$, которые рассмотрены в [4]. Пренебрегая величинами ε^2 и используя следующие переменные

$$C^2 = \frac{\omega_c^2}{\omega_v^2}, C_1 = \frac{\omega_T(a+\varepsilon)}{2\omega_v}, C_2 = \varepsilon \frac{\omega_T\omega_c^2}{2\omega_v\omega_v^2} \quad (8)$$

преобразуем (7) к виду

$$\begin{aligned} (z+1)^2 F(z, C) - C_1(z^2 - 1) - C_2 &= 0; \\ F(z, C) &= (z^2 + 1)^2 + C^2 - 4z; \end{aligned} \quad (9)$$

В итоге приближенная формула для инкремента

$$a = -2\omega_v - \frac{\varepsilon\omega_T}{4} + \frac{\omega_T\omega_v^2(a+\varepsilon)}{2\omega_c^2} + \sqrt{\frac{2\omega_v}{\omega_c}}, \quad (10)$$

Первые два слагаемых этой формулы получены в статье [4].

Вывод. Получена приближенная зависимость инкремента от волнового числа и параметров задачи, что позволяет анализировать экспериментальные данные.

Библиографический список

1. Сарычев В.Д., Петрунин В.А., Будовских Е.А. и др. Особенности поверхностного легирования импульсными потоками плазмы электрически взрывааемых проводников // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1991. № 4. С. 64 – 67.

2. Sarychev, V.D., Nevskii, S.A., Konovalov, S.V., Komissarova, I.A., Chermushkina, E.V. Thermocapillary model of formation of surface nanostructure in metals at electron beam treatment (2015) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 91 (1), № 012028, DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012028.

3. Sarychev, V., Nevskii, S., Konovalov, S., Granovskii, A., Ivanov, Y., Gromov, V. Model of nanostructure formation in Al-Si alloy at electron beam treatment (2019) Materials Research Express, 6 (2), № 026540, DOI: 10.1088/2053-1591/aac1.

4. Урпин, В.А. Возбуждение капиллярных волн в неоднородно прогретых жидких пленках [Текст] / В.А. Урпин, Д.Г. Яковлев // Журнал технической физики. – 1989. – Т. 59. – № 2. – С. 19-25.

5. Левченко, Е.Б. Неустойчивость поверхностных волн в неоднородно нагретой жидкости [Текст] / Е.Б. Левченко, А.Л. Черняков // ЖЭТФ. – 1981. – № 54. – С. 102-106.

6. Takashima, M. Surface tension driven instability in a horizontal liquid layer with a deformable free surface. I. Stationary convection / M. Takashima // Journal of the Physical Society of Japan. – 1981. – Vol. 50. – № 8. – P. 2745-2750.

7. Рябицкий, Е.А. Термокапиллярная неустойчивость равновесия плоского слоя при наличии вертикального градиента температуры [Текст] / Е.А. Рябицкий // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 1992. – № 3. – С. 19-23.

8. Velarde, M.G. Interfacial oscillations in Benard-Marangoni layers / M.G. Velarde, P.L. Garcia-Ybarra, J.L. Castillo // Physico Chemical Hydrodynamics. – 1987. – Vol. 9. – P. 387-392.

ВЫВОД ДИСПЕРСИОННОГО УРАВНЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ КОНЕЧНЫХ СЛОЕВ

Жаворонкова Е.Ю.

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

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

Приводится вывод дисперсионного уравнения неустойчивости Кельвина – Гельмгольца вязкой жидкости для конечных слоев в трехмерной геометрии.

Ключевые слова: неустойчивость Кельвина–Гельмгольца, дисперсионное уравнение.

При внешних энергетических воздействиях экспериментально выявлены наноструктурные состояния вещества. Это состояние можно теоретически описать с единой позиции – гидродинамических неустойчивостей для сдвиговых течений в коротковолновом диапазоне длин волн. Вывод дисперсионного уравнения и его анализ для двумерной геометрии был проведен в работах [1]. Гидродинамическая неустойчивость Кельвина–Гельмгольца возникает при наличии сдвига скоростей между слоями сплошной среды. Эта неустойчивость впервые была описана еще Гельмгольцем и Кельвином в середине XIX века для идеальных жидкостей [2]. В настоящей работе дисперсионное уравнение выводится и анализируется для трехмерной геометрии.

Вывод дисперсионного уравнения неустойчивости Кельвина–Гельмгольца основан решении математической задачи о течении двух сред: первая является вязкой жидкостью с кинематической вязкостью ν и плотностью ρ_1 , вторая – идеальная, имеющая постоянную скорость $(u_0, v_0, 0)$ и плотность ρ_2 . Граница раздела задается уравнением $z = \eta(x, y, t)$ (Рис.1).

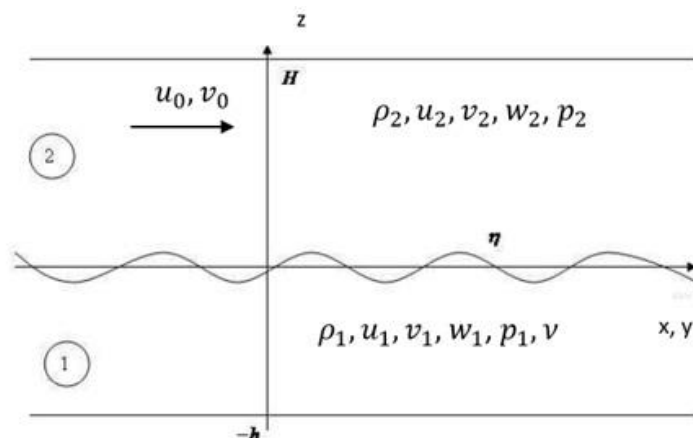


Рисунок 1 – Схема неустойчивости Кельвина – Гельмгольца

Для первой жидкости используем линейные уравнения Навье-Стокса, а для второй – уравнения Эйлера:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u_1}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} \right), \quad \frac{\partial v_1}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial z^2} \right), \\
\frac{\partial w_1}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_1}{\partial z^2} \right), \quad \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial v_1}{\partial y} + \frac{\partial w_1}{\partial z} = 0; \\
\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_0 \frac{\partial u_2}{\partial x} + v_0 \frac{\partial u_2}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial x}, \quad \frac{\partial v_2}{\partial t} + u_0 \frac{\partial v_2}{\partial x} + v_0 \frac{\partial v_2}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial y}, \\
\frac{\partial w_2}{\partial t} + u_0 \frac{\partial w_2}{\partial x} + v_0 \frac{\partial w_2}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial z}, \quad \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} + \frac{\partial w_2}{\partial z} = 0.
\end{aligned} \tag{1}$$

На внешних границах слоев используем условия не протекания, а для первой жидкости еще условие прилипания:

$$z = -h : u_1 = 0, v_1 = 0, w_1 = 0; z = H : w_2 = 0; \tag{2}$$

На контактной границе ($z=0$) используем два кинематических условия и три динамических условия. Тангенциальные напряжения равны нулю, а скачок нормальных напряжений равен напряжению, обусловленному поверхностным натяжением (σ_0).

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \eta}{\partial t} = w_1, \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} + u_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_0 \frac{\partial \eta}{\partial y} &= w_2, \\
\frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial w_1}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial v_1}{\partial z} + \frac{\partial w_1}{\partial y} = 0, \quad -p_1 + 2\rho_1 \nu_1 \frac{\partial w_1}{\partial y} + p_2 &= \sigma_0 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}.
\end{aligned} \tag{3}$$

Решение (1 – 3) ищется в виде

$$(u_n, v_n, w_n, p_n, \eta) = (U_n(z), V_n(z), W_n(z), P_n(z), \eta_0) \exp(\omega t - i(mx + ly)) \tag{4}$$

Здесь (m, l) – компоненты волнового вектора, ω – частота. Заглавными буквами обозначены амплитудные значения соответствующих величин, $n=1$ относится к вязкой жидкости, а $n=2$ – к идеальной. Величина η_0 обозначает амплитуду начального отклонения поверхности раздела, которая в линейном анализе относится к произвольным постоянным. Подстановка (4) в (1 – 3) приводит к краевой задаче для $W_1(z)$ и $W_2(z)$:

$$\begin{aligned}
W_1^{IV}(z) - (k^2 + k_1^2)W_1''(z) + k^2 k_1^2 W_1(z) &= 0, \quad W_2''(z) + k^2 W_2(z) = 0; \\
W_1(-h) = 0, W_1'(-h) = 0, W_2(H) = 0; W_1(0)\Omega &= W_2(0)\omega; W_1''(0) + k^2 W_1(0) = 0, \\
W_1''(0) - (k_1^2 + 2k^2)W_1'(0) + \rho_2 / \rho_1 \Omega W_2(0) / \nu &- k\omega_c^2 W_1(0) / \omega \nu = 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

где

$$k^2 = m^2 + l^2, k_1^2 = k^2 + \omega / \nu, \Omega = \omega - i(u_0 m + v_0 l), \omega_c^2 = \sigma k^3 / \rho_1. \tag{6}$$

Важную роль играет представление решения (5) в виде

$$\begin{aligned} W_1(z) &= A_1(\operatorname{sh} kz + b_{11}\operatorname{sh} k_1 z + b_{21}\operatorname{ch} k_1 z) + A_2(\operatorname{ch} kz + b_{12}\operatorname{sh} k_1 z + b_{22}\operatorname{ch} k_1 z); \\ W_2(z) &= B\operatorname{sh} k(h-z). \end{aligned} \quad (7)$$

Где A_1, A_2, B – произвольные постоянные, а коэффициенты b_{ij} определяются по формулам

$$\begin{aligned} b_{11} &= (\operatorname{sh}(k_1 h)\operatorname{sh}(kh) - k\operatorname{ch}(k_1 h)\operatorname{ch}(kh)) / k_1, \\ b_{12} &= (k\operatorname{ch}(k_1 h)\operatorname{sh}(kh) / k_1 - \operatorname{sh}(k_1 h)\operatorname{ch}(kh)), \\ b_{21} &= (\operatorname{ch}(k_1 h)\operatorname{sh}(kh) - k\operatorname{sh}(k_1 h)\operatorname{ch}(kh)) / k_1, \\ b_{22} &= (k\operatorname{sh}(k_1 h)\operatorname{sh}(kh) / k_1 - \operatorname{ch}(k_1 h)\operatorname{ch}(kh)) \end{aligned} \quad (8)$$

Решение краевой задачи (5) приводит к дисперсионному уравнению. В силу его громоздкости здесь не приводим. Отличие от двумерного случая, выписанного в [3], заключается в определении волнового числа как модуля волнового вектора и скорости скольжения. Если определить скорость скольжения $U_0 = (u_0 m + v_0 l) / k$, то совпадение будет полным.

Вывод. Выведено дисперсионное уравнение неустойчивости Кельвина – Гельмгольца для двух конечных слоев, один из которых вязкий, для трехмерного случая. Показано, что отличие трехмерной геометрии от двумерной не является принципиальным. Поэтому можно использовать подход, развитый в [1] для двумерной геометрии, для анализа формирования наноструктур в трехмерном случае.

Библиографический список

1. Математические модели и механизмы формирования градиентных структур в материалах при внешних энергетических воздействиях: монография / В.Д. Сарычев, С.А. Невский, А.Ю. Грановский, В.Е. Громов ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 320 с.

2. Электронный ресурс.: Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/2851.

3. Лесников В.П. О неустойчивости стратифицированной жидкости, обусловленной капиллярно-гравитационной волной с отрицательной энергией // Известия АН СССР. Механика жидкости и газа, 1985, № 1, с. 94 – 97.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

Дьяченко А.Е., Гагарин А.Ю.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Cezario88@mail.ru*

Приводится аналогия между электропластическим эффектом и локальным повышением температуры при тепловом взрыве. Первым этапом для доказательства этой связи, является рассмотрение тепловой задачи с тепловым источником для двухкомпонентной среды.

Ключевые слова: пластическая деформация, электропластичность, теплопроводность, тепловой взрыв, атермический механизм, двухфазная среда.

Разработки эффективных способов внешнего токового воздействия на пластичность материалов и создание на этой базе высокопроизводительных технологических процессов обработки представляет собой важную и актуальную проблему, решение которой, в значительной степени связано с пониманием физической природы электростимулированного деформирования. Открытый 50 лет назад электропластический эффект [Ошибка! Источник ссылки не найден.] продолжает активно исследоваться в нашем коллективе [2–4]. Существующие направления по формированию механизма электростимулированного деформирования делятся на два класса: термическое и атермическое. Деформации, возникающие от неравномерного нагревания и охлаждения изделия, называются тепловыми или термическими. Атермический механизм наблюдается в сталях и происходит без инкубационного периода практически мгновенно, распространяясь на широкую область температур. Направление по доказательству теплового влияния электрического тока в эффекте электропластичности подтверждается многими исследователями [5].

Прослеживается аналогия между электропластическим эффектом и локальным повышением температуры при тепловом взрыве [6]. Это связано с тем, что характер тепловыделения при протекании тока через плохо проводящую среду и тепловыделение при химических реакциях совпадают. Источник тепла зависит от температуры по закону Аррениуса. В [6] сформулирован приближенный аналитический критерий зажигания или в нашем случае возникновения электропластического эффекта. Перспективным было бы использовать полученные в теории теплового взрыва закономерностей для описания процессов при электростимулированной пластичности.

Первым этапом для доказательства этой аналогии является рассмотре-

ние тепловой задачи с тепловым источником для двухкомпонентной среды (граница зерна – зерно).

Двухкомпонентная среда задается следующим образом:

$$\begin{aligned}c_p P &= c_{p1} P_1 \Omega_1 + c_{p2} P_2 \Omega_2; \\ \lambda &= \lambda_1 \Omega_1 + \lambda_2 \Omega_2; \\ \rho_e &= \rho_{e1} \Omega_1 + \rho_{e2} \Omega_2;\end{aligned}\tag{1}$$

где

$$\Omega_1 = \begin{cases} 1, \vec{r} \in I \\ 0, \vec{r} \notin I \end{cases}, \quad \Omega_2 = \begin{cases} 1, \vec{r} \in II \\ 0, \vec{r} \notin II \end{cases};\tag{2}$$

Индексы 1 и 2 относятся соответственно к телу зерна и границе зерна, где \vec{r} – радиус вектор.

Начальные условия задавались следующим образом: температура в момент начала нагрева в теле и границах зерна считалась одинаковой.

Её значение составляет 300 К. Напряжение, подаваемое от генератора импульсов, имеет вид затухающей синусоиды:

$$U = U_m \exp(-\beta t) \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right);\tag{3}$$

где U_m – амплитуда напряжений,

β – коэффициент затухания,

T – период колебаний.

Значения U_m , β и T определялись из осциллограммы.

На границе раздела сред задавались условия непрерывности электрического тока и температуры. В процессе расчёта учитывалась зависимость удельного сопротивления стали от температуры по закону:

$$\rho_e = \rho_{e0}(1 + \alpha T);\tag{4}$$

где ρ_{e0} – удельное сопротивление при 300 К,

α – температурный коэффициент сопротивления.

На рисунке 1 представлены зависимость температуры от координаты, показывающая, что температура границ зёрен в 1,5 – 2 раза превышает температуру самого зерна, при условии идентичности их теплофизических параметров, исключая удельное сопротивление.

Получая при первом воздействии структуру металла с продольно ориентированными, по направлению вектора тока, крупными зёрнами, тем самым вызывая в проводнике изменение свойств после снятия воздействия и перехода в статичную фазу. К некоторым изменениям качеств материала можно отнести и те, которые тесно связаны с размерами и ориентацией зерна (проводимость, продольные и поперечные механические характеристики).

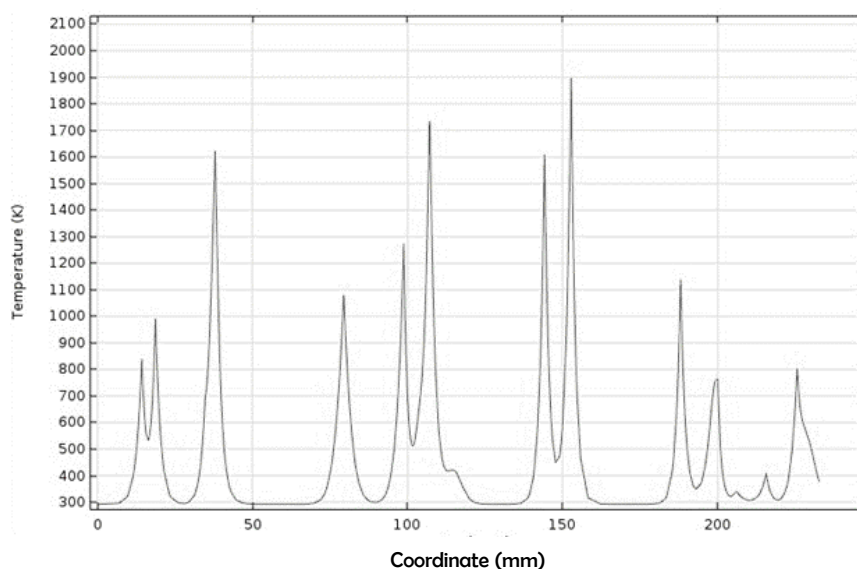


Рисунок 1 – Расчетная зависимость температуры от координаты

Из приведенных расчетов следует, что локальное значительное повышение температуры, обусловлено использованием различных значений сопротивлений в зернах и материале границ зерен.

Библиографический список

1. Conrad, H., Karam, N., Mannan, S. Effect of prior cold work on the influence of electric current pulses on the recrystallization of copper // *Scripta Materialia*, 1984, vol. 18, pp. 275–280.

2. Громов В.Е., Зуев Л.Б., Козлов Е.В., Целлермаер В.Я. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов. – М.: Недра, 1996. – 290с.

3. Кузнецов В.А., Громов В.Е., Кузнецова Е.С., Гагарин А.Ю., Косинов Д.А. Аппаратурное обеспечение электростимулированной обработки металлов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 2. С. 157-163.

4. Гагарин А. Ю., Сарычев В. Д., Невский С. А., Потекаев А. И. Влияние импульсного электрического тока на характер движения автоволин пластической деформации при растяжении стальной пластины // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2019. Т. 62. № 2. С. 148-153.

5. Ruszkiewicz B.J., Grimm T., Ragai I., Mears L., Roth J.T. A review of electrically-assisted manufacturing with emphasis on modeling and understanding of the electroplastic effect // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2017, vol.139, no.11, pp. 110801 (1-15).

6. Merzhanov A.G., Averson A.E. The Present State of the Thermal Ignition Theory. An Invited Review // *Comb. and Flame*, 1971, Yo1.16, No. 1, pp. 89-124.

СРАВНЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕМНО И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ

Досымбетова А.А., Плегунова С.В.

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

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

В данной статье представлены результаты исследования структуры объемно закаленных рельсов марки Р65 и дифференцированно закаленных – ДТ350. Описаны имеющиеся дефекты кристаллических решеток: дислокационные субструктуры и изгибные контуры экстинкции. Приведены оценки величины кривизны-кручения кристаллической решетки.

Ключевые слова: объемная закалка, дифференцированная закалка, структура, дислокации, изгибный контур экстинкции.

В последнее время наблюдается увеличение интенсивности движения железнодорожного транспорта и его грузонапряженности, что требует высокой стойкости рельсов. Современные технологии предполагают два вида обработки рельсов объемная закалка в масле 25 м рельсов и дифференцированная закалка сжатым воздухом 100 м рельсов. Наиболее предпочтительным является второй вид термообработки, который развивается в России с 2013 года.

Цель работы: произвести анализ структуры и дефектной субструктуры объемно и дифференцированно закалённых рельсов до эксплуатации на железной дороге.

Методами современного физического материаловедения были исследованы объемно закалённые рельсы марки Р65 и дифференцированно закалённые – ДТ350 производства АО "Евраз ЗСМК".

Твердость металла объемно закаленных рельсов определялась по сечению головки в поперечном направлении методом Роквелла на расстоянии 23 мм от поверхности катания. Среднее значение твердости составляет 34,0 НРС. Установлено, что величина действительного зерна металла всех проб находится на одном уровне и оценивается в соответствии с ГОСТ 5639-82 преимущественно (9-10) номером. Микроструктура металла травленных шлифов представляет сорбит закалки с обрывками ферритной сетки

Основным типом структуры объемно закаленной стали являются зерна перлита, относительное содержание которых в материале $\approx 0,7$; относительное содержание зерен феррито-карбидной смеси $\approx 0,15$; остальное – зерна структурно свободного феррита. Области феррито-карбидной смеси выявляются преимущественно в стыках колоний пластинчатого перлита. Зерна структурно-свободного феррита располагаются в виде протяженных прослоек вдоль границ зерен перлита.

Благодаря анализу структуры стали методом тонких фольг было обнаружено присутствие изгибных контуров экстинкции, что очевидно указывает на кривизну-кручение кристаллической решетки материала, обусловленную наличием внутренних полей напряжения.

Наибольшая величина кривизны-кручения кристаллической решетки фиксируется в зернах структурно свободного феррита, т.е. наименее прочной составляющей металла рельсов; наименьшая – в зернах пластинчатого перлита ($\chi = 152$ и 78 см^{-1} соответственно). Таким образом, металл объемно закаленной рельсовой стали до эксплуатации является многофазным, морфологически сложным, разнопрочным материалом, структура которого сформирована зернами пластинчатого перлита, зернами феррито-карбидной смеси и зернами структурно-свободного феррита [1, с. 59-66].

Исследования микроструктуры дифференцированно закаленной стали до эксплуатации показывают, что поверхностный слой представляет собой мелкодисперсный перлит, по границам зерен которого расположен структурно-свободный феррит. Феррит вблизи поверхности (до ~ 150 мкм) выявляется в виде сетки, на удалении от поверхности (до ~ 300 мкм) в виде отдельных разрозненных вкраплений. С увеличением расстояния от поверхности охлаждения относительное содержание феррита снижается.

Структура дифференцированно закаленных рельсов независимо от расстояния исследуемого слоя до поверхности катания представляет собой зерна пластинчатого перлита, зерна структурно-свободного феррита и зерна феррито-карбидной смеси.

В ферритной составляющей структуры дифференцированно закаленной стали выявлена дислокационная субструктура в виде хаотически распределенных дислокаций, сетчатая, ячеистая и фрагментированная. Ячеистая и фрагментированная дислокационная субструктуры наблюдаются только в зернах структурно-свободного феррита и в зернах феррито-карбидной смеси. В структуре стали были выявлены изгибные контуры экстинкции. Источниками внутренних полей напряжений являются границы раздела зерен перлита и зерен феррита. Средняя ширина изгибных контуров экстинкции, выявляемых в зернах перлита и зернах структурно свободного феррита, 120 нм и 80 нм, соответственно; в зернах феррито-карбидной смеси, 75 нм. Минимальная ширина изгибных контуров экстинкции выявляется вблизи частиц карбидной фазы, присутствующих в зернах феррито-карбидной смеси, и составляет 40...50 нм [2, с. 62-78].

Библиографический список

1. Перегудов О.А. Изменение тонкой структуры и свойств рельсов при длительной эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.07 : защищена 16.05.2017 : утв. 19.05.2017 / Перегудов Олег Александрович. – Новокузнецк, 2017. – 199 с. – Библиогр.: с. 170-195.

2. Юрьев, А. А. Эволюция структуры и свойств дифференцированно закаленных рельсов в процессе длительной эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.07 : защищена 25.09.2018 : утв. 25.09.2018 / Юрьев Антон Алексеевич. – Новокузнецк, 2018. – 183 с. – Библиогр.: с. 158-183.

УДК 620.170:621.791:927

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРСОДЕРЖАЩЕГО СЛОЯ, НАПЛАВЛЕННОГО НА СТАЛИ HARDOX-450

Рубанникова Ю.А., Досымбетова А.А., Плегунова С.В.

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

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

Методами современного физического материаловедения выполнен анализ структурно-фазовых состояний и свойств слоев, сформированных на низкоуглеродистой стали Hardox 450 наплавочными проволоками с содержанием бора 4,5 и 6,5 вес. %. Наплавленный на сталь Hardox 450 слой имеет микротвердость более чем в 2 раза превышающий микротвердость основы.

Ключевые слова: наплавка, борсодержащая проволока, структура, микротвердость, сталь Hardox 450.

Введение

В большинстве случаев именно состояние и свойства поверхностного слоя материала и изделий определяют их эксплуатационные характеристики. Поэтому формирование многофазных градиентных субмикро- и нанокристаллических слоев и нанесение защитных, упрочняющих и износостойких покрытий на инструмент, детали, узлы и агрегаты технологического оборудования, а также изделия инструментальной, металло- и деревообрабатывающей промышленности является эффективным способом повышения их физико-механических характеристик, работоспособности и срока службы [1].

Целью настоящей работы является анализ структуры и механических свойств слоя, наплавленного электроконтактным методом на сталь Hardox 450 борсодержащей проволокой.

Материал и методики исследований

Используемая в качестве материала основы 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), характеризуется низким содержанием легирующих элементов, вследствие чего она хорошо сваривается и обрабатывается. Наплавку осуществляли порошковой проволокой, элементный состав которой приведен в таблице 1. Наплавку проводили в среде защитного газа состава 98 % Ar, 2 %

СО₂ при сварочном токе 250–300 А и напряжении на дуге 30–35 В.

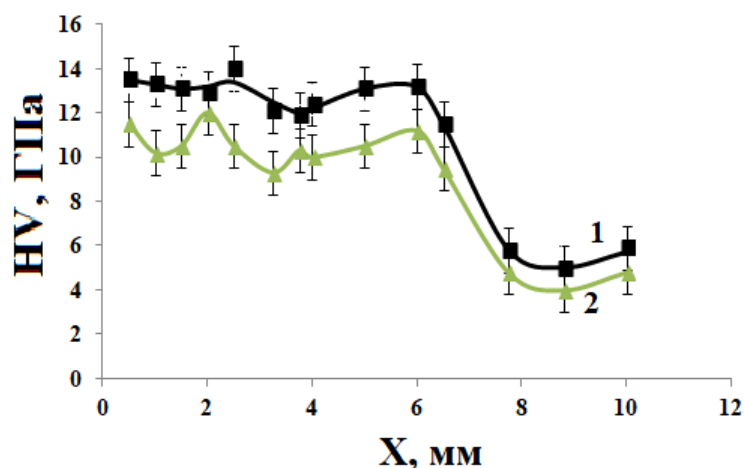
Таблица 1 – Химический состав порошковых проволок (масс. %, остальное Fe)

Обозначение проволоки	C	Mn	Si	Ni	B
Fe-C-Ni-B	0,7	2,0	1,0	2,0	4,5
Fe-C-Ni-B	0,7	2,0	1,0	2,0	6,5

Исследования фазового состава и дефектной субструктуры стали и наплавленного металла осуществляли методами просвечивающей дифракционной электронной микроскопии (метод тонких фольг) [4-6]. Механические свойства наплавленного металла и стали характеризовали величиной микротвердости (метод Виккерса, нагрузка на индентор 5 Н).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования микротвердости (поперечный шлиф, профиль микротвердости) представлены на рис. 1. Отчетливо видно, что наплавленный слой характеризуется высоким уровнем микротвердости, превышающей микротвердость основы стали более чем в два раза. Повышение концентрации бора в наплавочной проволоке приводит к значимому (в 1,2-1,5 раз) увеличению твердости модифицированного слоя.



- 1 –наплавленный слой (содержание В – 6,5 %);
- 2 – наплавленный слой (содержание В – 4,5 %)

Рисунок 1 – Профиль микротвердости системы «наплавленный слой / сталь»

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг, установлено, что сталь Hardox 450 имеет структуру отпущенного мартенсита [2, 3]. Мартенсит по морфологическому признаку относится к пакетному мартенситу [4, 5]. В объеме кристаллов мартенсита и по их границам располагаются частицы цементита (карбид железа). Частицы, расположенные в объеме, имеют игольчатую форму и ориентированы в двух-трех направлениях. Частицы, расположенные по границам кристаллов мартенсита, имеют преимущественно округлую форму.

Кристаллизация наплавленного слоя сопровождается, не зависимо от концентрации атомов бора формированием структуры преимущественно пластинчатого типа. Повышение концентрации атомов бора в наплавленном слое от 4,5 вес. % до 6,5 вес. % сопровождается увеличением размеров областей бориды железа в 1.5-2 раза. Второй (по занимаемому объему) структурной составляющей наплавленного слоя является α -фаза (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки железа), расположенная в виде прослоек, разделяющих кристаллиты бориды железа.

Заключение

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выявлено формирование в наплавленном слое многофазной поликристаллической структуры эвтектического типа, основными фазами которой являются бориды железа и α -фаза. Показано, что наплавленный на сталь Hardox 450 слой характеризуется высоким уровнем микротвердости, превышающей микротвердость основы более чем в два раза. Установлено, что увеличение концентрации бора в наплавочной проволоке (в пределах от 4,5 вес. % до 6,5 вес. %) сопровождается значимым (в 1,2-1,5 раз) повышением твердости наплавленного слоя. Одной из причин этому является увеличение размеров (и, соответственно, относительного содержания) областей бориды железа в 1.5-2 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ Кемеровской области в рамках научного проекта № 18-48-420001 p_a.

Библиографический список

1. Gromov V.E., Kapralov E.V., Raikov S.V., et. al. Structure and properties of the wear-resistant coatings fused on steel with flux cored wires by an electric arc method // Progress in Physics of Metals. – 2014. – Vol. 15. – No. 4. – Pp. 213—234.
2. Счастливец В.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л. Структура термически обработанной стали. – М.: Металлургия, 1994. –288 с.
3. Бернштейн М.Л., Капуткина Л.М., Прокошкин С.Д. Отпуск стали. – М.: МИСИС, 1997. –336 с.
4. Курдюмов В.Г., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. – М.: Наука, - 1977. – 236 с.
5. Иванов Ю.Ф., Козлов Э.В. Электронно-микроскопический анализ мартенситной фазы стали 38ХНЗМФА// Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1991.- №8.- С.38-41.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТИПОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО МАТЕМАТИКЕ

Бабушкина О.С.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Лактионов С.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: babushkina.olga51999@gmail.com*

В работе рассмотрена задача генерирования типовых заданий по математике в программной среде для их использования на практических занятиях по математике, при составлении экзаменационных билетов, для создания тестов в системах дистанционного образования. Материал построен на основе исследования входящих в условие задач переменных, функций и анализа методов решения задач.

Ключевые слова: типовые математические задачи, варьируемые переменные, вычисляемые переменные, генерирование параметров.

Математика играет важную роль в естественнонаучных, инженерно-технических и гуманитарных исследованиях. Изучение математики не столько самоцель, сколько средство развития мышления, путь к осознанию окружающей действительности, тропинка к пониманию мира [1].

При изучении дисциплины «Математика» в вузе обучающиеся под руководством преподавателя и самостоятельно осваивают приёмы и методы решения типовых математических задач, моделирующих реальные процессы и явления. В связи с этим возникает потребность иметь инструмент в виде программного приложения для создания необходимого количества типовых математических задач по каждому разделу данной дисциплины.

Целью исследования в данной статье является создание программного продукта, который бы позволял выводить формулировку условий типовых математических задач в автоматическом режиме. Технология решения поставленной задачи будет состоять в реализации программирования изменяющихся параметров типовых математических задач и визуализации результатов в соответствующих программах. Преимущества вышеуказанной идеи заключаются в непосредственной адаптации применения алгоритма в работе преподавателями математики.

Сформулируем главные задачи, поставленные в работе:

- 1) Подобрать типовые задания, используя учебные пособия по математике и электронно-образовательные ресурсы.
- 2) Для каждой типовой задачи исследовать входящие в условие задачи переменные, функции, разделить их на фиксированные, варьируемые и вычисляемые.
- 3) Определить промежутки или множества изменения варьируемых

переменных, записать вычисляемые переменные через варьируемые и фиксированные.

4) Проанализировать методы решения типовых задач и записать ответы в зависящем от варьируемых переменных виде.

5) Реализовать алгоритмы генерирования типовых заданий в программной среде в виде исполняемых файлов. Проверить правильность работы этих файлов.

6) Сформировать внешнюю оболочку программы для работы с исполняемыми файлами и подготовить инструкцию по использованию этой программы при генерировании типовых заданий.

В работе рассматривается генерирование типовых заданий для двух разделов дисциплины «Математика»: 1) векторная и линейная алгебра и 2) аналитическая геометрия.

В качестве примеров приведем генерирование двух типовых задач.

Задача 1. Решить систему уравнений

$$\begin{cases} a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z = b_1, \\ a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z = b_2, \\ a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z = b_3. \end{cases}$$

В данном задании изменяемыми переменными удобно считать коэффициенты системы и сами искомые переменные x, y, z , тогда правые части системы будут вычисляться через них. Кроме того, чтобы система имела единственное решение нужно, чтобы определитель системы не был равен 0. Этого можно добиться, устанавливая некоторые связи между коэффициентами системы, или задавая такие области изменения этих коэффициентов, чтобы условие отличия определителя системы от нуля автоматически выполнялось. В качестве ответа можно взять какое-либо вычисляемое выражение от найденного решения (таблица 1).

Таблица 1 – Разделение переменных в задаче 1

Варьируемые переменные	Вычисляемые переменные	Множество генерации. Область изменения	Ограничения по условию задания
$a_{11}, a_{12}, a_{13},$ $a_{21}, a_{22}, a_{23},$ a_{31}, a_{32}, a_{33} x, y, z	$b_1 = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z,$ $b_2 = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z,$ $b_3 = a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z$	Целые числа Отрезок $[-5;5]$	Определитель системы уравнений не равен нулю

На основе условий примера создадим *шаблон расчета генерирования этого задания в программной среде Scientific WorkPlace* согласно принципу генерирующей последовательности команд [2].

Exam

Setup

Choice Space: 2

Choices: No Break, Radio buttons, No Permute

Question

Setup

$$a_{11} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{12} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{13} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{21} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{22} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{23} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{31} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{32} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$a_{33} := \text{rand}(-5, 5)$$

$$u := \text{rand}(-5, 5)$$

$$v := \text{rand}(-5, 5)$$

$$w := \text{rand}(-5, 5)$$

$$A := \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

Conditions:

$$A \neq 0$$

Statement

Решить систему уравнений.

$$\begin{cases} a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z = a_{11}u + a_{12}v + a_{13}w \\ a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z = a_{21}u + a_{22}v + a_{23}w \\ a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z = a_{31}u + a_{32}v + a_{33}w \end{cases}$$

В ответе записать сумму найденных значений переменных решения системы.

Choices

- $u + v + w$ correctchoice .

Задача 2. Найти расстояние точки $M_0(x_0, y_0)$ до прямой, проходящей через две заданные точки $M_1(x_1, y_1)$ и $M_2(x_2, y_2)$. В ответе записать найденное значение расстояния, умноженное на 5.

Уравнение прямой, проходящей через точки $M_1(x_1, y_1)$ и $M_2(x_2, y_2)$ можно записать в виде

$$(y_2 - y_1)x - (x_2 - x_1)y - (y_2 - y_1)x_1 + (x_2 - x_1)y_1 = 0.$$

Тогда расстояние от точки $M_0(x_0, y_0)$ до этой прямой найдется по формуле

$$\frac{|(y_2 - y_1)x_0 - (x_2 - x_1)y_0 - (y_2 - y_1)x_1 + (x_2 - x_1)y_1|}{\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}}$$

Варьируемые и вычисляемые параметры выберем так, чтобы в знаменателе формулы расстояния получилось число 5 (таблица 2).

Таблица 2 – Разделение переменных в задаче 2

Варьируемые параметры	Вычисляемые параметры	Множества генерации	Ограничения на параметры
x_0, y_0, x_1, y_1, k, m	$x_2 = x_1 + 3k,$ $y_2 = y_1 + 4m$	x_0, y_0, x_1, y_1 - целые числа и отрезка $[-5; 5]$. k, m равны ± 1 .	$a_1 \cdot a_2 + b_1 \cdot b_2 \neq 0$

Соответствующая генерирующая последовательность команд в программе Scientific WorkPlace выглядит так

Exam

Setup

Choice Space: 2

Choices: No Break, Radio buttons, No Permute

Question

Setup

$x_1 := \text{rand}(-3, 3)$

$y_1 := \text{rand}(-3, 3)$

$z_1 := \text{rand}(-3, 3)$

$n_1 := \text{rand}(-3, 3)$

$p_1 := \text{rand}(-3, 3)$

$m_2 := \text{rand}(-3, 3)$

$p_2 := \text{rand}(-3, 3)$

Statement

Составить уравнение плоскости, проходящей через три точки $M_1(x_1, y_1, z_1)$, $M_2(1 + x_1, n_1 + y_1, p_1 + z_1)$, $M_3(m_2 + x_1, 1 + m_2 n_1 + y_1, p_2 + z_1)$.

Определить координату пересечения этой плоскости с осью Oz .

Choices

$z_1 - p_2 y_1 + m_2 p_1 y_1 + n_1 p_2 x_1 + m_2 n_1 p_1 x_1$ correctchoice .

Если объединить генерирующие последовательности для нескольких различных типовых заданий, то можно получить полный набор заданий по той или иной теме. При этом и формирование заданий, и получение результатов выполнения заданий будет полностью автоматизировано.

После проверки исполняемых файлов, созданных в пакете Scientific WorkPlace, была сформирована внешняя оболочка программы для работы с этими файлами. Данная программа получила название «Genermath» (рис.1). Она содержит инструмент генерирования заданий по разделам «Линейная и векторная алгебра» и «Аналитическая геометрия» дисциплины «Математика» и может быть использована:

- для составления заданий на практических занятиях в аудитории;
- для составления индивидуальных заданий для самостоятельной работы;
- для составления тестовых заданий в СУО «Moodle»;
- для составления заданий в экзаменационных билетах.



Рисунок 1 – Внешняя оболочка программы «Genermath»

В работе решена задача генерирования типовых математических заданий на основе варьируемых параметров. Результатом исследования

является программный продукт «Genermath», реализующий генерацию типовых заданий по дисциплине «Математика» в среде Scientific WorkPlace.

Библиографический список

1. Роль математики в современном мире : 2016. URL: <https://multiurok.ru/blog/rol-matematiki-v-sovremennom-mirie-1.html> (Дата обращения: 20.02.2019).
2. MacKichan Software products : 2017. URL: <https://www.mackichan.com/index.html> (Дата обращения: 25.02.2019).

УДК 53.06

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МЕТАЛЛА МЕДИЦИНСКИХ ИГЛ НА ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Варфоломеев В.Ю.

Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Рогачев Е.А.

*Омский государственный технический университет,
г. Омск, e-mail: vadim.98@mail.ru*

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния состава медицинских игл различных производителей на их функциональные возможности, сопоставлены полученные результаты с требованиями ГОСТ.

Ключевые слова: электронная микроскопия, медицинские иглы, функциональные возможности.

Экспериментальное исследование проведено на основании технического задания Университетской ветеринарной клиники ФГБОУ ВО Омского ГАУ. Основной целью было выявить взаимосвязь состава материала медицинских игл нескольких производителей и их функциональных возможностей [1]. Данные иглы были протестированы в ветеринарной клинике и показали разное качество в практическом применении.

В эксперименте исследовались иглы следующих фирм-производителей. Первый образец – иглы шприца B.Braun Injekt (Германия). Фирма является одним из ведущих производителей медицинского оборудования. Производит более 5000 видов различной продукции. Шприц имеет съемную иглу 22G (0,7×30). Тип крепления Luer Slip.

Второй образец – игла шприца, произведённого Sterin Medical Group. Компания является конверсионным предприятием российского военно-промышленного комплекса, поэтому сохранила высокие требования к качеству продукции. Производимые им иглы имеют лазерную трёхгранную заточку и обработаны внешним и внутренним слоем силикона для безболез-

ненного прокалывания кожи и подлежащих тканей.

Третий образец – иглы шприца фирмы «Инекта». Производство осуществляется в России, Китае, Тайланде, Малайзии, Индии. Иглы производятся в Японии, сделаны из высококачественной стали, имеют тройную лазерную заточку острия, надеты на конус.

Изучение состава металла медицинских игл и степени шероховатости поверхности проводилось с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JCM-5700 с энергодисперсионным анализатором JED-2300. Разрешение микроскопа составляет 5 нм и позволяет изучить образцы в диапазоне 30х до 300000х кратного увеличения, что отвечает целям данного исследования.

Кроме того, ГОСТ Р ИСО 9626-2013 предъявляет требования к самой трубке игольной из нержавеющей стали для изготовления медицинских игл. Данный ГОСТ идентичен международному стандарту ИСО 9626:1991 «Трубки игольные из нержавеющей стали для изготовления медицинских игл» (ISO 9626:1991 «Stainless steel needle tubing for manufacture of medical devices»), включая дополнение 9626:1991/Adm 1.2001 [4]. В данной работе это имеет принципиальное значение, т.к. целью работы является сопоставление состава медицинских игл российских и зарубежных производителей.

Данный стандарт распространяется на жёсткие игольные трубки из нержавеющей стали, подходящие для использования в качестве гиподермических игл. Трубки должны быть изготовлены из аустенитной нержавеющей стали. Внешняя поверхность при обследовании дополнительной оптикой должна быть гладкой и не иметь дефектов, не должна содержать металлической пыли и следов обрабатывающих агентов. Трубка не должна показывать отклонение более указанного референсного значения, указанного в ГОСТ. В ней должно быть достаточное сопротивление излому. При воздействии с агрессивными растворами она не должна подвергаться коррозии.

Задачами данного исследования были:

1. Изучение химического состава металлической трубки медицинских игл.
2. Выявление взаимосвязей между исследованными нами показателями и функциональными возможностями медицинских игл различных производителей.

В процессе эксперимента был исследован состав сплава металлической трубки, из которой изготовлены иглы.

В первом образце выявлено, что подавляющее большинство в металле игольной трубке представлено Fe (40,58 %) и Si (32,68%) (рисунок 1).

Состав имеет много примесей, что способствует усложнению технологического процесса – закалки металла [2]. Согласно данным клинических испытаний, иглы имеют чрезвычайно мягкий металл, который сильно деформируется во время инъекции.

Во втором образце – игле Sterin Medical Group получено распределение химических элементов, представленное на рисунке 2. В составе металла преобладает Fe (68,40 %), причем его удельный вес значительно больше по

сравнению с первым образцом, что способствует уменьшению стоимости конечного продукта. Значительно меньшую долю занимает Cr 18,87 %, а остальные – Si, Ni и другие представлены в меньшей мере. Иглы этого производителя имеют в основном положительные отзывы во время клинических испытаний – они достаточно прочные, устойчивы к изгибам и изломам.

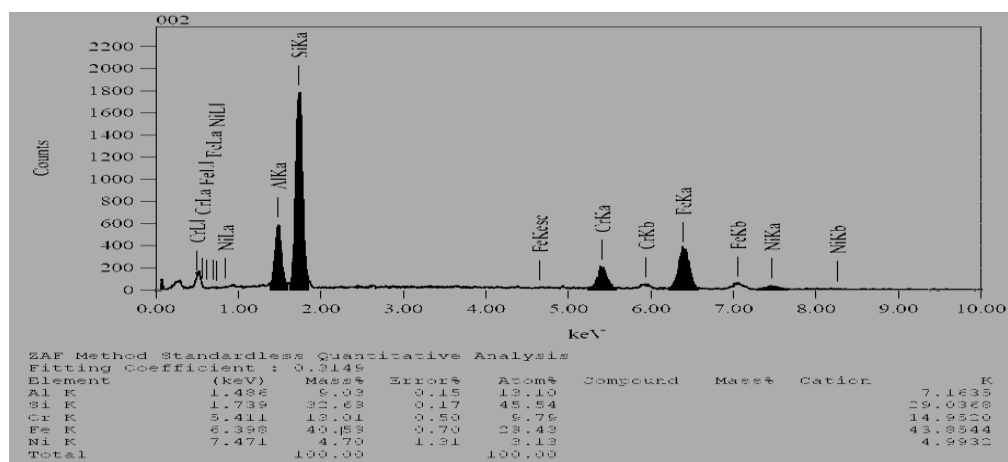


Рисунок 1 - Рентгеновская спектрограмма и таблица химического состава иглы В. Braun Injekt

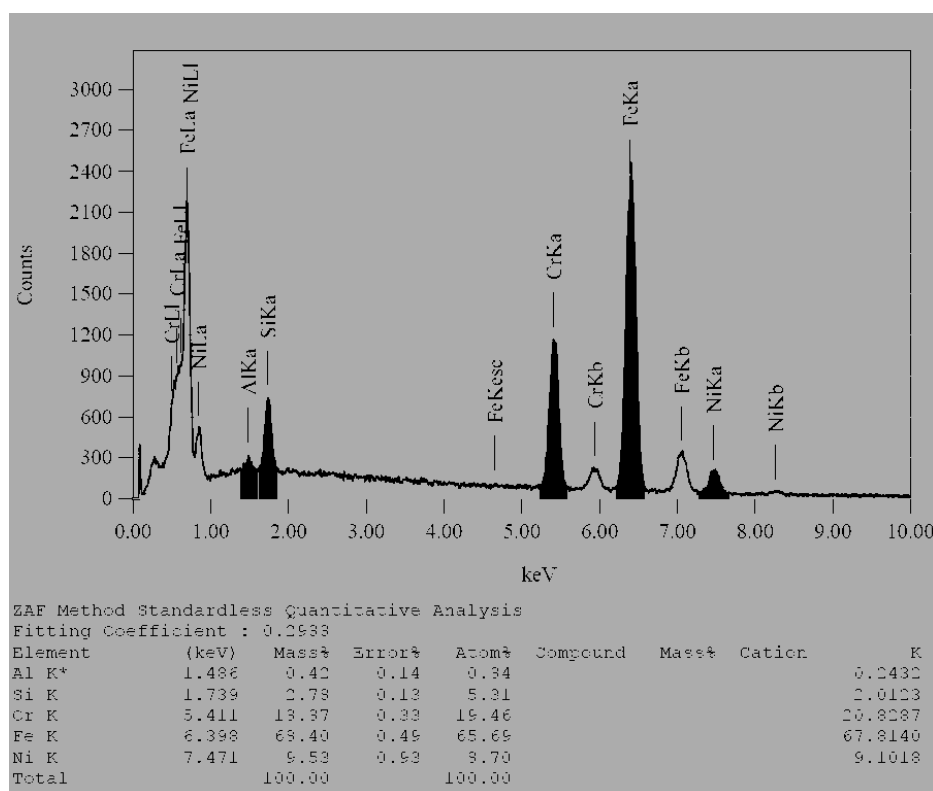


Рисунок 2 - Рентгеновская спектрограмма и таблица химического состава Sterin Medical Group

В третьем образце – иглах шприца «Инекта» выявлено внешнее покрытие металла слоем силикона, что облегчает процесс скольжения, а, сле-

довательно, делает процедуру инъекции наименее болезненной [3]. Состав металла содержит 33,34 % Fe и 53,30 % Si, крайне малое количество примесей (рис. 3). Результаты исследования позволяют сделать вывод, что в третьем образце гораздо меньшее содержание железа и преобладает кремний, придающий сплаву дополнительную прочность. Кроме того, из-за конструктивных особенностей (силиконового покрытия), функциональные особенности игл резко возросли и согласно клиническим испытаниям выявлено, что они превышают остальные образцы.

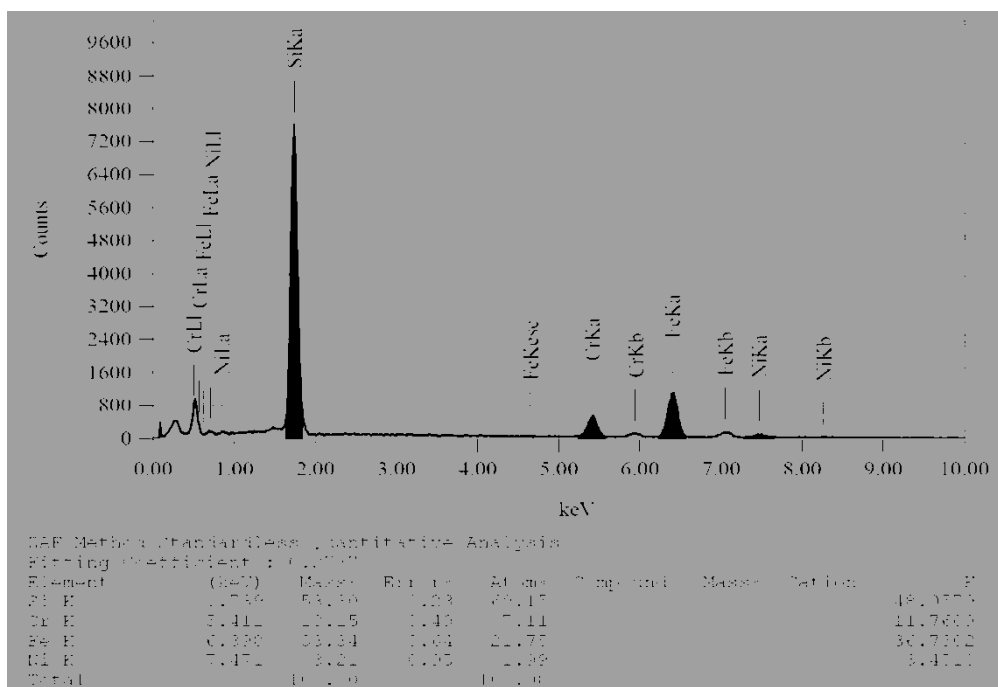


Рисунок 3 - Рентгеновская спектрограмма и таблица химического состава иглы шприца «Инекта»

Таким образом, экспериментальное исследование выявило, что наиболее качественное изделие с лучшими функциональными возможностями имеет в составе обильное содержание кремния и малое количество примесей. Для облегчения скольжения поверхность должна быть максимально гладкой, чему способствует обработка внешней поверхности металлической трубки силиконом.

Библиографический список

1. Гаркушин, И.К. Конструкционные материалы: состав. Свойства, применение / И.К. Гаркушин, О.В. Лаврентьева, М.А. Истомова, О.Ю.Калмыкова. – Самара, изд-во Самарского государственного технического ун-та, 2015. – 239 с.
2. Мальцева, Л.А. Научные основы и технологические решения получения высокопрочных алюминий содержащих коррозионностойких сталей для медицин-

струмента: автореферат дисс. ... доктора техн. наук /Л.А. Мальцева. – Екатеринбург, Уральский государственный технический университет, 2008. – 35 с.

3. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Берёзкин. – Москва, ООО издательская фирма «Физико-математическая литература», 2008. – 456 с.

4. Трубки игольные из нержавеющей стали для изготовления медицинских игл: ГОСТ Р ИСО 9626-2013. – Введ. 2013–05–07. М: Изд-во Стандартиформ, 2014. – 16 с.

УДК 622.6

СПОРТИВНАЯ МЕТРОЛОГИЯ КАК СОВРЕМЕННОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Артёмов И.А.

Научный руководитель: Яковлева М.Р.

*Ленинск-Кузнецкое училище олимпийского резерва,
г. Ленинск-Кузнецкий, e-mail: mar1975ina@yandex.ru*

В данном докладе рассматривается один из основных методов спортивной метрологии – метод средних величин, который, в свою очередь, является популярным инструментом математической статистики. Цель статьи – на наглядных примерах показать практическую значимость данного метода в работе педагога по физической культуре и спорту.

Ключевые слова: спортивная метрология, метод средних величин, спортивные результаты, параметры физических нагрузок.

Спортивная метрология отвечает на два основных вопроса: как измерить и выразить числом те явления и процессы, которые происходят в физической культуре и спорте, и как их математически обработать? Численная мера позволяет выявить тенденции и закономерности, и как следствие, осуществить качественный контроль спортивной деятельности. В частности, контролируются функциональное состояние человека в процессе занятий спортом, возможности и особенности адаптации организма к различного рода нагрузкам, характер двигательной активности и технико-тактические показатели двигательной деятельности.

Педагог по физической культуре и спорту должен уметь использовать в своей работе современные научные направления, одним из которых является спортивная метрология.

Одним из популярных методов статистики в практике физической культуры и спорта является метод средних величин, который состоит из трех основных этапов. Первый этап - сбор данных или, говоря языком статистики, формирование статистической совокупности (чем она больше по объе-

му, тем качественнее будет проведено исследование). Второй этап - определение параметров, характеризующих совокупность (что мы хотим узнать в результате исследования). Третий этап - практическая реализация данных параметров (какие выводы мы сделаем на основе полученных результатов). Возникает закономерный вопрос: какие практические задачи, полезные для тренерской работы, позволяет решить данный метод? Например, можно сравнить контрольную и экспериментальную группы для выявления принципиальных отличий спортсменов, занимающихся по различным программам, методикам. Во-вторых, можно сравнить группы спортсменов, занимающихся в различных условиях, режимах, с разнообразным объемом и интенсивностью тренировочных нагрузок, с использованием различных комбинаций временных, пространственных и силовых показателей. Также данный метод позволяет проследить динамику индивидуальных возможностей спортсмена, что позволит внести коррективы в методику его тренировки.

Рассмотрим конкретные примеры применения метода средних величин в спортивной педагогической деятельности. Тренеру важны не только высокие результаты своего воспитанника, но и стабильность этих результатов.

Пример 1. Сравнить стабильность и высоту прыжка двух спортсменов (таблица 1).

Таблица 1 – Высота прыжка первого спортсмена

Обработка результатов высоты прыжка первого спортсмена						
	результат	частота				
№ п/п	x_i	n_i	$x_i n_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 n_i$
1	30,2	5	151	-5,93	35,1649	175,8245
2	32,4	7	226,8	-3,73	13,9129	97,3903
3	35	9	315	-1,13	1,2769	11,4921
4	38	8	304	1,87	3,4969	27,9752
5	40	4	160	3,87	14,9769	59,9076
6	41,2	7	288,4	5,07	25,7049	179,9343
Всего		40	1445,2			552,524

Средняя высота прыжка $\bar{x} = 36,13$ см

Коэффициент вариации $v_x = 10,28673653$ %

Таблица 2 – Высота прыжка второго спортсмена

Обработка результатов высоты прыжка второго спортсмена						
	результат	частота				
№ п/п	x_i	n_i	$x_i n_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 n_i$
1	34	4	136	-2,2475	5,05125625	20,205025
2	35,3	9	317,7	-0,9475	0,89775625	8,07980625
3	36	10	360	-0,2475	0,06125625	0,6125625
4	36,4	8	291,2	0,1525	0,02325625	0,18605
5	38	7	266	1,7525	3,07125625	21,49879375
6	39,5	2	79	3,2525	10,5787563	21,1575125
Всего		40	1449,9			71,73975

Средняя высота прыжка $\bar{x} = 36,2475$ см

Коэффициент вариации $v_x = 3,694637851$ %

Вывод. Несмотря на фактически равные средние значения высоты прыжка обоих спортсменов, нельзя сделать заключение об их равной квалификации, т.к. результаты второго спортсмена значительно стабильнее (почти в 3 раза). Об этом говорит его более низкий коэффициент вариации (10.3 % - у первого и 3,7 % - у второго спортсмена).

Пример 2. У группы испытуемых измерена ЧСС (уд./мин) до и после тренировки. Необходимо оценить характер тренировки (таблица 3).

Таблица 3 – Обработка измерений ЧСС у спортсменов до тренировки

Обработка измерений ЧСС у спортсменов до тренировки						
		<i>результат</i>		<i>частота</i>		
№ п/п	x_i	n_i	$x_i n_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 n_i$
1	106	6	636	-5,46	29,8116	178,8696
2	109	9	981	-2,46	6,0516	54,4644
3	110	11	1210	-1,46	2,1316	23,4476
4	113	12	1356	1,54	2,3716	28,4592
5	115	7	805	3,54	12,5316	87,7212
6	117	5	585	5,54	30,6916	153,458
Всего		50	5573			526,42

Средняя ЧСС $\bar{x} = 111,46$ уд./мин

Коэффициент вариации $v_x = 2,91113368$ %

Таблица 4 - Обработка измерений ЧСС у спортсменов после тренировки

Обработка измерений ЧСС у спортсменов после тренировки						
		<i>результат</i>		<i>частота</i>		
№ п/п	x_i	n_i	$x_i n_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 n_i$
1	165	5	825	-11,78	138,7684	693,842
2	172	9	1548	-4,78	22,8484	205,6356
3	175	14	2450	-1,78	3,1684	44,3576
4	180	10	1800	3,22	10,3684	103,684
5	184	8	1472	7,22	52,1284	417,0272
6	186	4	744	9,22	85,0084	340,0336
Всего		50	8839			1804,58

Средняя ЧСС $\bar{x} = 176,78$ уд./мин

Коэффициент вариации $v_x = 3,398364$ %

Выводы. Полученные данные свидетельствуют о том, что ЧСС существенно возросла от 11,5 до 176,8 уд./мин. При этом стабильность результатов почти не изменилась: $3,4 - 2,9 = 0,5$ %, что свидетельствует о том, что тренировка была интенсивной, а спортсмены - примерно одинаковой квалификации.

Все вычисления произведены в электронных таблицах, что делает использование представленного метода технически несложным и наглядным.

Таким образом, применение метода средних величин в работе тренера

имеет большую практическую значимость для выбора методик и программ тренировочного процесса, а также позволяет в полной мере оценить стабильность как групповых, так и индивидуальных показателей спортсменов, отследить важные параметры физических нагрузок на их организм.

Библиографический список

1. Начинская, С.В. Спортивная метрология [Текст]: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 240 с.

2. Начинская, С.В. Применение статистических методов в сфере физической культуры. [Текст]: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М., 2000. – 232 с.

УДК 535.37:544.164

ПОДБОР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЗОНОЙ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Романова К.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: kseniya@mail.ru*

В данной работе была проведена оценка эффективности применения квантовых точек ZnCdSe и ZnCdTe для создания высокоэффективных солнечных элементов с промежуточной зоной. Осуществлено моделирование электронных свойств квантовых точек, рассчитана ширина запрещенной зоны, проведен расчет электронного рассеяния при применении изученных квантовых точек в солнечных фотоэлементах.

Ключевые слова: квантовые точки, полупроводниковые материалы, моделирование, солнечные элементы.

Солнечные элементы с промежуточной зоной (ПЗ) привлекают все большее внимание ученых в связи с высокой эффективностью работы. Подобные элементы способны обеспечить значительный фотогенераторный ток при сохранении высокого выходного напряжения, что возможно за счет наличия в них частично заполненной электронами энергетической зоны ПЗ, расположенной в запрещенной зоне полупроводникового материала. В подобных элементах промежуточная энергетическая зона может формироваться за счет квантово-размерных гетероструктур, к примеру, квантовых точек (КТ), распределенных в полупроводниковой матрице с большей шириной запрещенной зоны. Однако создать подобные высокоэффективные устройства достаточно сложно. Низкая плотность распределения КТ в подобных

материалах и небольшие размеры требуют создания многослойных образцов для достижения заметного отклика на поглощение, что приводит к росту деформаций и снижению качества материала. Наличие дефектов увеличивает вклад безызлучательных процессов, появляющихся в результате деформаций внутри слоев. Применение теоретических методов к изучению данных объектов может позволить не только объяснить наблюдаемые экспериментальные эффекты, но и подобрать соединения для функциональных материалов и направленно модифицировать их характеристики. В данной работе был проведен теоретический анализ эффективности применения КТ ZnCdSe и ZnCdTe для создания высокоэффективных солнечных элементов с промежуточной зоной. Было осуществлено моделирование их электронных свойств, рассчитана ширина запрещенной зоны, проведен расчет электронного рассеяния при применении изученных КТ в солнечных фотоэлементах. Моделирование осуществлялось в программе nextnano. В ходе расчетов не учитывалась миграция атомов. На первом этапе расчетов проводилась минимизация полной энергии упругости методом сопряженного градиента. Далее полученный при моделировании локальный тензор деформации устанавливал сдвиг зон от величин объемных материалов. Затем находилось решение многозонного уравнения Шредингера и Пуассона с использованием параметров $Zn_xCd_{(1-x)}Se$ и $Zn_xCd_{(1-x)}Te$ ($x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$). В ходе моделирования рассеивания энергии ZnCdSe и ZnCdTe в солнечном фотоэлементе считалось, что КТ находятся на расстоянии в 2,0 нм друг от друга с периодом решетки 10 нм. При увеличении содержания Zn в $Zn_xCd_{(1-x)}Se$ наблюдался рост ширины запрещенной зоны материала, который в случае кубической кристаллической решеткой, согласно расчетам, для ZnSe составляет 2.65 эВ, а для CdSe - 1.64 эВ при экспериментальных величинах 2.71 и 1.68 эВ соответственно. Полученная в результате моделирования ширина запрещенной зоны $Zn_xCd_{(1-x)}Se$ при $x = 0.4$ составила порядка 2.05 эВ, что соответствует экспериментальной величине 2.10 эВ. Согласно данным моделирования электронного рассеяния в солнечном элементе с КТ ZnCdTe и ZnCdSe по квазикристаллографическому направлению [100] наблюдаются полосы с шириной 0.65 эВ и 0.50 эВ. Следовательно, ZnCdSe может быть использован в роли матрицы, в которой распределяют КТ ZnCdTe, способные образовывать промежуточные полосы с энергией 0.50-0.65 эВ. Сходство характеристик данных полупроводниковых материалов с параметрами, необходимыми для создания эффективных солнечных элементов с промежуточной зоной, позволяет рассматривать данные объекты в качестве компонентов эффективных оптических материалов. Полученные по результатам моделирования данные близки к экспериментальным. Квантово-химические расчеты были проведены с использованием суперкомпьютеров МВС-10П и МВС-100К «Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН» и вычислительных ресурсов системы «Ломоносов» суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова [1]. Работа выполнена при финансовой поддержке Россий-

ского научного фонда, проект № 18-73-00100.

Библиографический список

1. Voevodin, V.I. Practice of «Lomonosov» Supercomputer / V.I. Voevodin, S.A. Zhumatiy, S.I. Sobolev, A.S. Antonov, P.A. Bryzgalov, D.A. Nikitenko, K.S. Stefanov, Vad.V. Voevodin // Open Systems J. – 2012. – № 7. – P. 36-39.

УДК 535.37:544.164

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРОЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК «ЯДРО/ОБОЛОЧКА» CdSe/ZnSe НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА

Романова К.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: ksenuya@mail.ru*

Методом теории функционала плотности проведено моделирование строения, параметров кристаллической решетки и электронных свойств сферических квантовых точек CdSe/ZnSe. Произведен расчет ширины запрещенной зоны, проанализировано влияние природы оболочки на геометрические характеристики и свойства квантовых точек.

Ключевые слова: квантовые точки, полупроводниковые материалы, ширина запрещенной зоны, теория функционала плотности.

Оптические материалы на основе полупроводниковых квантовых точек (КТ) нашли широкое применение в спинтронике, оптоэлектронных устройствах, солнечных элементах. С целью улучшения свойств полупроводниковых материалов получают многослойные КТ со строением «ядро/оболочка». Применение оболочки позволяет уменьшить деформацию КТ, сохранить первоначальные размер и форму ядра, изменить реактивность и термическую стабильность, модифицировать поверхность, улучшить функциональность, эффективность излучения, диспергируемость и т.д. В итоге частицы по своим свойствам отличаются от свойств материалов, из которых состоят. Для создания подобных эффективных полупроводниковых структур, экспериментальные исследования необходимо дополнять результатами квантово-химического моделирования. Теоретические методы в химии позволяют направленно разрабатывать функциональных материалов с заданными физико-химическими свойствами до проведения их синтеза. Однако, несмотря на большое количество экспериментальных работ, в исследованиях по моделированию материалов на основе полупроводниковых КТ отсутствует единый подход к их изучению. В данной работе было проведено моделирование строения и физико-химических свойств квантовых точек типа «ядро/оболочка» с ядром CdSe, покрытых оболочкой из ZnSe. Моделирование

было проведено с помощью метода теории функционала плотности с использованием обменно-корреляционного функционала PBE приближения обобщенных градиентов (GGA) с базисным набором плоских волн в рамках метода проекционных присоединений волн (PAW). Расчеты проводились с максимальной кинетической энергией плоских волн 400 эВ. Для интегрирования по зоне Бриллюэна был выбран набор k-точек на сетке $8 \times 8 \times 6$ с использованием метода Монкхорст-Пак. На первом этапе было проведено моделирование CdSe, в качестве критерия оценки точности проведенных расчетов было использовано значение ширины запрещенной зоны. Методом PBE+U было получено значение ширины запрещенной зоны 1.67 эВ при экспериментальном значении 1.68 эВ. Далее была проведена оптимизация геометрии поверхности КТ CdSe/ZnSe, составленной из семи слоев CdSe и трех слоев оболочки ZnSe. Оптимизация геометрии поверхности CdSe/ZnSe привела к значительному уменьшению длин связей между поверхностными атомами по сравнению с атомами в объеме КТ, что указывает на отклонение морфологии поверхности от внутренней структуры CdSe. Рассчитанные зонные диаграммы для КТ CdSe/ZnSe с толщиной оболочки от 1.0 до 2.4 нм и при варьировании диаметра ядра от 3.4 до 6.2 нм показали, что ширина запрещенной зоны рассмотренной КТ составляет порядка 2.82 эВ. Экспериментальная величина ширины запрещенной зоны в случае кубической кристаллической решетки для CdSe составляет 1.68 эВ, для ZnSe равна 2.71 эВ. Следовательно, применение оболочки из широкозонного проводника ZnSe позволяет изменить конечные характеристики материала на основе CdSe. Это приводит к созданию гетероструктуры I, в которой дырки и электроны локализованы в КТ. В подобном случае широкозонный полупроводник участвует в пассивации поверхностных состояний, локализует электрон-дырочную пару внутри ядра, что приводит к повышению эффективности люминесценции. Полученные по результатам моделирования данные близки к экспериментальным. Квантово-химические расчеты были проведены с использованием суперкомпьютеров МВС-10П и МВС-100К «Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН» и вычислительных ресурсов системы «Ломоносов» суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова [1]. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-33-00062 мол_а.

Библиографический список

1. Voevodin, V.I. Practice of «Lomonosov» Supercomputer / V.I. Voevodin, S.A. Zhumatiy, S.I. Sobolev, A.S. Antonov, P.A. Bryzgalov, D.A. Nikitenko, K.S. Stefanov, V.I. Voevodin // Open Systems J. – 2012. – № 7. – P. 36-39.

СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ ТИТАН-ЦИРКОНИЙ, СФОРМИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Соснин К.В.

Научный руководитель: д-р. техн. наук, доцент Романов Д.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, k.sosnin@mail.ru*

Электровзрывным методом получены покрытия состава Ti-Zr на поверхности титанового дентального имплантата (сплав ВТ1-0). Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа определены элементный и фазовый состав, изучена морфология и дефектная субструктура покрытия. Определена твердость и модуль Юнга, коэффициент трения и износостойкость сформированного покрытия. Установлено, что электровзрывное покрытие является многоэлементным и многофазным.

Ключевые слова: электровзрывное напыление, биоинертное покрытие, структура, цирконий, титан, имплантат

В настоящее время медицинские имплантаты активно используются для вживления в организм в роли протезов, либо в качестве идентификатора. Исследование физико-химических и морфологических свойств, структуры имплантатов является одной из приоритетных задач физики конденсированного состояния и медицинского материаловедения. В качестве подложки использовали дентальный имплантат из сплава титана марки ВТ1-0. Формирование покрытия осуществляли методами электровзрывного легирования с использованием электровзрывной установки ЭВУ 60/10М. С этой целью электрическому взрыву подвергали циркониевую фольгу массой 850 мг. Продукты взрыва, проходя через графитовое сопло формировали импульсную плазменную струю, которая обеспечивала на поверхности напыляемого образца поглощаемую плотность мощности $2,0 \text{ ГВт/м}^2$. Фронт плазменной струи нагревал поверхность образца до температуры плавления, а конденсированные частицы формировали на ней покрытие. При указанных параметрах воздействия толщина покрытия составляла $\approx 50 \text{ мкм}$. Исследование элементного состава и морфологии структуры поверхности и поперечного шлифа покрытия осуществляли методами сканирующей электронной микроскопии (прибор LEO EVO 50 фирмы Zeiss, Германия). Состояние дефектной субструктуры покрытия изучали методами просвечивающей электронной микроскопии тонких фольг (прибор JEM 2100F JEOL). Фазовый состав и состояние кристаллической решетки покрытия изучали методами рентгеноструктурного анализа (дифрактометр XRD 6000). Физико-механические и

трибологические свойства покрытия характеризовали твердостью, модулем Юнга, параметром износа и коэффициентом трения. Трибологические испытания проводили на приборе TRIBOtester (фирма TRIBOtechnic, Франция). Схема испытаний: «диск-палец»; условия испытаний: нагрузка на индентор 8 Н, скорость вращения образца 25 мм/с, длина пути испытания 30 м, радиус трека 2 мм, индентор шарик из твердого сплава ВК8 диаметром 6 мм, испытания проводили при комнатной температуре.

Методами сканирующей электронной микроскопии проведены исследования структуры и элементного состава поперечного шлифа системы «покрытие/подложка» сформированной электровзрывным методом. По морфологии структуры и контрасту травления формирующееся покрытие можно условно разделить на два подслоя. Вблизи границы раздела подслоем №1 имеет столбчатое строение; подслоем №2 – дендритное строение. Можно предположить, что подслоем №2 был сформирован в результате плавления и последующей скоростной кристаллизации поверхностного слоя подложки (сплав на основе титана), инициированным налетающим потоком плазмы, образовавшейся в результате электрического взрыва титановой фольги с расплавленным на ней порошком циркония. Подслоем №1 является собственно покрытием системы Ti-Zr.

Элементный состав покрытия анализировали методами микрорентгеноспектрального анализа. Микрорентгеноспектральный анализ элементного состава по точкам выявил присутствие, наряду с атомами титана и циркония, атомов других элементов. Наряду с элементами, характерными для сплава на основе титана, в покрытии присутствуют атомы углерода и кислорода. Характерно, что атомы углерода выявлены исключительно в поверхностном слое, а атомы кислорода присутствуют по всей глубине покрытия. Основываясь на результатах элементного анализа можно предположить, что сформированное покрытие является многофазным и должно содержать, наряду со сплавом Ti-Zr, карбидные и оксидные фазы.

Фазовый состав поверхностного слоя покрытия изучали методами рентгеноструктурного анализа. Выполненные исследования выявили присутствие в поверхностном слое покрытия трех фаз: основной является α -модификация сплава TiZr (81,3 объемных %), в существенно меньшем объеме присутствуют оксид циркония ZrO (9,5 объемных %) и карбид титана TiC (9,2 объемных %). Таким образом, полученные методом рентгенофазового анализа результаты хорошо согласуются с результатами микрорентгеноспектрального анализа. Присутствие в поверхностном слое покрытия оксидной и карбидной фаз обусловлено, очевидно, техническим вакуумом рабочей камеры установки электровзрывного легирования и применением графитового электрода.

Дефектную субструктуру покрытия исследовали методами просвечивающей электронной микроскопии тонких фольг. Фольги готовили методами ионного распыления пластинок, вырезанных из объема образца в поперечном сечении покрытия. Такое расположение фольги позволяло провести анализ

структуры материала на различном расстоянии от поверхности покрытия. Слой, формирующий поверхность покрытия, имеет нанокристаллическую структуру, размеры кристаллитов которой изменяются в пределах от 20 нм до 100 нм. Нижележащий слой толщиной до 30 мкм имеет субмикроструктуру. Размер кристаллитов, формирующих данный подслой изменяется в пределах от 200 нм до 450 нм. Слой, расположенный на большем удалении от поверхности покрытия, имеет бимодальную структуру.

Наряду с кристаллитами, размеры которых изменяются в пределах 200-300 нм, присутствуют кристаллиты, размеры которых составляют десятки нанометров. По мере приближения к зоне контакта покрытия с подложкой относительное содержание наноразмерных кристаллитов увеличивается. Можно предположить, основываясь на результатах микрорентгеноспектрального анализа элементного состава покрытия, что наноразмерные кристаллиты являются окисными фазами на основе титана и циркония.

Физико-механические и трибологические свойства сформированного покрытия характеризовали, определяя твердость, модуль Юнга, параметр износа (величина, противоположная, износостойкости материала) и коэффициент трения. Для электровзрывного покрытия Ti-Zr параметр износа составил $5,5 \cdot 10^{-4}$, $\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$, коэффициент трения 0,572, твердость $3730 \pm 0,495$ МПа, модуль Юнга $73,8 \pm 6,19$ ГПа. Для образца без покрытия параметр износа составил $6,5 \cdot 10^{-4}$, $\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$, коэффициент трения 0,376, твердость 3630 ± 260 МПа, модуль Юнга $84,3 \pm 7,62$ ГПа. Формирование покрытия состава Ti-Zr сопровождается незначительным (на 18 %) снижением параметра износа (повышением износостойкости) поверхностного слоя, повышением коэффициента трения в 1,5 раза, незначительным (на 3%) повышением твердости и снижением модуля Юнга на 14 %.

Таким образом, Электровзрывным методом на поверхности дентального имплантата из сплава на основе титана сформировано покрытие состава Ti-Zr толщиной не менее 50 мкм. Установлено, что покрытие является многоэлементным и многофазным. Показано, что наряду с твердым раствором на основе Ti-Zr, в покрытии присутствуют карбидная и оксидная фазы. Обнаружено, что покрытие, сформированное электровзрывным методом, обладает субмикро- нанокристаллической структурой. Выявлено, что формирование покрытия состава TiZr сопровождается (относительно подложки без покрытия) незначительным (на 18 %) снижением параметра износа (повышением износостойкости) поверхностного слоя, повышением коэффициента трения в 1,5 раза, незначительным (на 3%) повышением твердости и снижением модуля Юнга на 14 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00075 мол_а.

СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ ТИТАН-ТАНТАЛ, СФОРМИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Соснин К.В.

Научный руководитель: д-р. техн. наук, доцент Романов Д.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, k.sosnin@mail.ru*

Электровзрывным методом получены покрытия состава Ti-Ta на поверхности титанового дентального имплантата (сплав ВТ1-0). Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа определены элементный и фазовый состав, изучена морфология и дефектная субструктура покрытия. Определена твердость и модуль Юнга, коэффициент трения и износостойкость сформированного покрытия. Установлено, что электровзрывное покрытие является многоэлементным и многофазным.

Ключевые слова: электровзрывное напыление, биоинертное покрытие, структура, тантал, титан, имплантат

Современные тенденции в области нанесения биопокрытий на поверхность металлических имплантатов заключаются в поиске оптимального набора параметров покрытий, обеспечивающего наибольшую механическую и биологическую совместимость или инертность с костной тканью.

В настоящее время активно развивается подход получения композиционных покрытий с применением перспективной и технологичной методики электровзрывного напыления, позволяющей формировать композиционные покрытия с различной структурой. Варьируя электрофизические параметры электровзрывного напыления и изменяя материал обрабатываемого изделия, можно управлять свойствами, структурой и составом формируемых покрытий. В настоящем исследовании реализован новый подход, заключающийся в синтезе биоинертных электровзрывных покрытий систем Ti-Ta, свойства которых отвечают эксплуатационным требованиям, на поверхности экономических медицинских имплантатов. Электровзрывные покрытия обладают уникальным комплексом физико-химических и биологических свойств.

Получение биоинертных покрытий системы Ti-Ta реализовано при помощи перспективной методики электровзрывного напыления. Выбраны такие режимы электровзрывного напыления, которые позволят получить минимальную степень шероховатости их поверхности, гомогенизацию и наноструктурирование, повысить износостойкость и получить модуль упругости, сопоставимый с костной тканью человека. Наноструктурирование (размер кристаллитов до 100 нм) поверхностного слоя толщиной в десятки микрометров осуществляться в условиях импульсного переплавления по-

верхности титановых имплантатов и покрытия с последующим высокоскоростным охлаждением путем отвода тепла в объем интегрально холодного образца - имплантата. Биоинертные покрытия выбранных системы Ti-Nb нанесены на титановые имплантаты (сплав VT1-0) методом электровзрывного напыления на электровзрывной установке ЭВУ 60/10М (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк) с использованием титановой фольги (сплав VT1-0), а также порошка ниобия с размером частиц 0,1...1,0 мкм. Биоинертные покрытия нанесены в условиях, когда поверхность облучения испытывает оплавление и перемешивание материала имплантата с компонентами многофазной плазменной струи, сформированной из продуктов электрического взрыва фольг и частиц порошковых навесок. Рассматриваемый подход получения биоинертных покрытий является экологически чистым (все процессы протекают в вакуумной камере установки), новым и будет реализован благодаря использованию перспективной методики электровзрывного напыления, позволяющей формировать покрытия с различной структурой. Исследование физической природы и свойств биоинертных покрытий будет на современном оборудовании. Успешное решение сформулированной в проекте фундаментальной задачи требует использования междисциплинарного подхода.

Фундаментальная новизна обусловлена разработкой комплекса физико-математических моделей различных процессов, протекающих при формировании и эксплуатации покрытий. Успешное решение сформулированной в проекте фундаментальной задачи требует использования междисциплинарного подхода.

Полученные покрытия имеют низкий модуль упругости, сопоставимый с костной тканью ~ 15-30 ГПа, что позволит успешно эксплуатировать имплантат длительное время. Кроме того покрытие имеет физико-механические свойства, существенно (в 3–5 раз) превышающие соответствующие свойства материала основы и размытую границу раздела с ней. Последнее определяет полную совместимость покрытия с материалом имплантата и обеспечивает его высокую стойкость к внешнему воздействию. До настоящего времени в мировой литературе отсутствовали сведения о методах и подходах к формированию биоинертных покрытий системы Ti-Ta методом электровзрывного напыления, данные об их структурно-фазовых состояниях и реализуемых свойствах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-3766.2019.2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНДИЙ-ГАЛЛИЕВОЙ ЭВТЕКТИКИ СО СПЛАВАМИ АЛЮМИНИЯ

Чумачков И.И.

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

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

Рассмотрены подходы получения водорода при взаимодействии активированного алюминия с водой. Описаны механизмы активации алюминия с помощью галлий – индиевой эвтектики. Предложено использовать сильно деформируемый алюминий для его активации в галлий – индиевой эвтектики.

Ключевые слова: алюминий, эвтектика, водород, диффузия, быстрая диффузия, кавитация.

С целью решения проблемы увеличивающегося энергопотребления были рассмотрены идеи использования мелкодисперсного порошкового алюминия в качестве промежуточного энергоносителя, активированного сплавом на основе галлия [1]. В [2] для этих же целей предложено использовать мощные ультразвуковые волны на массивные промышленные алюминиевые сплавы при контакте с Ga-In эвтектикой. В том и другом случае важным является механизм проникновения Ga-In эвтектики в алюминий. На данный момент предложено несколько механизмов проникновения эвтектики в поверхность твердого материала.

Диффузия идет по трем основным механизмам. Первый механизм – вакансионный, где в кристалле процесс массопереноса идет по границе зерен, имеющим истинную кристаллическую структуру. Второй механизм – процесс диффузии по зернограничным дислокациям. Третий процесс – межзерельный, где эвтектика проходит вдоль свободного объема на границе зерен твердого материала [3]. Быстрая диффузия [4 - 6] – процесс, при котором скорость проникания имеет линейную зависимость.

Кавитационный эффект – процесс действия пузырьков на поднятие жидкости. В нашем случае за счет движения пузырей создается поток эвтектики, где в начале поверхность твердого материала частично разъедается, после чего жидкая фаза начинает проходить вглубь образца [7].

При незначительном дефекте на поверхности (затравке) взаимодействие с жидкостью приводит к раскалывающим напряжениям. Данное явление называется эффектом Ребиндера, где замечается адсорбционное снижение поверхностной прочности, благодаря которому увеличивается размер каналов, по которым происходит процесс внедрения в поверхность жидкого материала [8].

При мегапластической деформации металлов и сплавов формируются большое количество межзеренных границ, выходящих на поверхность. Эти

места могут служить затравкой для дальнейшего проникания жидкого металла в материал.

Библиографический список

1. Школьников Е.И. Окисление алюминия водой для эффективного производства электроэнергии / Е.И. Школьников [и др.] – М.: Наука, 2012. – 173 с.
2. Низовский А. И., Новиков А. А., Белькова С. В., Тренихин М.В., Бухтияров В. И. Взаимодействие промышленных алюминиевых сплавов с Ga-In эвтектикой в ультразвуковом поле // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. №3.
3. Тренихин М.В., Козлов А.Г., Низовский А.И., Дроздов В.А., Лавренов А.В., Бубнов А.В., Финевич В.П., В.К. Дуплякин Активированный алюминий: особенности получения и применения в синтезе катализаторов нефтехимии и нефтепереработки // Российский химический журнал – 2007. Т. 51, №4.
4. E. Pereiro-Lopez, W. Ludwig, D. Bellet, J. Baruchel. Grain boundary liquid metal wetting: A synchrotron micro-radiographic investigation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 200 (2003) 333–338.
5. W. Ludwig, E. Pereiro-Lopez, D. Bellet. In situ investigation of liquid Ga penetration in Al bicrystal grain boundaries: grain boundary wetting or liquid metal embrittlement. Acta Materialia 53 (2005) 151–162.
6. Козлова О.В., Родин А.О. Кинетика проникновения жидкого галлия по границам зерен чистого алюминия и сплавов системы алюминий-галлий // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2005. № 6. С. 42 – 46.
7. Сарычев В.Д., Низовский А.И., Новиков А.А., Невский С.А., Тренихин М.В., Грановский А.Ю., Громов В.Е. Механизм взаимодействия твердых и жидких металлов при ультразвуковом воздействии // Доклады Академии наук. 2018. Т. 479. № 3. С. 262-265.
8. Klinger L., Eugen Rabkin E. Strains and stresses caused by penetrative wetting of grain boundaries by the liquid phase. Scripta Materialia 62 (2010). 918–923.

УДК 66.012.52

КИНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ε-КАПРОЛАКТАМА В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА ТИТАНА

Шекаева А.Р., Федорчук А.Н.

Научный руководитель: канд. хим. наук Спиридонова Р.Р.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г.Казань, e-mail: alishek98@mail.ru*

В работе изучено влияние различных концентраций диоксида титана анатазной и рутильной форм на скорость анионной полимеризации

ϵ -капролактама при температуре синтеза 170, 180, 190 °С. Было обнаружено, что введение диоксида титана в концентрации до 10-2 мол.% как для анатазной, так и рутильной формы увеличивает скорость выхода полимера. Увеличение концентрации диоксида титана до 10-1 мол.% во всех случаях приводит к замедлению процесса полимеризации ϵ -капролактама. Также было установлено, что наиболее активной формой диоксида титана является анатаз.

Ключевые слова: анионная полимеризация, ϵ -капролактама, поликапроамид, диоксид титана, анатаз, рутит, кинетика.

На сегодняшний день полиамиды, в частности поликапроамид, находят широкое применение в качестве конструкционного материала, используемого в самых различных областях: машиностроение, самолетостроение, приборостроение, медицина, электротехника и т.д.

Распространенность поликапроамида обусловлена, в первую очередь, хорошими прочностными и эксплуатационными свойствами: стойкость к ударной нагрузке, долговечность при механической работе, устойчивость форм при повышенных температурах. Вместе с тем, поликапроамид обладает рядом недостатков: низкие значения эластичности, термической стабильности и большое водопоглощение [1].

Одним из способов улучшения свойств поликапроамида и устранения его недостатков является использование на стадии синтеза соединений, способствующих изменению химической или надмолекулярной структуры синтезируемого полимера [2].

В качестве подобных соединений широко используются неорганические добавки: оксиды различных металлов, графит, тальк, каолин, стекловолокно и т.д. Тип и количество модифицирующих добавок оказывают влияние не только на структуру поликапроамида, но и на скорость процесса анионной полимеризации ϵ -капролактама.

В случае использования металлических порошков, графита и графитоподобных структур в качестве модификаторов последние могут действовать одновременно как добавки, активаторы и инициаторы анионной полимеризации ϵ -капролактама.

Поэтому как с теоретической, так и с практической точки зрения представляет большой интерес изучение закономерностей анионной полимеризации ϵ -капролактама в присутствии добавок.

Цель данной работы заключалась в изучении влияния анатазной и рутильной форм диоксида титана на анионную полимеризацию ϵ -капролактама, проводимую при температурах 170, 180 и 190 °С.

В ходе реакции через определенные промежутки времени отбирались из реакционной массы пробы. По результатам гравиметрического анализа определялся выход полимера и строились кинетические кривые [3].

Кинетические кривые (рисунки 1, 2) имеют характерный для анионной полимеризации ϵ -капролактама вид и состоят из двух участков, соответ-

ствующих стадии активации и стадии роста цепи [4].

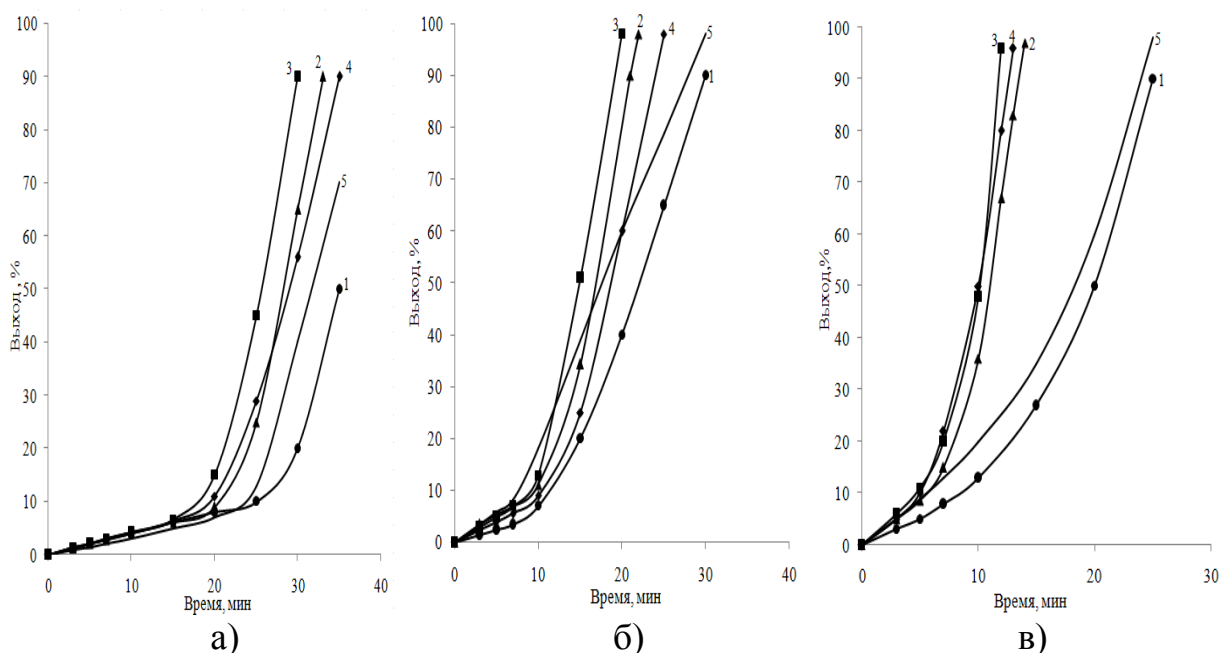


Рисунок 1 – Зависимость выхода полимера от времени полимеризации ϵ -капролактама при концентрации диоксида титана анатазной формы: 1 – 10⁻¹ мол.%, 2 – 10⁻² мол.%, 3 – 10⁻⁴ мол.%, 4 – 10⁻⁶ мол.%, 5 – контрольный образец. Температура синтеза: а) T=170°C, б) T=180°C, в) T=190°C

Как видно из рисунка 1 введение в реакционную массу диоксида титана анатазной формы в концентрации до 10⁻² мол.% приводит к ускорению процесса анионной полимеризации ϵ -капролактама как на стадии инициирования, так и на стадии роста полимерной цепи независимо от температуры синтеза. Напротив, использование диоксида титана, концентрация которого в реакционной среде составляет 10⁻¹ мол.%, оказывает негативное воздействие на процесс, способствуя снижению скорости анионной полимеризации ϵ -капролактама. Проявление негативного эффекта, вероятно, связано с тем, что диоксид титана вступает во взаимодействие с активными центрами, снижая их концентрацию в реакционной системе.

Введение в реакционную массу диоксида титана рутильной формы также способствует ускорению процесса полимеризации (рисунок 2). Однако, в отличие от анатазной формы, ускорению процесса при температуре синтеза 170 °C способствует диоксид титана рутильной формы только в концентрации 10⁻⁴ мол.%. При температуре синтеза 180 и 190 °C для процесса анионной полимеризации в присутствии диоксида титана рутильной формы проявляются те же закономерности, что и при использовании анатазной формы. Как при температуре 180 °C, так и при температуре 190 °C использование диоксида титана рутильной формы в концентрации до 10⁻² мол.% способствует ускорению процесса.

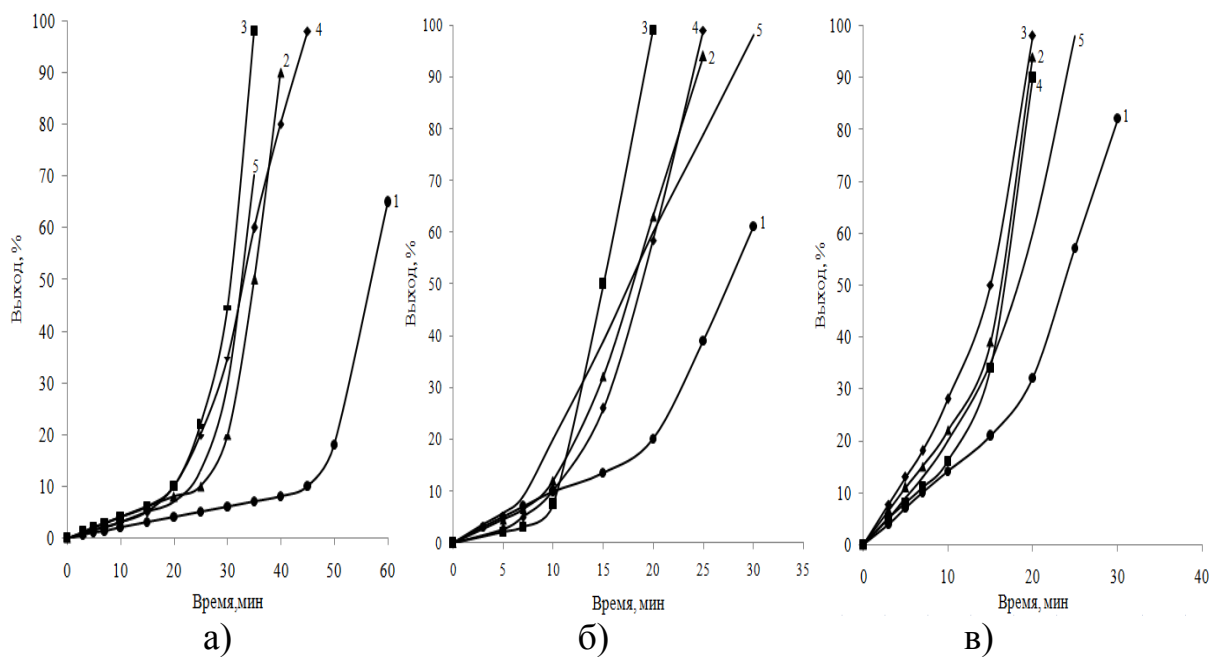


Рисунок 1 – Зависимость выхода полимера от времени полимеризации ϵ -капролактама при концентрации диоксида титана рутильной формы: 1 – 10^{-1} мол.%, 2 – 10^{-2} мол.%, 3 – 10^{-4} мол.%, 4 – 10^{-6} мол.%, 5 – контрольный образец. Температура синтеза: а) $T=170^{\circ}\text{C}$, б) $T=180^{\circ}\text{C}$, в) $T=190^{\circ}\text{C}$

Следует отметить, что повышение температуры приводит к увеличению скорости выхода полимера. При этом ускоряется как сама реакция, так и предшествующая ей стадия инициирования.

Таким образом, показана зависимость влияния анатазной и рутильной форм диоксида титана на анионную полимеризацию ϵ -капролактама при различных температурах. Также можно сделать вывод, что наиболее активной формой диоксида титана является анатаз. Рутил, если и ускоряет реакцию, то незначительно по сравнению с контрольным образцом. Наиболее эффективной является анатазная форма диоксида титана в концентрации 10^{-4} мол. %.

Библиографический список

1. Шекаева А.Р., Федорчук А.Н., Хаматнурова А.Р., Спиридонова Р.Р. Влияние диоксида титана на анионную полимеризацию ϵ -капролактама // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы науки о полимерах – 2018», посвященный 60-летию юбилею кафедры Технологии пластических масс, г.Казань, Изд-во: Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2018, с. 20.

2. Шекаева А.Р., Федорчук А.Н., Хаматнурова А.Р., Иксанов Р.А., Спиридонова Р.Р. Свойства поликапроамида, модифицированного оксидом алюминия // Сборник тезисов международной научно-практической конференции и школы молодых ученых «Химия, химическая технология и экологи-

гия: наука, производство, образование», г.Махачкала, 2018, с. 104-105.

3. Хаматнурова А.Р., Шекаева А.Р., Федорчук А.Н., Спиридонова Р.Р. Оценка влияния диоксида титана на анионную полимеризацию ϵ -капролактама // Сборник, посвященный Международному году периодической таблицы химических элементов «Жить в 21 веке», Казань, Изд-во: Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2019, с. 149-152.

4. Котельников В.А., Данилевская Л.Б., Авакян Ю.А., Персиц И.Е., Сурин Н.Н., Кинетика анионной ϵ -капролактама, инициируемой лактаматами щелочных металлов // Высокомолекулярные соединения, 1994. – Т.36, № 12. – с.1965-1971.

УДК 54.03 : 544.421

ПОТЕНЦИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ С УЧАСТИЕМ МЕТАЛЛОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Зайцев Н.С., Бендре Ю.В., Лежава С.А.

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

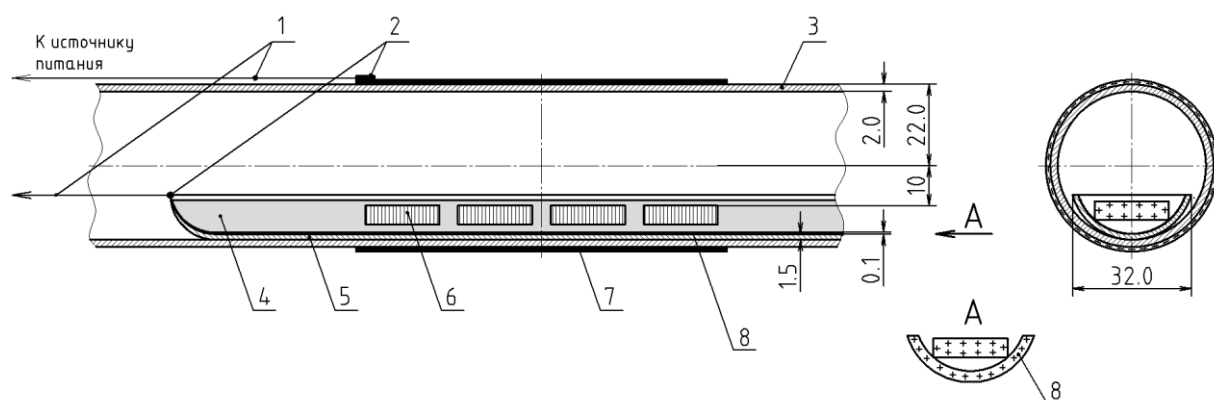
*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, e-mail: koax@sibsiu.ru*

Измерены количественные параметры созданной в химическом реакторе сосредоточенной электрической ёмкости – конденсатора. Установлены новые качественные и количественные связи между ними и дополнительным запасом энергии поверхностного слоя металла (титана), накапливаемым за счёт электростатического заряда, сообщаемого системе извне, энергией электрического поля в диэлектрике (тетрахлорид углерода) и показателями коррозии титана в тетрахлориде углерода. Из полученных уравнений следует, что сообщение извне в виде электростатического заряда электрической энергии титану в поверхностном слое в количестве 10 Дж/моль приводит к увеличению скорости коррозии в 1,15 раза. Проведена аналогия в процессах сообщения реагентам дополнительной энергии за счёт механической активации и электростатического заряда, поступающего на металл извне при подключении его к полюсу источника постоянного напряжения. В связи с этим, разработанный способ увеличения энергии поверхности металла предлагается назвать электростатической активацией а реакции – потенциохимическими или электростатикохимическими.

Ключевые слова: химический реактор с сосредоточенной электрической ёмкостью – конденсатором; технически чистый титан ВТ1-0 и титановый сплав ВТ6; тетрахлорид углерода; физическое воздействие на реагенты извне; положительный или отрицательный заряд на металле; величина напряжения на конденсаторе реактора; электрические ёмкостные характери-

стики реактора; электрическая энергия, накопленная металлом; молярный показатель газовой коррозии металла; электростатическая активация; потенциохимические или электростатикохимические реакции.

Ранее [1, 2] нами 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 созданной сосредоточенной электрической ёмкостью – конденсатором, в котором испытываемые металлические образцы являются составной частью внутренней обкладки (рисунок 1).



1 – токоподводящие провода для подключения цифрового L,C,R – измерителя Е – 7-12 и регулируемого напряжения от внешнего источника постоянного тока (нихромовая проволока дл. 1500 мм, диам. 1,6 мм); 2 – разъёмы между проводами и обкладками конденсатора; 3 – герметичный кварцевый реактор (дл. 1000 мм, диам. 44мм); 4 – углеродная лента (200·35·0,1 мм); 5 – кварцевая лодочка (дл. 240 мм, шир. 32 мм) с металлическими образцами на подложке из углеродной ленты – внутренняя обкладка конденсатора; 6 – металлические образцы (диам. 18-20мм, толщ. 3-6мм.); 7 – латунный цилиндр на внешней поверхности реактора – внешняя обкладка конденсатора; 8 – углеродная лента в разрезе

Рисунок 1 - Схема создания сосредоточенной электрической ёмкости непосредственно в реакционной зоне герметичного кварцевого реактора

В условиях подключения металла к источнику постоянного электрического тока с напряжением от 400 до 7680 В при различной полярности потенциала внутренней обкладки обнаружен независимый от полярности эффект ускорения гетерогенной реакции



Полученные при этом результаты приведены в первых трёх колонках таблицы 1.

Настоящая работа посвящена более углублённому анализу полученных в [1] экспериментальных результатов, измерению количественных параметров созданной в химическом реакторе электрической ёмкости и установлению новых качественных и количественных связей между этими электрическими параметрами, дополнительным запасом энергии поверхностного слоя

металла, энергией электрического поля в диэлектрике (тетрахлорид углерода) и показателями коррозии титана в тетрахлориде углерода.

Необходимо отметить, что конденсатор на рисунке 1 трудно отнести к какому-либо классическому типу. Он отличается неоднородностью и несимметричностью электрического поля. Его внешняя обкладка – цилиндр с площадью 13816 мм², но внутренняя – не представляет собой полый цилиндр, коаксиальный с внешней. Значит конденсатор – не цилиндрический. Тем более его нельзя отнести и к конденсатору с двумя параллельными пластинами.

Таблица 1 - Показатели коррозии титана в потоке пара тетрахлорида углерода и энергия, накапливаемая металлом и диэлектриком 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 ² ·ч). P = 0,95; f = 3	$(K_{мол}^- \pm \Delta K_{мол}^-) \cdot 10^{-4}$, моль/(м ³ ·с). P = 0,95; f = 3	W _{Me (мол.)} , Дж/моль Ti	W _{поля} , Дж/моль CCl ₄
1	2	3	4	5	6
1, BT6, 2	+ 400	3,5 ± 1,6	1,0 ± 0,4	0,18	0,007
2, BT6, 2	- 400	4,4 ± 1,7	1,2 ± 0,5	0,18	0,007
3, BT6, 2	- 800	4,4 ± 1,0	1,2 ± 0,3	0,74	0,027
4, BT6, 2	+ 800	3,7 ± 1,9	1,0 ± 0,5	0,74	0,027
5, BT6, 2	+ 1200	3,0 ± 0,4	0,8 ± 0,1	1,66	0,060
6, BT6, 2	- 1200	3,9 ± 1,8	1,1 ± 0,5	1,66	0,060
7, BT6, 2	+ 2100	3,3 ± 1,1	0,9 ± 0,3	5,08	0,184
8, BT6, 2	- 2100	4,3 ± 1,8	1,5 ± 0,5	5,08	0,184
9, BT6, 2	+ 3600	3,5 ± 1,4	1,0 ± 0,4	14,93	0,539
10, BT6, 2	- 3600	5,5 ± 1,8	1,6 ± 0,5	14,93	0,539
11, BT6, 2	- 4800	3,7 ± 1,3	1,0 ± 0,4	26,54	0,959
12, BT6, 2	+ 4800	5,3 ± 1,9	1,5 ± 0,5	26,54	0,959
13, BT6, 2	+ 6000	7,3 ± 2,7	2,1 ± 0,8	41,47	1,498
14, BT6, 2	- 6000	8,3 ± 2,0	2,3 ± 0,6	41,47	1,498
15, BT6, 2	- 6000	11,3 ± 2,1	3,2 ± 0,6	41,47	1,498
16, BT6, 3	+ 6000	4,5 ± 0,4	1,3 ± 0,1	41,47	1,498
17, BT6, 3	- 7000	7,3 ± 3,0	2,1 ± 0,8	56,45	2,039
18, BT1-0, 5	+ 7000	5,0 ± 2,2	1,4 ± 0,6	56,45	2,039
19, BT1-0, 5	- 7000	4,5 ± 1,6	1,3 ± 0,4	56,45	2,039
20, BT1-05	+ 7000	3,8 ± 1,4	1,1 ± 0,4	56,45	2,039

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
21,ВТ1-05	+ 7000	$8,4 \pm 2,4$	$2,4 \pm 0,7$	56,45	2,039
22,ВТ1-0, 5	- 7000	$11,6 \pm 0,8$	$3,3 \pm 0,2$	56,45	2,039
23,ВТ1-0, 5	+ 7000	$13,2 \pm 1,5$	$3,7 \pm 0,4$	56,45	2,039
24,ВТ1-05	+ 7680	$12,2 \pm 1,4$	$3,4 \pm 0,4$	67,95	2,455
25,ВТ1-05	- 7680	$16,8 \pm 1,5$	$4,8 \pm 0,4$	67,95	2,455
26,ВТ1-0, 5	+ 7680	$4,1 \pm 1,7$	$1,2 \pm 0,5$	67,95	2,455
27,ВТ1-0, 5	- 7680	$9,0 \pm 1,3$	$2,5 \pm 0,4$	67,95	2,455
28,ВТ1-0, 5	+ 7680	$13,2 \pm 0,8$	$3,7 \pm 0,2$	67,95	2,455
29,ВТ1-0, 5	- 7680	$12,8 \pm 2,0$	$3,6 \pm 0,6$	67,95	2,455

Кроме того, внутренняя обкладка представляет собой конфигурацию, состоящую из двух разнородных проводников в электрическом контакте: углеродной ленты ЛУ-П/0,1-50, толщиной 0,1 мм и площадью ($200 \cdot 35 = 7000$) мм², на которую укладывается четыре металлических образца в виде дисков диаметром 18 – 20 и толщиной 3-6 мм, но при этом металлические диски не выходят за границы площади углеродной ленты в лодочке, т.е. они изменяют только конфигурацию внутренней обкладки, но не площадь, обращённую к внешней обкладке. Радиальное расстояние от стенок внутренней обкладки до стенок внешней цилиндрической также не одинаково и составляет от 3,5 мм (2 мм толщины стенки реактора и 1,5 мм толщины стенки лодочки) до 32 мм, при толщине образца металла 5 мм. Из расстояния 32 мм – 2 мм приходится на кварцевую стенку реактора, а 30 мм – на диэлектрик, состоящий, в основном, из пара CCl_4 . Таким образом, сосредоточенную электрическую ёмкость в средней части реактора необходимо только измерить, но вряд ли возможно рассчитать.

Измерения электрической ёмкости а одновременно и электропроводности конденсатора проводили с помощью цифрового L, C, R – измерителя Е 7-12 с присоединительным устройством. Работа прибора была проверена измерением ёмкости эталонных конденсаторов.

Вначале, в параллельных определениях измерили при комнатной температуре ёмкость всей системы в собранном виде вместе с токоподводящими проводами (рисунок 1), но в разных конфигурациях внутренней обкладки: лодочка только с углеродной лентой; лодочка с двумя лентами одного размера в два слоя, лодочка с лентой и одним, двумя, тремя, четырьмя металлическими образцами. Все результаты измерений составили одну область рассеяния не зависимо отконфигурации, а среднее значение и доверительный интервал: $C_{\Sigma} = 35,7 \pm 0,3$ пФ ($P = 0,95$; $f = 18$)*.

* Здесь и далее значения доверительных интервалов рассчитаны для вероятности $P = 0,95$ при числе степеней свободы $f = n - 1$ (n – число экспериментальных измерений)

В дальнейшем, ёмкость всей системы измеряли в шести опытах [1] (опыты № 17, 19, 21, 24, 27, 28) по изучению коррозии титана в тетрахлориде углерода перед их началом, уже при достижении температуры изотермической выдержки 673К и перед подключением к системе постоянного напряжения U . При этом получено среднее значение ёмкости и доверительный интервал: $C_{\Sigma} = 35,7 \pm 0,7$ пФ ($P = 0,95$; $f = 20$). То есть, среднее значение ёмкости осталось прежним, но разброс экспериментальных значений увеличился. Таким образом, ёмкость всей системы C_{Σ} в интервале температуры 298,15 – 673К остаётся величиной постоянной.

Согласно общим представлениям об электростатическом поле [3] двухпроводная линия также обладает ёмкостью. Поэтому для определения исключительно сосредоточенной ёмкости в центре реактора, где находятся испытуемые образцы, провели измерения ёмкости токоподводящих проводов при комнатной температуре и при разомкнутых контактах 2 (рисунок 1) с цилиндрической обкладкой и углеродной лентой в лодочке. При этом получено среднее значение ёмкости токоподводящих проводов и доверительный интервал: $C_{\text{провод}} = 10,1 \pm 0,1$ пФ ($P = 0,95$; $f = 20$). Ёмкость всей созданной системы можно рассматривать как свойство батареи конденсаторов, составленной из двух конденсаторов: один из них – двухпроводная токоподводящая линия, а второй – конденсатор с сосредоточенной ёмкостью внутри реактора, которые соединены между собой параллельно. При параллельном соединении конденсаторов их ёмкости суммируются. На этом основании:

$$C_{\text{соср}} = C_{\Sigma} - C_{\text{провод}} = 25,6 \pm 0,7 \text{ пФ } (P = 0,95; f = 20).$$

Величина $C_{\text{соср}}$ будет определять напряжённость электрического поля и его вклад в энергию диэлектрика, расположенного в пространстве между обкладками.

При подключении электрического конденсатора к источнику постоянного тока на его обкладках (электродах) накапливается электрический заряд $Q = C \cdot U$; при этом электрическая энергия конденсатора W :

$$W = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (2)$$

Поскольку в конструкцию внутренней обкладки конденсатора входят испытуемые металлические образцы, то определённая часть электрической энергии становится частью внутренней энергии образцов и изменяет термодинамическое состояние металла при постоянных температуре и давлении.

Следовательно, по результату воздействия на образцы (изменение термодинамического состояния металла) сообщение металлу в ходе реакции электрического заряда извне аналогично механической активации материалов, которая рассматривается в соответствующем разделе физической химии – механохимии - науке, изучающей химические превращения и физико-химические изменения, которые происходят в результате приложения меха-

нической нагрузки к веществам и материалам [4]. Однако сразу же отметим, что подведение электрического заряда к системе с сосредоточенной электрической ёмкостью по своему влиянию на реагенты может оказаться шире, чем приложение механической энергии, так как оказывает энергетическое воздействие не только на твёрдые вещества в обкладках, но и газ (пар) в диэлектрике между обкладками.

Для объяснения особенностей механохимических реакций привлекаются несколько моделей: тепловая, теория короткоживущих активных центров и дислокационная [5]. В этих моделях рассматривается как подводимая механическая энергия (работа) трансформируется в тепловую и энергию, накопленную материалом.

Электрическую энергию статического заряда на обкладке безусловно можно отнести к энергии, накопленной материалом.

Однако, в нашем случае для оценки величины этой энергии, прежде всего, необходимо выделить из общей энергии (2) конденсатора ту её часть, которая накапливается непосредственно металлом и приводит к изменению термодинамического состояния его поверхности. Для этого необходима величина электрической ёмкости непосредственно металлических образцов, которую, как мы показали выше невозможно выделить при измерениях ёмкости всей системы совместно с образцами. Поэтому в работе провели уже третью серию измерений ёмкости при комнатной температуре: при подключении к прибору вместе с токопроводящими проводами четырёх титановых образцов в электрическом контакте, расположенными в лодочке точно также, как если бы они находились на углеродной ленте. Величина этой ёмкости оказалась равной $25,2 \pm 0,4$ пФ ($P = 0,95$; $f = 8$). За вычетом

ёмкости токоподводящих проводов получаем парциальную ёмкость металлических титановых образцов, согласно занимаемой ими площади на углеродной ленте: $C_{Me} = 15,1 \pm 0,4$ пФ. Эта ёмкость будет определять энергию, накапливаемую титановыми образцами при получении электрического заряда от внешнего источника.

Электрические заряды, являясь свойством элементарных частиц, не могут существовать отдельно от частиц, входящих в состав тел. Поэтому электрическая энергия, накапливаемая металлом может быть рассчитана по формуле для энергии конденсатора (2) с учётом парциальной электрической ёмкости металла C_{Me} :

$$W_{Me} = \frac{C_{Me} \cdot U^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (3)$$

В работе [6] проведена оценка эффективной глубины проникновения электростатического поля в металл. Оказалось, что эта величина в (10 – 100) раз превышает межатомное расстояние и для титана составляет $204,90 \cdot 10^{-10}$ м. Таким образом, на основе формулы (3) имеется возможность оценить плотность электрической энергии, накапливаемую в поверхности металлических образцов ($\text{Дж}/\text{м}^3$), а затем пересчитать её в молярную поверхностную электри-

ческую энергию титана с учётом плотности и молярной массы металла:

$$W_{Ti(мол)} = W_{Me} \cdot M / (s \cdot h) \cdot \rho, \text{ Дж/моль Ti}, \quad (4)$$

где M – молярная масса титана ($47,88 \cdot 10^{-3}$ кг/моль);

ρ – плотность титана (4505 кг/м³);

s – усреднённая суммарная площадь поверхности сразу четырёх титановых образцов, которые использовались в опытах с измерением ёмкости ($3447,551 \cdot 10^{-6}$ м²);

h – эффективная глубина проникновения электростатического поля в титан ($204,90 \cdot 10^{-10}$ м).

Подстановка формулы (3) в (4) приводит к результату:

$$W_{Ti(мол)} = \frac{C_{Me} \cdot M}{2 \cdot s \cdot h \cdot \rho} U^2, \text{ Дж/моль Ti}. \quad (5)$$

В диэлектрике между обкладками конденсатора имеется электрическое поле с определённой напряжённостью (E , В/м) и также сосредоточена энергия.

Напряжённость поля: [3]:

$$E = Q / \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot s, \quad (6)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м);

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для паров CCl_4 принята равной 1,0030, такой же, как и для CS_2 в [7]);

s – площадь обкладки конденсатора (меньшей по размерам), $7 \cdot 10^{-3}$ м².

Площадь меньшей обкладки конденсатора рассчитывали как площадь отрезка углеродной ленты, укладываемой на дно лодочки.

Объёмная плотность энергии в диэлектрике между пластинами [3]:

$$W_{диэл} = (\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E^2) / 2 = (C_{соср})^2 \cdot (U^2) / (2 \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot s^2), \text{ Дж/м}^3. \quad (7)$$

При температуре 673К и давлении 100 кПа (это условия эксперимента в [1]) 1 м³ CCl_4 содержит 18,1 моль вещества, поэтому объёмную плотность электрической энергии в диэлектрике можно отнести к количеству вещества CCl_4 :

$$W_{диэл} = (C_{соср})^2 \cdot (U^2) / (2 \cdot 18,1 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot s^2), \text{ Дж/моль } CCl_4. \quad (8)$$

После подстановки в формулы (5) и (8) численных значений указанных величин были получены следующие формулы для вычисления энергии в зависимости от напряжения:

$$W_{Me(мол)} = 1,152 \cdot 10^{-6} \cdot U^2, \text{ Дж/моль Ti}. \quad (9)$$

$$W_{диэл} = 0,042 \cdot 10^{-6} \cdot U^2, \text{ Дж/моль } CCl_4. \quad (10)$$

Обе формулы относятся к температуре 673К. И электрическая энергия, накапливаемая поверхностью металла и энергия электрического поля в диэлектрике прямо пропорциональны квадрату прилагаемого извне напряжения постоянного электрического тока. При этом энергетическое воздействие

на металл оказывается в ≈ 30 раз больше, чем на диэлектрик.

Поскольку электрическая энергия, накапливая металлом рассчитывается нами на 1 моль металла в поверхностном слое определённой глубины, то имеет смысл взамен обычного массового показателя коррозии титана (таблица 1) ввести молярный показатель коррозии как изменение количества вещества металла в объёме поверхностного слоя, определяемого площадью поверхности металла и эффективной глубиной проникновения электростатического поля в металл. Для пересчёта обычного массового показателя коррозии K_m^- (кг/(м²·с)) в молярный $K_{\text{мол}}^-$ (моль/м³·с) получили соотношение:

$$K_{\text{мол}}^- = \frac{K_m^-}{h \cdot M}, \text{ моль/м}^3 \cdot \text{с} \quad (11)$$

Результаты расчётов по формулам (11), (9), (10) приведены в 4, 5 и 6 колонках таблицы 1.

По представленным в таблице 1 данным построили несколько графиков с обработкой точек по разным линиям тренда. Это необходимо сделать при значительном разбросе экспериментальных данных, который мы объясняем тем, что изучаем гетерогенную реакцию в потоке пара, причём один из продуктов реакции (углерод) является твёрдым веществом (хотя и не сплошным-защитным), остающимся в контакте с металлом. Из рисунка 2 следует, что экспоненциальная зависимость молярного показателя коррозии титана от квадрата напряжения на конденсаторе имеет больше коэффициент корреляции, чем линейная ($0,51 > 0,46$).

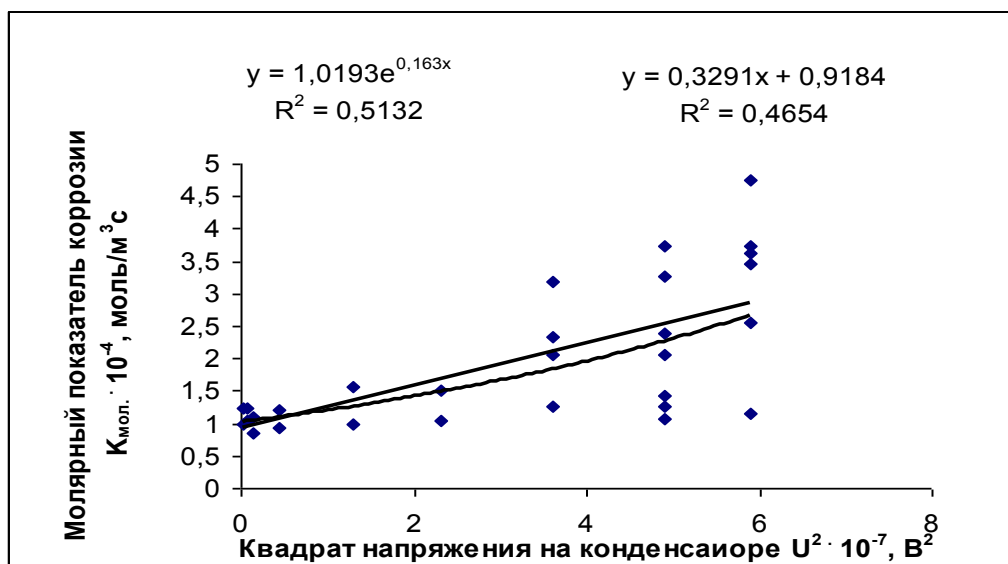


Рисунок 2 – Зависимость молярного показателя коррозии титана от квадрата напряжения на электрическом конденсаторе в реакторе

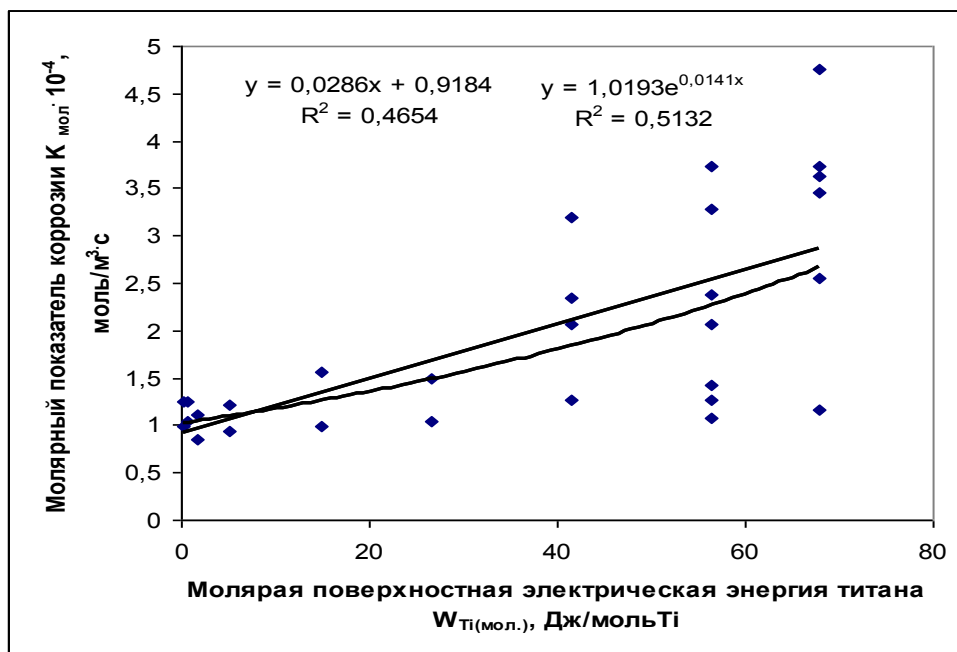


Рисунок 3 – Зависимость молярного показателя коррозии титана от его молярной поверхностной электрической энергии, сообщаемой извне

Можно отметить, что линейная зависимость показателя коррозии от модуля напряжения в первой степени (график в статье не приводится) имеет ещё меньший коэффициент корреляции: 0,41. Это может свидетельствовать о корректности приведенных выше расчётов дополнительной энергии поверхностного слоя металла как энергии конденсатора, которая пропорциональна квадрату приложенного напряжения [формула (9)] и вытекающих отсюда представлений о связи скорости коррозии от запаса электрической энергии, сообщаемой металлу извне (рисунок 3), в частности, это объясняет почему скорость коррозии не зависит от знака электрического заряда на металле.

Из таблиц термодинамических свойств титана и тетрахлорида углерода [8] нашли, что для увеличения температуры 1 моль Ti и 1 моль CCl₄ на 10К (именно такой интервал упоминается в известном правиле Вант-Гоффа) от 673К необходимо сообщить тепловой энергии 291,8 Дж и 1005,0 Дж титану и тетрахлориду углерода соответственно. При этом скорость реакции может увеличиться в (2 – 4) раза соответственно. В наших экспериментах отмечается увеличение скорости гетерогенной реакции при сообщении извне 1 моль титана в поверхности образца энергии до 80 Дж. При этом, как следует из параметров экспоненты на рис.3, при увеличении электрической энергии титана в поверхностном слое с эффективной глубиной проникновения электростатического поля на каждые 10 Дж/моль скорость его химической реакции с тетрахлоридом углерода увеличивается в 1,15 раза.

Для увеличения скорости в 2 раза при таком коэффициенте потребуются увеличение энергии на 50 Дж/моль ($1,15^5 = 2,01$).

Способ увеличения энергии поверхности металла за счёт электроста-

тического заряда, образующегося на металле при подключении его к полюсу источника постоянного напряжения можно назвать электростатической активацией, по аналогии с механической активацией а сами реакции, происходящие в зоне с сосредоточенной электрической ёмкостью, посредством которой реагентам сообщается при постоянных температуре и давлении электрическая энергия за счёт электростатической активации мы предлагаем назвать потенциохимическими или электростатикохимическими по аналогии с механохимическими.

Выводы. Для созданной в химическом реакторе сосредоточенной электрической ёмкости (конденсатора) измерены количественные параметры, в том числе и парциальная электрическая ёмкость титановых образцов, участвующих в реакции с тетрахлоридом углерода.

По электрической ёмкости и величине подключаемого к системе постоянного внешнего напряжения рассчитана дополнительная электрическая энергия атомов титана в поверхности на эффективную глубину проникновения электростатического поля в титан. Разработанный способ увеличения запаса энергии предлагается назвать электростатической активацией.

Установлены новые качественные и количественные связи между показателями коррозии титана и дополнительным запасом энергии поверхностного слоя металла (титана), накапливаемым за счёт электростатического заряда, сообщаемого системе извне и энергией электрического поля в диэлектрике (тетрахлорид углерода). Из полученных уравнений следует, что сообщение извне в виде электростатического заряда электрической энергии титану в поверхностном слое в количестве 10 Дж/моль приводит к увеличению скорости коррозии титана в 1,15 раза. Проведена аналогия в процессах сообщения реагентам дополнительной энергии за счёт механической активации и электростатической активацией. В связи с этим, предлагается назвать реакции с электростатически активированными реагентами – потенциохимическими или электростатикохимическими.

Библиографический список

1. Горюшкин В.Ф., Бендре Ю.В., Зенцова С.В., Зайцев Н.С., Кипервассер М.В. Влияние электрического заряда металла на скорость газовой коррозии титана ВТ1-0 и сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода // Физика и химия обработки материалов. 2018. №1. С. 75-82.

2. Зайцев. Н.С., Бендре Ю.В., Зенцова С.В., Горюшкин В.Ф. Активация реакции окисления титана статическим электрическим зарядом, сообщаемым металлу 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, 2017. – Вып. 21. – Ч. II. Естественные и технические науки. – С. 6 - 15.

3. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие. Т. 2. Электри-

чество и магнетизм. Волны. Оптика. / И.В. Савельев. – Санкт Петербург : Лань, 2007. – 496с.

4. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твёрдых веществ // Успехи химии. – 2006. – Т.75. - №3. – С. 203 – 216.

5. Авакумов, Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья / Е.Г. Авакумов, А.А. Гусев. – Новосибирск : Акад. изд-во «Гео». Рос. акад. наук, Сибирское отд – ние, Ин – т хим. тв. тела и механохимии. – 2009. - 155с.

6. Клыпин А.А. Влияние контакта разнородных металлов на ползуемость меди и алюминия / А.А. Клыпин, А.А. Лучина // Металлы.- 1985. - №2. – С. 138 – 146.

7. Справочник химика и технолога. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/12_obshie_svedeniya/6104.

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

II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.235 (571.54/55)

ОПЫТНО – ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЩЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ ВЕРХНЕ - ИЛЬДИКАНСКИЙ И БЫСТРИНСКОЕ - 2 ООО «ГРК «БЫСТРИНСКОЕ»

Бородкина Д.А., Курдюков М.О.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
канд. техн. наук Смирнов С.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

На участках Верхне-Ильдиканский и Быстринское-2 ООО «ГРК «Быстринское» определены направления отработки параметров отрезной щели при постановке откосов уступов на длительное стояние.

Ключевые слова: горные породы, отрезная щель, обнажение.

Быстринское месторождение расположено в Забайкальском крае в 650 км восточнее г. Чита, в 15 км от п. Газимурский завод.

Ввод в эксплуатацию участков Быстринский 2 и Верхне - Ильдиканский Быстринского месторождения и одноименного ГОКа произведен в IV квартале 2017 года. Открытые горные работы на месторождениях ведутся ООО «ГРК «Быстринское», входящим в состав ПАО «ГМК «Норильский никель». В настоящее время отрабатываются вмещающие породы нагорной части месторождения. Водоносные горизонты горными работами не вскрыты.

Известно /1/, что прочностные характеристики различных типов пород на карьерах достаточно благоприятны для устойчивости откосов. Горный массив сложен прочными скальными породами, характеризующимися сцеплением в пределах 14,8-56 МПа и углом внутреннего трения от 26,6 до 41°. Плотность вмещающих пород изменяется незначительно: от 2,58 до 2,99 т/м³. В среднем составляет 2,78 т/м³. Плотность руды различная, варьирует в пределах 2,78 – 4,02 т/м³.

Локальные участки прочных скальных пород сильнотрещиноваты, также в массиве имеются системные трещины с неблагоприятным падением в сторону выемки. Это предопределяет необходимость выявления и геометризации в карьере участков сильнотрещиноватых пород. На таких участках при постановке откосов уступов на длительное стояние возможно осыпание, а с переходом на отработку обводненных участков – оплывание горного массива. На участках, где имеется неблагоприятное падение системных трещин

в сторону выемки возможно обрушение горных пород. Опасная по обрушению зона системных трещин ограничивается азимутами падения трещин, направленными в сторону выемки и отличающимися от этого направления на $\pm 30^\circ$. По углу падения трещин, опасная по обрушению зона ограничивается, принятым углом падения заоткоски борта на предельном контуре (65° и менее) и пологим залеганием трещин – (20° и более).

Для снижения сейсмического воздействия на законтурный массив при взрывной отбойке технологических блоков проводятся эксперименты по выбору параметров предварительной щели.

Опытно-промышленные взрывы по блокам проводятся на основе изучения обнажений откосов уступов в карьерах «Верхне - Ильдиканский» и «Быстринский - 2», предоставленных материалов геологической службы, производственно-технического бюро рудника и ООО СФ «Азот майнингсервис».

Так, например, в опытно-промышленном блоке 1032 - 22 карьера «Верхне - Ильдиканский» горный массив сложен алевропесчаниками крепостью по Протодьяконову 5-6, II категории трещиноватости, средним диаметром отдельностей (d_0) – 0,1 – 0,5 м. В массиве установлены крутопадающие дайки диоритовых порфиритов северо-восточного простирания. Мощность даек до 8 метров, крепостью по Протодьяконову – 13. По отношению к линии контурного ряда скважин дайки ориентированы под углом $30 - 90^\circ$, что является благоприятным направлением при проведении предварительного щелеобразования.

В опытно-промышленном блоке 1032 - 22 карьера «Верхне - Ильдиканский» взрывные скважины контурного, предконтурного и остальных рядов различаются по конструкции зарядов. Схематичное расположение скважин в приконтурной зоне и распределение зарядов ВВ по скважинам показаны на рисунке 1.

Параметры взрывных скважин контурного ряда приняты различными для участков предварительной щели, различающихся степенью трещиноватости горного массива (таблица 1).

Скважины контурного и предконтурного рядов диаметром 165 мм бурятся, в соответствии с рекомендациями Санкт-Петербургского института ВНИМИ под углом 65° , остальные скважины – вертикальные. Скважины предконтурного ряда бурятся на расстоянии 2 м от контурного ряда, расстояние между скважинами в предконтурном ряду – 5 м. Сетка остальных скважин в опытно-промышленном блоке 5x5 м

При проведении опытно-промышленного взрыва применяем следующие конструкции зарядов:

1. Комбинированные заряды контурного ряда

Конструкция комбинированного заряда представлена на рисунке 2а. Формируется из взрывчатых веществ и промежуточных детонаторов. В верхней и нижней частях взрывной скважины формируются воздушные промежутки. В верхней части – 1,5 метра, в нижней части – 1,5-2,0 м., заряд ВВ – гирлянда патронов ЗКВЭГ Нитронит П1Д60– массой 0,54 кг/п.м.

2. Комбинированные заряды предконтурного ряда

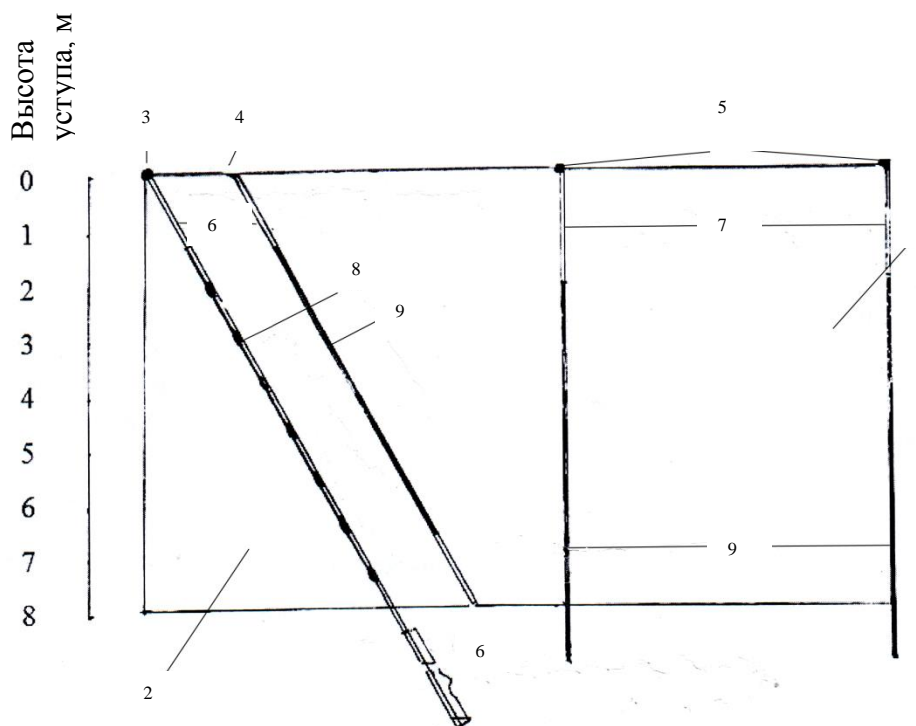
Конструкция комбинированного заряда представлена на рисунке 2б. Формируется из взрывчатых веществ и промежуточных детонаторов. В верхней и нижней части взрывной скважины формируются воздушные промежутки по 1,5 метра. Для формирования воздушного промежутка в нижней части скважины применяются специальные устройства – затворы. Заряд – сплошной Гранулит РП – 1 или Нитронит П1д60, принимается в зависимости от обводненности скважин.

3. Комбинированные заряды остальных рядов

Формируются из взрывчатых веществ и промежуточных детонаторов. Заряд – сплошной Гранулит РП – 1 или Нитронит П1д60, принимается в зависимости от обводненности скважин, забойка – 2 м.

Заряжание скважин в контурном ряду на 2 участке выполняется через одну скважину, на участке 1 заряжается каждая скважина.

Схема коммутации скважин – диагональная. В первую ступень замедления в контурном ряду скважин посредством ДШ формируется предварительная щель. Предконтурный и остальные ряды скважин взрываются с коротким замедлением.



- 1- горный массив опытно-промышленного блока; 2 – законтурный массив;
3 – скважины контурного ряда; 4 – скважины предконтурного ряда;
5 – основные скважины опытно-промышленного блока; 6 – воздушный промежуток; 7 – забойка; 8 – гирлянда зарядов ВВ; 9 – сплошной заряд ВВ

Рисунок 1 - Расположение скважин в приконтурной зоне и распределение зарядов ВВ по скважинам

Таблица 1 – Рекомендуемые параметры взрывных скважин контурного ряда по блоку 1032 – 22

Параметры	Участки предварительной щели	
	участок 1 ($d_0=0,3-0,5$ м)	участок 2 ($d_0=0,1-0,3$ м)
Масса заряда ВВ расчетная, с учетом воздушных промежутков, кг/п.м общей длины скважины*	0,378	0,36
Расстояние между скважинами контурного ряда, м	2,0	2,0
Длина воздушного промежутка от устья скважины, м	1,5	1,5
Глубина перебура, м	2,0	2,0
Длина воздушного промежутка от забоя скважины, м	1,5	2,0

*- рассчитана для гирлянды из патронов ЗКВЭГ массой 0,54 кг/п.м. (7 метров гирлянды, 7 патронов)

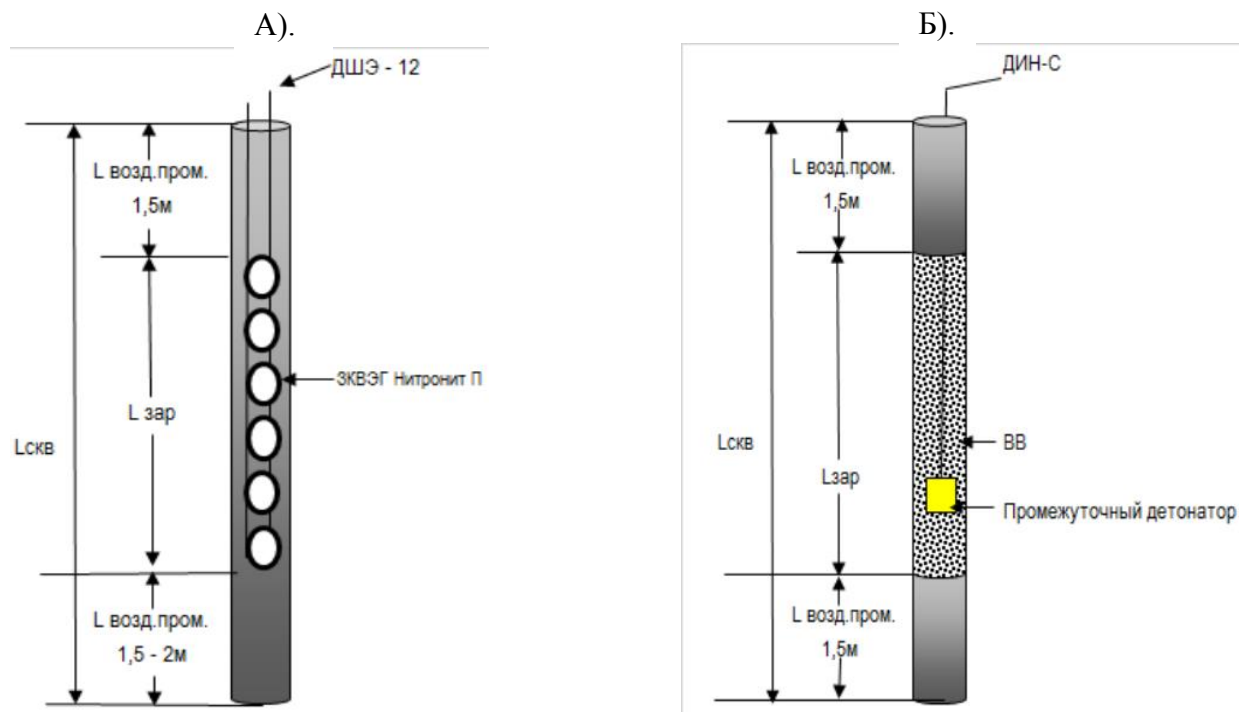


Рисунок 2 - Конструкция заряда контурного (А) и предконтурного (Б) рядов скважин

После отгрузки взорванной горной массы опытно-промышленного взрыва блока 1032 - 22 карьера «Верхне - Ильдиканский» будет проведена фотодокументация и визуальная оценка поверхности обнажений откосов уступов.

Критерием оценки качества проведения взрывной отбойки с применением предварительного щелеобразования является поверхность обнажений откосов уступов на предельном контуре карьера. Поверхность оценивается как качественная при наличии на ней не более 15 % выступов и впадин.

Библиографический список

1. Типовой проект производства БВР ООО «АЗОТ МАЙНИНГ СЕРВИС» на территории горного отвода ООО «ГРК «Быстринское», Кемерово: ООО «АЗОТ МАЙНИНГ СЕРВИС», 2015.

УДК 622.271

КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Воронцова А.В.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sasha.voronzowa2012@yandex.ru*

В данной статье рассматривается возможность комплексного освоения угольного месторождения поэтапно и модернизации существующих методик разработки, внедрение автоматизированных систем на каждом этапе разработки. Данный подход призван способствовать разработке современной методики, повышению коэффициента извлечения угля, минимизировать трудовой ресурс за счет цифровой шахты.

Ключевые слова: комплексное освоение, углехимия, автоматизация, цифровая шахта.

Особенностью состояния угольной отрасли и задач научных исследований в современных условиях является постоянное кардинальное изменение значимости основных показателей работы [1].

Ухудшение технологической инфраструктуры шахт, привело к снижению экономической эффективности. Вместе с ухудшением горно-геологических условий, бесконечный рост цен на транспортные перевозки, поставили угольные предприятия в экономически трудное положение.

В современный период развития шахтного фонда угольных компаний России следует вести поиск самых эффективных решений поддержания достигнутого уровня перспективных шахт, использования всех природных и технологических ресурсных потенциалов.

Часть задач научного потенциала по комплексному использованию по-

лезных компонентов угольных месторождений не нашли своего решения.

Закрытие карьеров, связано с нецелесообразностью добычи по сравнению с привозным углем.

Эффективная добыча угля в шахтах осуществляется до глубины 700м дальнейшая работа сопряжена с повышенным скоплением газа, необходимы мероприятия по дегазации. В настоящее время существует несколько методов добычи метана из угольных пластов. Первый - дегазация угольных шахт, снижающая объемы выделения метана в горные выработки. В этом случае каптированный газ с разной концентрацией метана является попутным полезным ископаемым. Содержание метана в каптируемом шахтном газе колеблется от 10 до 98 % и пригодно лишь для сжигания [2].

Вторым методом и весьма перспективным для широкого применения в народном хозяйстве, является добыча шахтного метана до строительства шахты путем бурения скважин с поверхности. В этом случае газ, извлекаемый из угольных пластов по технологиям углегазового промысла, представлен, в основном, метаном (95-98 %).

Шахтный (угольный) метан - это высококачественный и экологически чистый энергоноситель. При правильной утилизации шахтный метан становится перспективным и ценным видом топлива.

Анализ приведенных проблем разработки угольных месторождений открытым и подземным способом позволяет сделать вывод о необходимости комплексного использования месторождений, осуществляемого поэтапно.

Идея о комплексном освоении угольного месторождения является осуществляемой, но для этого необходимо определенная поэтапная разработка месторождения.

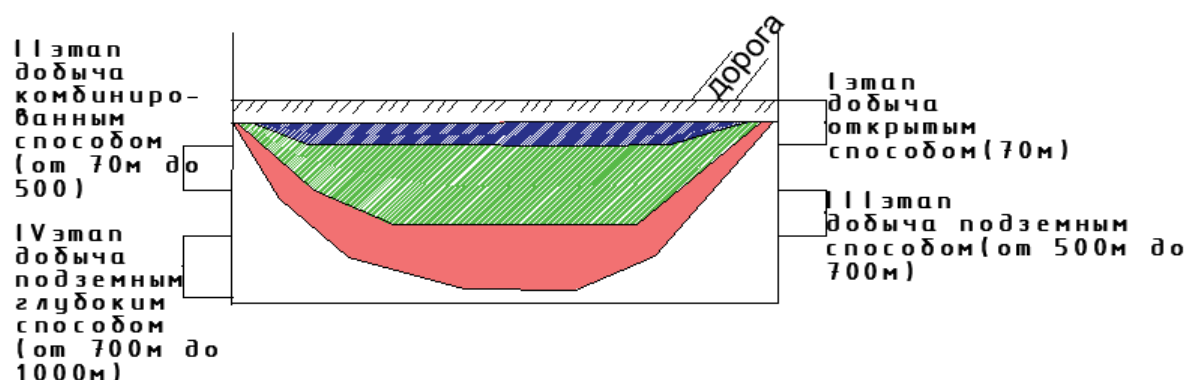


Рисунок 1 – Этапы освоения угольного месторождения

Освоение месторождения в 4 этапа без реструктуризации отдельных производств, осуществляется на стадии предварительного проектирования каждого этапа. Первоначальный капитал используется лишь на первом этапе строительства, дальнейшее развитие месторождение осуществляется с помощью накоплений от реализации угля.

На первом этапе освоения месторождения проводится доразведка ме-

тодом бурения скважин и извлечение метана для хозяйственных нужд с глубины более 1000 м. Добываемый газ используется как источник электроэнергии на комплексе. При бурении скважин будет использоваться автоматизированная система контроля (АСК ШДС представляет собой самостоятельный программно-технический комплекс контролирующей параметры процесса дегазации). Параллельно с получением независимого источника электроэнергии проводится строительство автомагистралей и железных дорог, преимущественно к выходу на порты северных рек, которые впадают в Северные моря. Северные моря имеют важное транспортное значение – это выход к морским портам мира, порты побережья обрабатывают более 20 % всего морского грузопотока планеты.. Параллельно со строительством дорог начинается первый этап разработки – освоение месторождения открытым способом. Исследования в области совершенствования технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах связан с оптимизацией и автоматизацией технологических процессов за счет учета трех модулей:

1. Решение задачи очередности подъезда грузовых автомобилей к экскаваторам в определенное время, с учетом скорости погрузки и движения очереди.

2. Решение логистических задач, связанных с доставкой материала по оптимальному маршруту в заданное место, в определенное время, в нужном количестве при оптимальном уровне издержек.

3. Задача эффективного управления экскаватором. Такой модуль анализирует каждый подвижный узел экскаватора, степень нагрузки, для синхронизации совместной работы узлов.

Комбинация таких модулей позволит решить задачу автоматизации основных и вспомогательных процессов на современном этапе комплексной механизации открытых горных работ [3].

Параллельно с добычей открытым способом, начинается второй этап разработки комбинированным способом. После накопления средств от реализации угля осуществляется строительство вскрывающих выработок шахты, которая начинает работать с минимальным объемом вскрывающих выработок, обеспечивающих максимальную доходность подземной добычи угля. На третьем этапе для улучшения управления добычей угля используется специальное программное обеспечение «*Pitram Mining Solution*» и «*Extreme*», оно помогает администрации организовать процесс добычи и контролировать его в реальном масштабе времени. Сообщения, создаваемые этими программами, помогают выявить недостатки в организации работы и недостатки технологического процесса, снижающие производительность. Происходит дистанционное управление проходческим горным комбайном. Дистанционное управление – самый недорогой способ автоматизировать работу горных машин в опасных условиях, что делает это идеальным началом процесса автоматизации.

Параллельно строительству шахты с борта разреза строится обогатительная фабрика для увеличения продажной стоимости добычного угля, так же обогатительная фабрика занимается переработкой полезных ископаемых

с целью получения продуктов в качестве сырья углехимии. Важнейшими продуктами углехимии являются: кокс, жидкие углеводороды, бензолы, нафталин и т.д. Процессы термической переработки углей направлены на получение продуктов как топливного, так и нетопливного назначения, состав и свойства которых зависит от структурно-химических показателей самих углей, от природы различных химических добавок, от температуры и характера нагрева, состава газовой среды и давления. Получение из угля жидкого топлива и химических продуктов – наиболее перспективное направление в энергетике и нефтехимической промышленности будущего. Перспективность использования угля в будущем будет определена результатами научных исследований в области его переработки. Причем, говоря о перспективности, безусловно, подразумевается соответствие получаемых продуктов переработки экологическим требованиям, как одному из наиболее важных критериев выбора энергоносителя будущего [3].

Четвертым этапом комплексного освоения угольного месторождения является строительство глубоких шахт, с высокими инвестиционными затратами. Снижение затрат на строительство глубоких горизонтов шахт предлагается за счет автоматизации и роботизации наиболее опасных процессов и операций (проведение выработок, исключение нахождения людей в зоне действия горно шахтного оборудования), что приведет к введению такого понятия как «цифровая шахта». Это понятие подразумевает создание самых современных систем добычи с использованием сетевых технологий и умных, подключенных устройств, обеспечивающих совместную работу и удаленный мониторинг в реальном времени.

Научная новизна работы состоит в следующем: разработана поэтапная структура технологической системы отработки угольного месторождения на базе учета стадийности освоения месторождения; предлагается осуществлять выбор горнотехнической системы по комплексному извлечению угля и метана на базе учета взаимовлияния механических и газодинамических процессов в массиве горных пород; выбор способов извлечения угольного метана по вертикальным газодобывающим скважинам следует вести по разработанному алгоритму, учитывающему изменение проницаемости характерных зон массива в результате его подработки.

Библиографический список.

1. Агафонов В.В. Разработка научно-методического обеспечения формирования стратегии устойчивого развития горнотехнических систем угольных шахт: диссерт.раб./ В.В.Агафонов. – Москва, 2009. – 330с.
2. Решетняк С.П., Самолазов А.В., Паладеева Н.И. Буровое и горно-транспортное оборудование железорудных карьеров России и стран СНГ/ / Горная Промышленность. – 2009. - №5(87). – С.18-25.
3. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. – Москва: изд. МГГУ, 2003. – 335-485с.

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ШАХТ С ПОДЪЕМОМ ЛЮДЕЙ ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ

Амбарян Ш.Ю., Бухгольц Э.И., Папян Н.О.

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Коряга М.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, e-mail: R7080@yandex.ru*

В статье рассматривается опыт проведения спасательных операций по подъему персонала шахт через скважины на поверхность. Перспективность данного способа при отработке глубоких горизонтов.

Ключевые слова: авария, шахта, скважина большого диаметра.

Опасность шахтерской профессии известна с тех времен, когда стали добывать уголь подземным способом. Применение современной горной техники не исключает вероятность возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций.

Подземные пожары со взрывами метана и пыли, затопление выработок являются травмоопасными и приводящими к летальным исходам происшествиями.

Извлечение пострадавших из-под завалов является весьма опасным и трудоемким процессом, требующим значительных затрат человеческих и материальных ресурсов.

Одним из способов получения доступа к шахтерам, находящихся в шахте после аварии, является использование спасательной капсулы, которая подается через скважину, пробуренную с поверхности.

Опыт использования спасательной капсулы, послужившей прототипом современного оборудования, начинается с 1963 года, когда произошла авария в Германии в Нижней Саксонии [1]. Селевой поток залил шахту и заблокировал людей на глубине 58 метров. Итоговый диаметр скважины, через которую доставляли людей на поверхность в специальном снаряде, составил 522 мм. Бурение такой скважины заняло 4 дня.

Следующий опыт спасения людей через скважину был при аварии в США (Пенсильвания) в 2002 году [2]. Шахту Кьюкрик-Майн прорвалось более 250 миллион тонн воды из-за пробуренного отверстия в соседнюю затопленную шахту. На глубине 80 метров остались заблокированы 9 человек. Спасательная операция длилась 77 часов, была пробурена скважина диаметром 76 см, по которой их доставили на поверхность в специальной стальной корзине.

Одной из самых длительных и масштабных спасательных операций было вызволение 33 горняков на шахте Сан Хосе в Чили в 2010 году [3].

Глубина, на которой находились люди составляла 622 метра. Чтобы пробурить скважину диаметром 66 см, использовалась крупнейшая во всей стране буровая установка – австралийский проходческий комплекс «Strata

950». Специально для операции были изготовлены 3 капсулы «Феникс».

Основные её параметры:

- Диаметр 53 см;
- Высота 4 метра.

Капсула оснащена:

- Системой подачи кислорода;
- Переговорным устройством;
- Страховочными ремнями.

Подъем шахтеров осуществлялся по одному со скоростью движения спасательной капсулы 1 м/сек. В среднем на человека время подъема составляло от 15 до 30 минут (рисунок 1).



Рисунок 1 – Спасательная капсула примененная в Чилийской спасательной операции

Из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что интеграция перспективных буровых технологии в систему противоаварийной защиты шахт современного технического уровня способна не только обеспечить защиту персонала в аварийной ситуации [4], но и повысить эффективность ведения аварийно-спасательных работ как на начальной, так и на последующих стадиях локализации и ликвидации аварии.

Библиографический список

1. Das Wunder von Lengede (Чудо в Ленгеде): [Электронный ресурс] : Livejournal – Режим доступа свободный : <https://andreas.livejournal.com/747496.html>.
2. Пять сложнейших эвакуаций людей из подземных ловушек: [Электронный ресурс] : Новое время - Режим доступа свободный : <https://nv.ua/world/countries/shakhtery-speleoloh-mladenets-pjat-slozhnejshikh-evakuatsij-ljudej-iz-podzemnykh-lovushkek-2481572.html>.
3. Как шахтеров поднимают на поверхность: [Электронный ресурс] : BBC NEWS Русская служба – Режим доступа свободный : https://www.bbc.com/russian/international/2010/10/101013_chile_graphics.
4. Коряга М.Г., Домрачев А.Н. Перспективы применения скважин для обеспечения аварийных режимов проветривания и спасения застигнутых аварией людей в условиях угольной шахты Екатеринбург : Известия Уральского государственного горного университета, 2017. - № 3. - С. 55 -58.

УДК 622.27

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА

Паринов Д.В.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sasha.voronzowa2012@yandex.ru*

Угольная промышленность Кузбасса на сегодняшний день представляет собой высококонкурентную среду в которой существует необходимость предприятиям улучшать и создавать новые технологии добычи, наращивая интенсивность горных работ и объемы добычи, снижая при этом капитальные затраты.

Ключевые слова: комбинированная (открыто-подземная) разработка, увеличение мощности, производственная мощность, Кузбасс, КГРП.

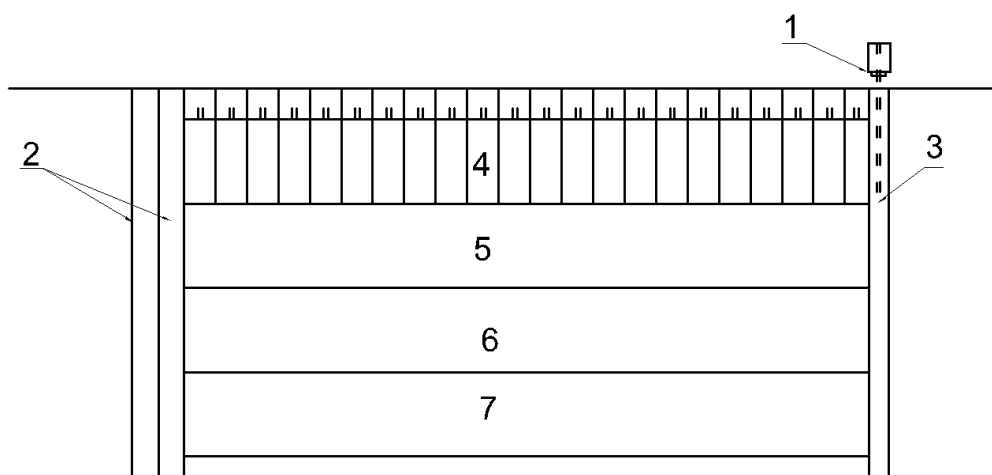
Кузнецкий угольный бассейн является одним из самых крупнейших угольным месторождением мира. Добыча каменного угля ведётся как подземным, так и более прогрессивными - открытым способом. Удельный вес открытой добычи угля составляет около 30 %. По объёму добычи открытым и гидравлическим способами Кузнецкий угольный бассейн занимает 2-е место в России.

В последнее время мы видим тенденцию снижения инвестиций в угольную промышленность, что в основном происходит из-за падения цен на

угольное сырье, так по данным за 2016 год в предыдущие года общие инвестиции, вкладываемые в угольную промышленность Кемеровской области, за последние 15 лет составили 623 млрд руб., из них значительная часть направлена в строительство новых высокопроизводительных предприятий по добыче и переработке угля. В 2014 г. объем общих инвестиций в угольную промышленность Кузбасса снизился до 50 млрд руб., упали и инвестиции в основной капитал угольных предприятий Кузнецкого бассейна, до 38,9 млрд руб. [1].

С учетом того что в ближайшие несколько десятилетий возможна новая энергетическая революция, уголь перестанет быть оптимальным источником энергии, ему на смену придут более мощные и экологически чистые источники энергии. В связи с этим угледобывающие предприятия Кемеровской области вынуждены существенно модернизировать производство и наращивать объемы добычи угля за счет не столько новых месторождений, но и повышения эффективности разработки уже существующих.

В настоящее время при добыче полезного ископаемого открытым способом, большое количество полезных компонентов остаются залегать на нижележащих горизонтах по причине их глубокого залегания, или за зоной наносов по причинам того, что коэффициенты вскрыши начинают превышать экономически целесообразные показатели. Так на сегодняшний день набирает оборот использование комплекса глубокой разработки пластов, применяемый для комбинированных систем разработки (рисунок 1). Комплекс глубокой разработки пластов применяется для одновременной работы открытой и подземной добычи полезного ископаемого, увеличивает эффективность освоения угольных пластов, что позволяет нарастить объемы добычи уже действующих на территории Кузбасса предприятий.



1 - КГРП, 2 - главные уклоны, 3 – фланговый уклон, 4-7 – выемочные столбы

Рисунок 1 – Комбинированная разработка

КГРП позволяет вести добычу открыто-подземным способом, с дальнейшим переходом на полностью подземную добычу, позволяя совмещать во времени открытую, открыто-подземную и подземную разработки увеличивая при этом полноту извлечения угля, и интенсивности освоения месторождения.

Суть метода заключается в делении рабочего уступа по всей длине на панели, формируется промлощадка для установки комплекса. Ширина уступа принимается исходя из необходимого для транспортировки угля и пород оборудования.

При начале работы КГРП по границам панели выбуривают 2-3 наклонные выработки, после их продлевают, расширяют и укрепляют шахтной крепью, сооружая главный и фланговый уклоны.

После того как комплекс заканчивает очистные работы в границе панели выемочного столба 4, он аналогичным способом начинает разрабатывать соседнюю панель.

Уже разработанную панель делят на выемочные столбы и после окончания подготовленных работ в выемочном столбе, начинают отработку полностью переходя на подземный способ работ. Поочередно отрабатывая шахтное поле с использованием средств комплексной механизации.

За счет расширения, углубления и крепления уже пройденных крайних наклонных выработок разрабатываемой панели снижаются капитальные затраты на формирование главных и фланговых уклонов, улучшаются условия их проветривания и организация работ.

Библиографический список

1. Перспективы развития добычи угля до 2035 года “УГОЛЬ” № 01, 2016 ст. 5.
2. Патент РФ № 1751333 на изобретение «Способ комбинированной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых» по заявке № 4849481. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений и действует с 30.03.1993 г. (авторы Попков М. П., Нифонтов А. И., Ялевский В.Д., Федорин В.А., Никишичев Б.Г. и Михеев О.В.). Патентообладатель ИУУ СО РАН
3. Патент РФ № 2430236 на изобретение «Способ комбинированной разработки угольных месторождений» по заявке № 2009143452/03. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений и действует с 24.11.2004 г. (авторы Федорин В.А., Шахматов В.Я., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.). Патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт угля и углехимии Сибирского отделения РАН (ИУУ СО РАН)

ДОРАБОТКА НЕКАНДИЦИОННЫХ ЗАПАСОВ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА

Амбарян Ш.Ю., Бухгольц Э.И.

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

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

Рассмотрены вопросы доработки угольных месторождений после ведения открытых горных работ с помощью комплексов глубокой разработки пластов (КГРП). Роботизация технологии КГРП позволит повысить производительность и значительно снизит негативное воздействие на человека, это является решением проблемы безопасности, поскольку роботизированные шахты не потребуют регулярного присутствия людей под землей

Ключевые слова: комплекс глубокой разработки пластов (КГРП), условия, требования, безопасность, угольный пласт, безлюдная технология.

Ведущим горнодобывающим регионом Сибирского федерального округа по праву считается Кемеровская область, которая по насыщенности территории горными предприятиями занимает первое место в России; здесь расположен крупнейший в стране Кузнецкий угольный бассейн.

В 2018 году в Кузбассе Открытым способом добыто 151,8 млн тонн угля. В подземным способом — 81,4 млн тонн.

Наиболее ценные марки углей залегают в пластах пологого падения мощностью до 10 метров. Причём залежи зачастую представлены свитой пластов.

Горно-геологические условия разработки таких месторождений, в большинстве своём, требуют ведения буровзрывных работ, возрастает доля использования транспорта и расстояние перевозки вскрышных пород, что значительно повышает себестоимость добычи. Это в совокупности с ростом коэффициента вскрыши приводит к прекращению горных работ на участках, имеющих условия, не отвечающие текущим возможностям предприятия.

Не смотря на это, доработанные открытым способом выемки разрезов могут быть задействованы после завершения горных работ.

Запасы залежей в конечных или остановленных на неопределённое время бортах не имеют прежнего значения, что связано с отсутствием оборудования, соответствующего выемке в данных условиях.

Примером решения данной проблемы служит производство и работа комплексов глубокой разработки пластов (КГРП), оправдавших своё применение именно при выемке угля из созданных ранее открытым способом бортов выработок.

Технология с использованием комплекса глубокой разработки пластов

(КГРП) компании SUPERIOR HIGHWALL MINERS, LP является полностью автономной, высоко производительной и экономичной угледобывающей системой, позволяющей осуществлять полностью механизированную подземную разработку угольных пластов. Оборудование КГРП устанавливается на открытой площадке после ведения ОГР (ОГР осуществляется подготовка фронта работ к КГРП). По мере врезания режущего органа в пласт по направлению его падения осуществляется извлечение запасов до границ выемочного участка, но не превышая технические параметры комплекса [2].

При использовании КГРП не требуется присутствия людей в очистном забое. КГРП устанавливается на открытой площадке, которая образуется в результате извлечения вскрышных пород и угля по контуру блока, предполагаемого к отработке с помощью данной системы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Безлюдная выемка пласта с использованием КГРП, межкамерные целики

В зависимости от модуля режущей головки КГРП позволяет обрабатывать угольные пласты мощностью от 1,1 м до 4,8 м с максимальным углом падения и поворота пласта до 25° и пласты мощностью от 4,5 м с углами падения $50-90^\circ$. Режущая головка комплекса врезается вглубь пласта до 300 м. Пологие и наклонные пласты отрабатываются вкрест простирания (по падению). Работы осуществляются по кромке выхода пласта на поверхность с оставлением межкамерных целиков, предназначенных для предотвращения преждевременного обрушения кровли в период очистной выемки в рабочем и в смежном с ним столбе [4]. Необходимо строго выдержать направление камер. В случае несоблюдения этого условия камеры могут расположиться

веерообразно, что приведет к их преждевременному разрушению и возникновению аварийной ситуации, а также к увеличению потерь угля [5].

Потери угля возможно сократить, если вести полную закладку ранее выработанного пространства, что позволит отработать ранее оставленные межкамерные целики.

Для реализации предлагаемой технологии необходим комплекс машин и оборудования, увязанных по технологическим параметрам. Часть машин и оборудования можно подобрать из серийно выпускаемых горным машиностроением, но другая часть оборудования потребует его конструктивной разработки и изготовления.

Так, например, Казахстанский Карагандинский государственный технический университет разработал роботизированный комплекс на основе серийных комплектующих. В состав комплекса входят механизированная крепь и выемочный манипулятор с программным управлением.

В свою очередь достижениями в разработке роботизированных технологий в горнодобывающей промышленности могут похвастаться не только зарубежные коллеги, но и наши ученые, которые предлагают перспективные разработки и предложения по внедрению роботов в шахты.

Ученые из Перми разработали "робот-шахтера", который по их идее должен выполнять все необходимые операции в шахте. Его можно применять как в бурозрывных работах, так и при установочно-наладочных работах. Одним из преимуществ данного робота является то, что он малогабаритен с рукой-манипулятором и располагается на движущей платформе.

Резидент «Сколково» компания "Вист Майнинг Технолоджи" разработала и предлагает технологии для создания роботизированных участков горных работ. На таких участках добычу будет вести роботизированная и дистанционно-управляемая техника - самосвалы, экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, буровые станки, автономный железнодорожный транспорт.

Роботизация технологии КГРП неизбежно повысит производительность и значительно снизит негативное воздействие на человека, повысит эффективность добычи полезных ископаемых, сократит потребность в персонале, что особенно важно для развитых стран с высоким уровнем средней заработной платы, сократит затраты на ремонт оборудования, топливные расходы, так как роботы аккуратнее обращаются с оборудованием и оптимизируют скорость работы.

Таким образом, внедрение роботизированных технологий позволит расширить добычу угля, поскольку роботы могут работать в любых условиях. Появляется возможность дорабатывать сложные участки. Добычу можно будет вести в непрерывном, круглосуточном режиме, поскольку роботу-шахтеру не требуется отдых. Будет кардинально решена проблема безопасности, поскольку роботизированные шахты не потребуют регулярного присутствия людей под землей. Роботы могут работать в бескислородной атмосфере, что само по себе исключает возможность возгорания и взрыва метана.

Библиографический список

1. Технический проект разработки Караканского каменноугольного месторождения. Отработка запасов угля участков «Евтенский» и «Евтенский новый» / ООО «ИГТ Проект». – Прокопьевск, 2016.
2. Нецветаев А.Г. Обоснование геомеханических параметров выемки угля с применением комплексов глубокой разработки пластов (КГРП) // Уголь. – 2005. – № 5. – С. 66–68.
3. Рекомендации по обеспечению геомеханической безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых комплексом глубокой разработки пластов (КГРП). – Екатеринбург–Кемерово, 2005.
4. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Михайлов А.Ю. Технологический комплекс открыто-подземного способа разработки угольных месторождений Кузбасса // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Материалы международной научно-практической конференции: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. С. 20-26.
5. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Михайлов А.Ю. Инновационные аспекты безлюдной

УДК 622. 272.002.5

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШАХТАХ КУЗБАССА

Абдуалиев М.В., Михно А.Р.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: protos626@gmail.ru*

Требуемые объемы воспроизводства фронта очистных работ для оконтуривания выемочных участков зависят от вынимаемой мощности пласта, запланированной добычи в месяц, производительности принятого горно-шахтного оборудования. Возникает необходимость выбора технологических схем для оптимального паспорта проведения подготовительных выработок с требуемой скоростью.

Ключевые слова: спаренные забои, избирательные и непрерывного типа комбайны, трудоемкость, технологические схемы, материальные затраты.

Проведение очистных работ, необходимый от плана и от факта добычи, из анализа шахт Кузбасса.

Решение этих вопросов осуществляется с применением высокопроизводительных комбайнов непрерывного действия, оптимизации транспорта горной массы, выбора буровых установок для крепления выработок и опти-

мизации организации работ в подготовительном забое.

Принятие высокопроизводительных комбайнов с соответствующим транспортным и буровым оборудованием не обеспечивает в полной мере заданные темпы подготовки выемочных участков из-за повышенного газовойделения и сложности проветривания подготовительных выработок.

В работе выполнен анализ среднестатистических темпов проведения выработок на примере шахт юга Кузбасса при использовании различного горно-шахтного оборудования подготовительных забоев и представляется 6 технологических схем (ТС).

ТС №1. Проведение выработок спаренными забоями с применением комбайнов избирательного действия в каждом забое. Отгрузка горной массы производится в конвейерном штреке на ленточный конвейер с применением ленточного перегружателя «СИГМА-800(1000)» длиной до 100м. Во втором забое производится транспортировка горной массы скребковыми конвейерами СР-70-05. Расстояние между сбойками 300 м.

ТС №2. Проведение выработок спаренными забоями с применением комбайнов избирательного действия в каждом забое. Отгрузка горной массы производится в конвейерном и параллельном штреке на ленточный конвейер с применением самоходного вагона ВС-15 с максимальным отходом забоя до 200м. Расстояние между сбойками 200 м.

Таблица 1 - Среднее количество времени, требуемое на определённые виды работ в забое при комбайне избирательного действия.

Виды работ	Затрачиваемое время	
Выемка на КП-21	40 мин	40 мин
Крепление	50 мин	33 мин
Дополнительные	7 мин	7 мин
Доставка материалов	5 мин	5 мин
Суммарные значения	50 мин	65 мин

Месячные темпы проведения $L_{\text{мес}}$ м, определяется по формуле:

$$L_{\text{мес}} = (T_{\text{см}} - t) / T_{\text{ц}} \times n_{\text{см}} \times B,$$

где $T_{\text{см}}$ – время рабочей смены, м;
 t – время приема сдачи смены, м;
 $T_{\text{ц}}$ – общее время цикла, м;
 $n_{\text{см}}$ – количество смен;
 B – количество рабочих дней.

Общее время цикла 102 минуты.

Месячные темпы проведения:

$$(360 - 30) : 120 \cdot 3 \cdot 25 = 242 \text{ м/мес.}$$

С увеличением численности бригады

$$(360 - 30) : 85 \cdot 3 \cdot 27 = 314 \text{ м/мес.}$$

Учитывая опыт использования сервисных центров по обслуживанию оборудования и сокращение времени на операции не связанные с проведением выработки в ремонтную смену среднемесячные темпы проведения достигают 350 м/мес.

Однако этого недостаточно для воспроизводства фронта очистных работ при современных объемах добычи выемочных участков.

Среднее значение суточного отхода очистного забоя (лавы) составляет 12-15 м/сутки. С учетом дополнительных объемов проведения и монтажных работ необходимые темпы проведения выработок каждым забоем должны быть не 550 – 600 м/мес.

Для обеспечения требуемых темпов проведения необходимо заменить комбайн избирательного действия КП – 21 на комбайн непрерывного действия с погрузкой на самоходный вагон.

ТС №3. Проведение выработок спаренными забоями с применением комбайнов непрерывного действия в каждом забое. Отгрузка горной массы производится в конвейерном штреке на ленточный конвейер с применением самозадвигающейся системы хвостовой части. Крепление выработки осуществляется анкероустановщиками типа «RAMBOR». Расстояние между сбойками 300 м.

ТС №4. Проведение выработок спаренными забоями с применением комбайнов непрерывного действия в каждом забое. Отгрузка горной массы производится в конвейерном штреке на ленточный конвейер с применением самозадвигающейся системы хвостовой части. Крепление выработки осуществляется при помощи навесного гидравлического оборудования. Расстояние между сбойками 300 м.

ТС №5. Проведение выработок спаренными забоями с применением комбайнов непрерывного действия в каждом забое. Отгрузка горной массы производится на ленточный конвейер с использованием самоходного вагона ВС-15 с максимальным отходом забоя 200 м. Расстояние между сбойками 200 м. Крепление выработки осуществляется при помощи навесного гидравлического оборудования (поэтапное крепление, часть анкеров устанавливается за комбайном). Расстояние между сбойками 300 м.

ТС №6. Проведение выработок спаренными забоями с применением комбайнов непрерывного действия одного на два забоя. Проведение выработок осуществляется в соответствии с таблицей 3 и графиком РИСУНОК 1. Отгрузка горной массы производится на ленточный конвейер с использованием самоходного вагона ВС-15 с максимальным отходом забоя 200 м. Расстояние между сбойками 200 м. Крепление выработки осуществляется при помощи навесного гидравлического оборудования (поэтапное крепление, часть анкеров устанавливается за комбайном). Расстояние между сбойками 300 м.

Основные показатели проходческого цикла в рабочую смену приведены в таблице 2.

Месячные темпы проведения при 4 варианте ТС:

$$(360-30):63 \cdot 3 \cdot 25=392 \text{ м/мес.}$$

Месячные темпы проведения при 5 варианте ТС:

$$(360-30):35 \cdot 3 \cdot 25=706 \text{ м/мес.}$$

Месячные темпы проведения при 6 варианте ТС:

$$(360 - 30) : 25 \cdot 3 \cdot 25=990 \text{ м/мес.}$$

Таблица 2 - Время проходческого цикла работы подготовительного забоя, оборудованного комбайном непрерывного действия

Виды операции	Параметры при численности бригады, человек		
	50 чел.	65 чел.	90 чел.
Выемка	10 мин	10 мин	10 мин
Крепление	50 мин	20 мин	10 мин
Прочие операции	3 мин	5 мин	5 мин
Общее время	63 мин	35 мин	25 мин

Таблица 3 – Основные показатели проходческого цикла в рабочую смену

Виды операции	Время на операцию
Выемка	10 мин
Крепление	10 мин
Прочие операции	3 мин
Итого	23мин

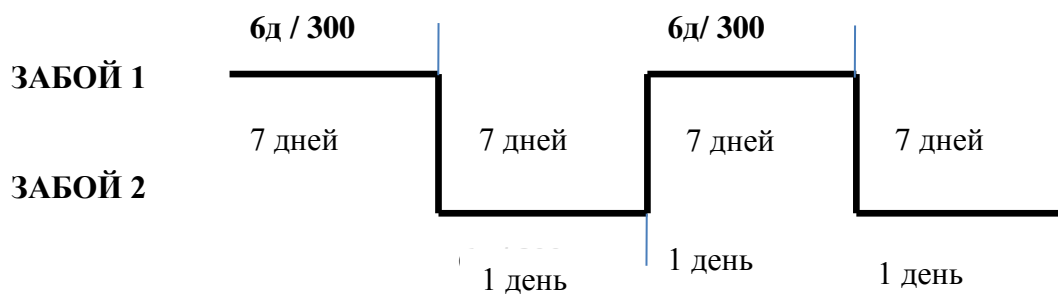


Рисунок 1- График организации работ в спаренных подготовительных забоях при работе одним проходческим комбайном

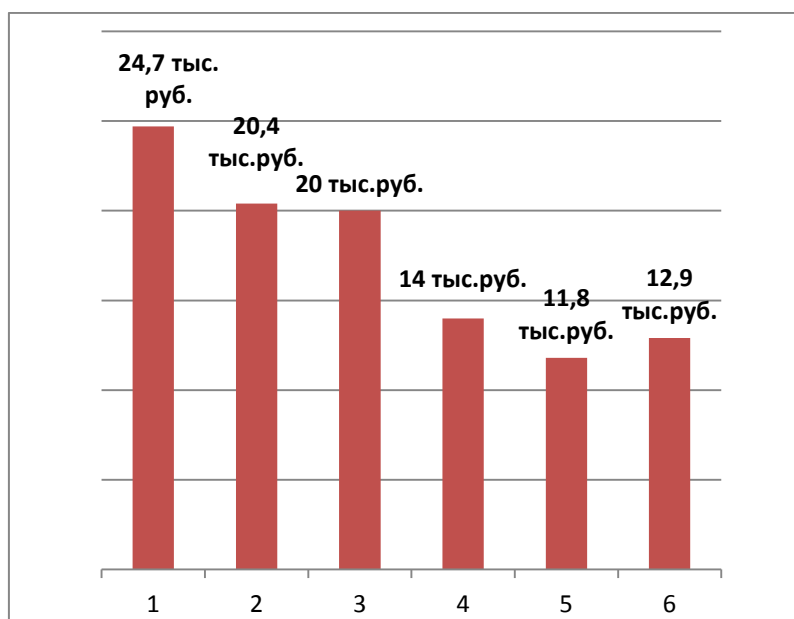


Рисунок 2 -Ориентировочные себестоимости проведения выработок по амортизации оборудования и заработной плате бригады по ТС
Библиографический список

1. Технология и механизация проведения горных выработок: методические указания./ Сост.: Л.М. Цинкер: СибГИУ. – Новокузнецк, 2015.
2. Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт “УГОЛЬ” № 3, 2019 ст. 45.
3. Анализ интегрированной технологии высокопроизводительной заповей выемочных участков угольных шахт Журнал “УГОЛЬ” № 1, 2019 ст. 40.
4. Горнопроходческое оборудование Журнал "Горная Промышленность" №5 (96) 2013.

УДК 622.235

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ МАССЫ ПАДАЮЩЕГО ГРУЗА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Апёнкин В.Е., Агеев Д.А., Клишкин М.А.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: vlad100a@gmail.com*

Приводятся измерения скорости колебаний поверхности стенда сейсмометром ZET 7156 от массы падающего груза, получена зависимость скорости колебаний от массы груза.

Ключевые слова: лабораторные испытания, сейсмоприемники, колеба-

ния поверхности, методика измерений, стенд, груз

Для определения скорости колебаний поверхности стенда от массы падающего груза в лабораторных условиях был собран стенд: на столе была установлена сейсмостанция ZET 7156 и линейки для измерения расстояния до сейсмоприемника и высоты сброса груза. Грузы массой 30, 200 и 250 г сбрасывались с высоты 20 см на расстоянии 50 см от сейсмоприемника.

Для определения скорости колебаний использовалась переносная сейсмостанция с цифровым виброметром ZET 7156 и интеллектуальным преобразователем ZET 7434 [1]. Регистрация поверхности стенда основана на записи цифровых данных на персональный компьютер (ПК) по методике, которая используется для определения скорости сейсмические колебания земной поверхности в результате проведения массовых взрывов. Технические характеристики виброметра интеллектуального цифрового ZET 7156 приведены в таблице 1.

Блок – схема методики регистрации и обработки сейсмических колебаний с применением цифрового сейсмометра ZET 7156 приведена на рисунке 1.

Таблица 1 – Технические характеристики виброметра интеллектуального цифрового ZET 7156

Наименование	Величина по ТУ
Измеряемая физическая величина	виброскорость
Количество осей	3 (X, Y, Z)
Частотный диапазон чувствительного элемента	от 0,3 до 500 Гц
Диапазон измерений	от 0,0005 до 500 мм/с
Частота оцифровки данных	50, 100, 200, 500, 1000 Гц
Интерфейс передачи данных	CAN 2.0
Скорость обмена	100, 300, 1000 кбит/с
Габаритные размеры	140×50×24 мм
Масса	500 г

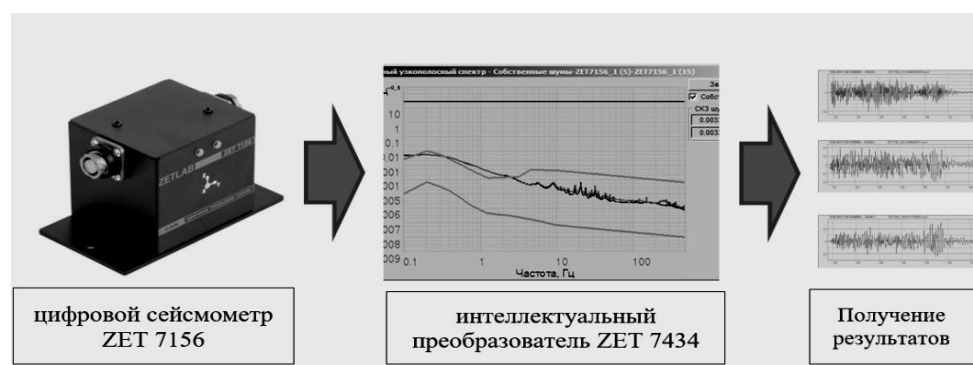


Рисунок 1 – Блок – схема методики регистрации сейсмических колебаний с применением цифрового сейсмометра ZET 7156

Производилось сбрасывание каждого груза по три раза. Фиксировалась вертикальная составляющая скорости колебаний. По сейсмограмме определялась максимальная величина. Среднеквадратичное отклонение изменялось от 0,026 до 3, дисперсия от 0,162 до 1,73. Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений скорости колебаний поверхности стенда от падения грузов с различной массой

№ опыта	Максимальная скорость вертикальных колебаний поверхности от падения груза, мм/с		
	30 грамм	200 грамм	250 грамм
1	1,95	9,70	17,00
2	1,66	10,00	14,00
3	1,68	9,78	14,00
Среднее значение	1,76	9,82	15,00
Среднеквадратичное отклонение	0,026	0,216	3
Дисперсия	0,162	0,46	1,73

По полученным данным построен график максимальной величины скорости колебаний от массы груза, представленный на рисунке 2. Исходя из того, что амплитуда скорости колебаний зависит от величины кинетической энергии падающего груза и должна быть равна потенциальной энергии и иметь прямопропорциональную зависимость от массы тела и высоты. Так как в испытаниях груз сбрасывался с одной высоты, то должна быть прямопропорциональная зависимость от массы груза. На приведенном рисунке видно, что график имеет параболическую зависимость. В сравнении с прямопропорциональной зависимостью достоверность аппроксимации составляет 0,9916.

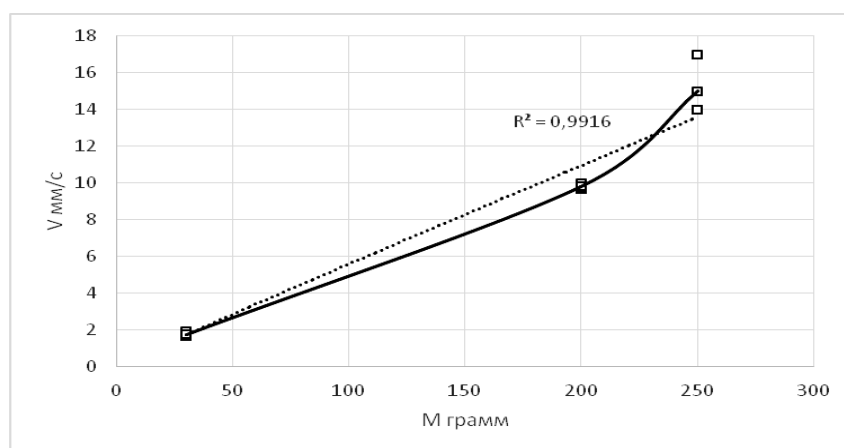


Рисунок 2 – Зависимость максимальной величины вертикальной составляющей скорости колебаний поверхности стенда от массы груза

По графику видно, что с увеличением массы груза, падающего с одинаковой высоты и на одинаковом расстоянии от точки нахождения сейсмоприемника, амплитуда скорости колебаний поверхности стенда увеличивается.

На рисунке 2 представлены примеры сейсмограмм скорости колебаний поверхности от падения грузов с массами 30 грамм, 200 грамм и 250 грамм.

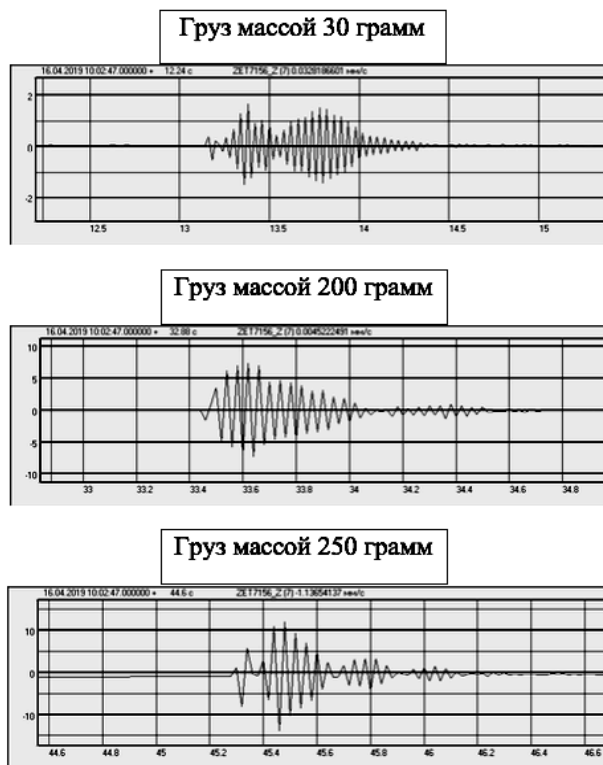


Рисунок 2 – Сейсмограммы скорости колебаний поверхности от падения грузов с массами 30 грамм, 200 грамм и 250 грамм

Вывод:

По результатам испытаний можно сделать вывод, что при увеличении массы падающего груза, при прочих одинаковых условиях, амплитуда колебаний поверхности будет увеличиваться близко к прямопропорциональной зависимости от массы груза.

Библиографический список

1. Климкин, М.А., Семин А.А., Апёнкин, В.Е., Агеев, Д.А. Сравнение методик замера сейсмических колебаний земной поверхности от массовых взрывов // Сб. трудов наука и молодежь: проблемы, поиски, решения технические науки часть 1. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 11 – 15 февраля 2019 г. выпуск 23, с. 121-125.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Борzych Д.М., Никитина А.М., Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: 25borz@rambler.ru*

В статье рассмотрена задача снижения эндогенной пожароопасности угольных шахт. Обоснованы методы предупреждения и локализации эндогенных пожаров.

Ключевые слова: эндогенный пожар, локализация очагов, самонагревание угля.

Тушение эндогенных пожаров нередко сопровождается изоляцией дорогостоящих механизированных комплексов и консервацией подготовленных к выемке запасов. Поэтому сокращение их числа является существенным резервом улучшения экономических показателей работы горных предприятий.

Решение задачи снижения эндогенной пожароопасности шахт включает в себя несколько направлений и расширение области применения системы локальной защиты действующих выемочных полей, которая с использованием комбинированных инертных пен и аэрозолей с одновременной локализацией очагов самонагревания угля, делает экономически оправданными затраты на реализацию эффективных способов и средств профилактики [1-4].

Целью данного исследования является обоснование методов предупреждения и локализации эндогенных пожаров в угольных шахтах.

В настоящее время широко применяют способ подавления очагов возгорания в угольных шахтах путем заполнения свободного пространства шахты инертным газом, например азотом. Азот нужной концентрации вырабатывается прямо на месте тушения мембранным газоразделительным блоком из атмосферного воздуха. Азотные установки на основе мембранной технологии являются перспективным направлением в области обеспечения взрывопожаробезопасности на производстве [2].

Данный метод все чаще применяется предприятиями Кузбасса и имеет неоспоримые преимущества:

- не наносит вреда технологическому оборудованию и системам управления;
- не требует постоянной доставки тушащих материалов;
- оборудование полностью автоматизировано и удобно в эксплуатации;
- тушение происходит по всему объему возгорания;
- не происходит загрязнения окружающей среды продуктами пожаротушения.

В настоящее время особое внимание уделяется противопожарной защите

ленточных конвейеров и выработок, оборудованных ими. Для этого применяются самые последние достижения в области огнестойких и трудно-воспламеняющихся материалов, рациональные режимы проветривания и моделирования расхода воздуха. Для обеспечения пожарной безопасности является необходимостью детальная проверка и маркировка всех конвейерных лент по их трудно-воспламеняемости и проверка токсичности продуктов горения.

Находит применение временная надувная установка преграждения потока воздуха (рисунок 1). Она быстро возводится, что позволит в короткие сроки изолировать загазированные участки. Это поможет не допустить распространения вредных, токсичных газов по другим выработкам шахты.

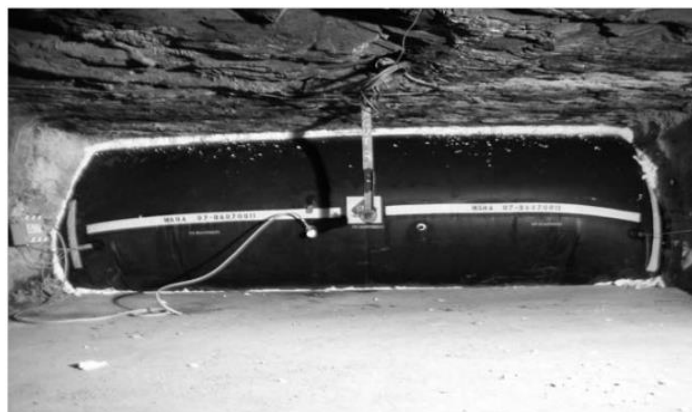


Рисунок 1 – Временная надувная установка преграждения воздушного потока

В связи со значительными изменениями условий работы шахтеров на более глубоких шахтах, появлением новой техники и технологий пожаротушения следует изменить нормативную документацию по данному вопросу. Выработать новые правила, стандарты, рекомендации. Что позволит наиболее эффективно бороться с пожарами, заметно снизить риск их возникновения и уменьшить человеческие жертвы.

К рассмотрению принимается поле №2 шахты «Распадская-Коксовая» пласт III. Из результатов анализа горнотехнической ситуации следует, что зонами повышенной эндогенной пожароопасности являются: целики угля, прилегающие к монтажной и демонтажной камерам и межлавные целики шириной около 20 м.

Для предупреждения эндогенных пожаров в соответствии с рекомендациями РосНИИГД предусматривается комплекс мероприятий:

1. Снижение концентрированных потерь угля: выемка пласта на полную мощность (безцеликовая отработка пласта).
2. Снижение утечек воздуха в выработанное пространство.
3. Изоляция отработанных участков от действующих выработок изолирующими перемычками.
4. Снижение активности угля к окислению с образованием очагов самовозгорания.

5. Увлажнение угольного пласта с помощью специального раствора (антипирогена).

В связи с более продуктивным результатом предпрудждения появления эндогенной пожароопасности выбирается для профилактики обработка выработанного пространства инертной пеной или вспененной глинистой пульпой. Плюсы выбранного метода:

- заполнение выработанного пространства инертной пеной или вспененной глинистой пульпой (ограничивает доступ кислорода оставленному в отработанном пространстве углю);

- вытесняет газ из отработанного пространства;

- предотвращает утечки воздуха в выработанное пространство;

- уменьшает объем пыли поступающей из отработанного пространства;

- по общим экономическим показателям выигрывает у варианта №1 (обработка антипирогенами);

- на обслуживание оборудования и магистрально сети затрачивается меньше чел/час;

- более высокий процент вероятности предотвращения эндогенной пожароопасности.

Таким образом, противопожарная защита шахты «Распадская-Коксовая» обеспечивается выполнением следующих основных мероприятий:

- применение схем и способов проветривания, обеспечивающих предотвращение образования взрывоопасной среды, устойчивое проветривание горных выработок в аварийной ситуации и безопасность выхода людей из шахты или на свежую струю воздуха;

- применение средств индивидуальной и коллективной защиты, обеспечивающих безопасность во время эвакуации или отсидке людей при пожаре;

- применение в горных выработках негорючих материалов;

- применение древесных материалов, пропитанных огнезащитным составом;

- применение электрооборудования в рудничном взрывозащищенном исполнении и проводок, допущенных к эксплуатации в угольных шахтах;

- оснащение ленточных конвейеров стационарными установками автоматического пожаротушения, обеспечивающими их защиту на всем протяжении;

- обнаружение пожаров в начальной стадии в выработках, оборудованных ленточными конвейерами, путем вывода информации о режиме работы каждой установки УАП;

- централизованный контроль за давлением воды в пожарно-оросительном трубопроводе;

- подача воды для тушения пожара по пожарно-оросительному трубопроводу в любую точку горных выработок шахты в соответствии с гидравлическим расчетом;

- размещение в горных выработках первичных средств пожаротушения (огнетушителей, пожарных рукавов и стволов, песка (инертной

пыли) и лопат) в соответствии с требованиями ПБ.

Библиографический список

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

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

3. Садыков С.Р. Исследование существующих и разработка новых способов и средств прогноза и предотвращения внезапных выбросов угля и газа при проведении подготовительных выработок / С.Р. Садыков, А.М. Никитина, С.В.Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – С. 21–23.

4. Блохина Ю.А. К вопросу предотвращения самовозгорания угля в условиях шахт Кузбасса/ Ю.А.Блохина, Н.А. Макарова, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 1–3 июня 2016 г. Вып. 20. Ч. 3 : Естественные и технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – С. 71–72.

УДК 622.831.004.942

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ И РЕМОНТА ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «ОСИННИКОВСКАЯ»

Никитина А.М., Борзых Д.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am_78@mail.ru*

В статье проведен анализ существующего состояния горных выработок шахты «Осинниковская» и произведена оценка степени сложности условий разработки угольных пластов. Разработан комплекс решений, обеспечивающих безремонтное функционирование подготовительных выработок.

Ключевые слова: безремонтное поддержание подготовительных горных выработок, конвергенция, пучение пород почвы, повышение безопасности работ.

При подземной разработке угольных месторождений для повышения безопасности работ, увеличения производительности труда и снижения себестоимости добычи, важное значение имеет безремонтное поддержание подготовительных горных выработок. В течение времени эксплуатации во многих выработках преобладают: вертикальная и горизонтальная конвергенция, пучение пород почвы различной интенсивности, что является причиной уменьшения сечения выработки до неудовлетворительного состояния. Неудовлетворительное состояние подготовительных выработок и выполнение в них ремонтных работ негативно влияют на работу транспорта, очистных забоев и ухудшают условия.

Целью исследования является – разработка комплекса решений, обеспечивающих безремонтное функционирование подготовительных выработок.

Для достижения цели, проведён анализ способов и технических средств поддержания выработок на зарубежных шахтах. Во-первых, следует отметить малогабаритную бурильную машину типа Flex-Drill. Во-вторых, создание анкера большой длины и гибкости в виде так называемого канатного анкера. Оба направления разработки являются основой для быстрой и экономичной установки длинных анкеров на сопряжении лавы со штреком (рисунок 1). Благодаря непрерывной инновационной инженерной деятельности, в большом числе научно-исследовательских работ, конструкция крепи постоянно совершенствуется [2].

В третьих, инъекционное упрочнение пород, применяющееся сегодня на шахтах в основном на сопряжении лавы со штреком – это одно из самых применяемых технологий в сложных условиях для поддержания системы штрековой крепи.

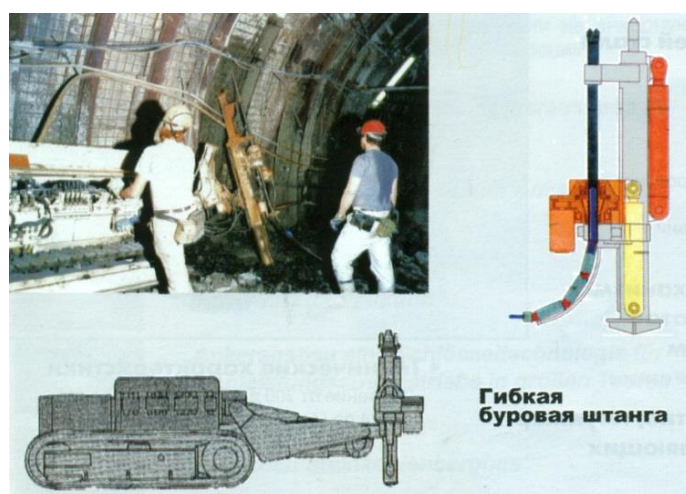


Рисунок 1 - Использование бурильной системы Flex-Drill

В современных шахтах, для того чтобы оценить наличие трещин в породах, проводятся испытания с использованием скважинного эндоскопа. На рисунках 2,а и 2,б показан скважинный эндоскоп, и соответственно примеры обнаруженных в породном массиве трещин.

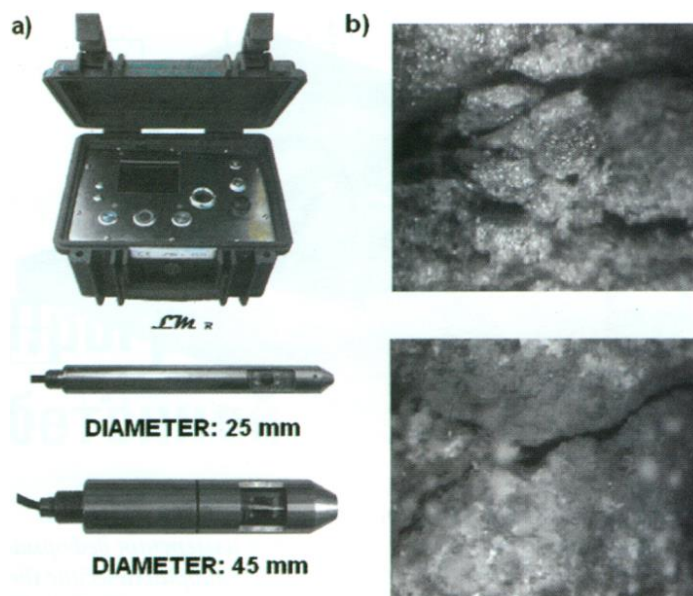


Рисунок 2–Скважинный эндоскоп (а); изображения обнаруженной трещиноватости породного массива (б)

Шахта "Осинниковская" является мощным современным предприятием, которое ориентируется на интенсивный путь развития на базе новейшей техники и технологий. На сегодняшний день шахта "Осинниковская" разрабатывает пласт Е5 в пределах блока №4, выемочный участок 4-1-5-6. Анализ состояния подготовительных выработок, а также затрат, связанных с их поддержанием и ремонтом, показывает, что большую трудность при поддержании подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии представляет борьба с пучением пород почвы, особенно на участках, примыкающих, к очистным забоям. Неудовлетворительное состояние выемочных штреков за лавой является следствием значительной концентрации напряжений и деформаций, усиленного разрушения пород и больших смещений контура выработок на участках влияния очистного забоя.

Практика показала, что обеспечить устойчивость участков подготовительных выработок, закрепленных сталеполимерными анкерами, при парной подготовке возможно дополнительным креплением канатными анкерами.

Предложены следующие технико-технологические решения.

1. В качестве крепления подготовительных выработок (конвейерных и вентиляционных штреков) четвертого блока №4 пласта Е5 предусмотрено использовать металлическую рамную податливую крепь (А19-27), с надежной забутовкой закрепного пространства и расклинивания рам крепи.

2. Значительное разнообразие горно-геологических и горнотехниче-

ских условий обусловило многообразие средств поддержания выработок (гидравлические стойки типа 2ГВС или 2ГСК; стойка трения постоянного сопротивления типа Т; стойка усиления типа КМП-4; крепь усиления типа КУ; деревянные стойки; промежуточные рамы; металлическая крепь с дополнительными хомутами; двухуровневая анкерная крепь).

3. Комплексный подход к повышению эффективности поддержания горных выработок, включающий три этапа (определение фактических горно-геологических условий поддержания выработок; оптимизация параметров поддержания подготовительных горных выработок при обеспечении безопасности и эффективности с использованием программного обеспечения "РПАК" и мониторинг за состоянием выработок и ведением горных работ [2, 4-6].

4. Для поддержания диагональных печей предлагается использовать сталеполимерную анкерную крепь с усилением канатными анкерами АК01 (АК01-25), АК02 и ВАУ1.4.

Преимущества использования двухуровневой крепи при переезде диагональных печей механизированным комплексом:

- снижение материальных затрат;
- низкая металлоемкость;
- низкий объем работ по доставке материалов и оборудования;
- повышение уровня безопасности ведения работ за счет отсутствия операций по демонтажу элементов крепи усиления при подходе очистного забоя;
- высокие темпы перехода разрезных печей за счет отсутствия операций по демонтажу крепи усиления.

Библиографический список

1. Прусек С. Современное состояние технологии крепления штреков в угольной промышленности Польши [Текст] / С. Прусек, В. Мазни // Глюкауф. – 2013. - №2. - С. 48-52.

2. Программное обеспечение РПАК для автоматизации расчета параметров анкерной крепи [Текст] / Е. А.Разумов, А. В. Айкин, П. В.Гречишкин, В. И. Петров, А. С. Позолотин// Уголь. — 2015. — №5. — С. 28-32..

3. Адаптация методов оценки риска обрушения подземных горных выработок к условиям шахт юга Кузбасса [Текст] / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2016. – № 4. – С. 81–90.

4. Исследование влияния дизъюнктивных нарушений на состояние массива горных пород в окрестности подготовительной выработки / С.В. Риб, В.В. Басов, А.М. Никитина // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2016. – № 1 (15). – С. 17–20.

5. Риб С.В. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по 1-му слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с дроблеными и обводненными породами в услови-

ях ОАО «Шахта «Сибиргинская» С.В. Риб, Д.М. Борзых, А.М. Никитина // Вестник СибГИУ: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2013. – С. 62–67.

6. Применение инновационных технических средств для корректировки существующей методики выбора параметров анкерной крепи горных выработок / Борзых Д.М., С.В. Риб, В.Н. Фрянов, А.Г. Зиганшин, А.С. Петров, А.М. Никитина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 354–359.

7. Исследование влияния убывающего угольного целика на пучение пород почвы горной выработки / А.А.Хомякова, А.М. Никитина, С.В. Риб, Д.М. Борзых// Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2014. – № 1. – С. 118–123.

УДК 622.261:622.267.52

СНИЖЕНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «ХАКАССКАЯ»

Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am_78@mail.ru*

В данной статье рассмотрена проблема запыленности горных выработок. Рассмотрены достоинства и недостатки основных средств и способов борьбы с пылью в проходческих забоях угольных шахт. Предложено снижение запыленности горных выработок в условиях шахты «Хакасская».

Ключевые слова: угольная пыль, способы борьбы с пылью, запыленность, контроль запыленности, шахта.

Угольная промышленность является отраслью с наиболее тяжелыми, вредными и опасными условиями труда. Одним из таких факторов является угольная пыль [4]. В результате воздействия пыли на организм человека могут возникнуть глазные и кожные заболевания, болезни верхних дыхательных путей и легких. Пневмокониоз – профессиональное заболевание, развивающееся при длительном вдыхании пыли.

Уровень запыленности практически по всем угольным предприятиям очень высок, а традиционные способы и средства борьбы с пылью не являются составной частью технологических процессов угледобычи и проведения подготовительных выработок. В связи с этим потенциальная опасность возникновения взрывов угольной пыли в смеси с метаном остается крайне высокой. Проводимый в настоящее время на шахтах контроль запыленности рудничной атмосферы и пылевзрывоопасности горных выработок является малоэффективным [4, 5].

Целью исследования является – выбор оптимального способа борьбы с

пылью.

Согласно перечня очистных и подготовительных забоев, допущенных к работе по неувлажнённому массиву шахты «Хакасская» ООО «СУЭК-Хакасия», естественная влажность угля по пластовым пробам составляет до 11,2%. Удельное пылевыведение при разрушении угольного массива шахты «Хакасская» пл. «Великан-II» составляет 159 гр/т. Таким образом, пласт «Великан-II» относится к I группе пыльности.

Установлено, что снижение запылённости воздуха до предельно допустимых концентраций возможно лишь при комплексном применении обеспыливающих мероприятий.

На шахте применяется в основном гидропылевзрывозащита. Для борьбы с угольной и породной пылью в местах их образования противопылевые мероприятия предусматривают:

- водяное орошение забоев и устройство водяных завес перед взрыванием в очистных забоях;
- водяное орошение отбитого угля и забоя при работе очистных и проходческих комбайнов;
- водяное орошение мест перегрузки угля с конвейера на конвейер;
- устройство водяных завес на участках выемочных штреков, примыкающих к лавам на исходящих струях.

В настоящее время системы пылеподавления в режущих шнеках, режущих головках и непосредственно встроенные системы орошения в резцедержателях совершенствуются. Улучшаются системы подачи воды, ее диспергация. Применяются компьютерные технологии при расчетах линии резания, учитывающие параметры угля и комбайна. Это позволяет снизить дробление угля и уменьшает пылеобразование.

Применяется эжекторное орошение. В этом случае водновоздушный туман с большой скоростью выходит из форсунки, располагаемой над камерой смешивания. В камере происходит смешивание засасываемого пыльного воздуха и тумана. Водный аэрозоль обволакивает весь режущий орган (рисунок 1), предотвращает искрообразование, а также резко снижает пылеобразование [1].

В соответствии с [2] при проведении выработок проходческими комбайнами рекомендуется применять нагнетательно-всасывающий способ проветривания с применением пылеотсасывающих установок.

В соответствии со стратегией холдинга приобретаемая мощная проходческая техника оснащается системами пылеподавления (орошения) и пылеотсоса. Нагнетательно-всасывающая схема вентиляции в этом случае преобразуется к виду (рисунок 2).

Проведены работы по запуску пылеотсоса комбайна 12СМ30 в эксплуатацию при проведении комбайном конвейерного ствола шахты. Основные результаты:

1. Пылеотсос комбайна 12СМ30 по основному производственному параметру является работоспособным оборудованием и удаляет 85÷92% пыли. При работе пылеотсоса на рабочем месте машиниста комбайна уровни запыленности составляют 10,6÷36,6мг/м³ при уровнях запыленности без пылеотсоса 123÷188 мг/м³.



Рисунок 1 – Сопоставление эжекторного (слева) и традиционного орошения линии резания (справа)

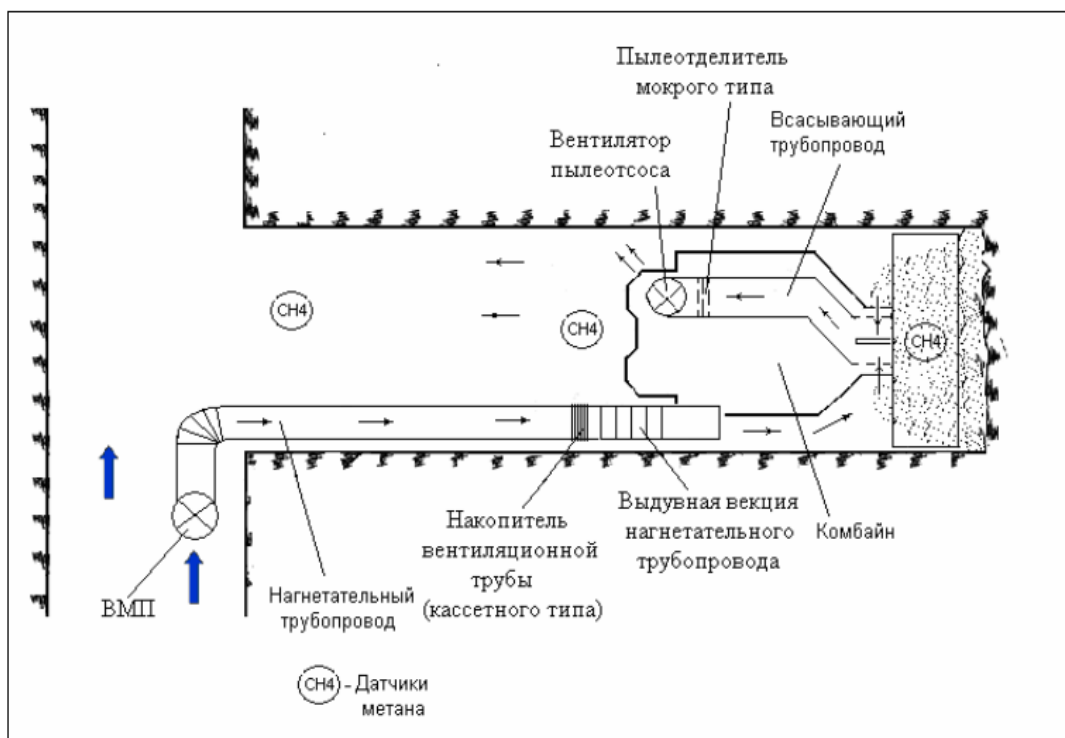


Рисунок 2 - Нагнетательно-всасывающая схема проветривания для встроенного в комбайн пылеотсоса

2. Внедрение аспирационных систем обеспыливания приводит к необходимости оптимизации условий труда по нескольким вредным факторам,

основные из которых – это пыль и шум. Уровень шума на рабочих местах машиниста и операторов крепи (анкероустановщиков) могут превышать нормативы РФ. Это требует проектных решений по шумоподавлению, а также приобретение наушников в исполнении «на каску» с акустической эффективностью 25÷27 дБА.

3. При эксплуатации комбайнов с пылеотсосом необходимо учитывать габариты центрального воздуховода, проводить согласование производительности форсунок с объемами подаваемого воздуха, отрабатывать схему оперативного изменения угла установки рабочих лопаток вентилятора как средство регулирования подачи, ряд других проблем.

Таким образом, результаты внедрения инновационных технологий обеспыливания показывают:

- снижение уровня запыленности на основных рабочих местах с обеспечением нормативных показателей производственного контроля (150 мг/м^3);

- применение систем встроенного пылеотсоса позволяет в 7-12 раз снизить уровни запыленности на рабочих местах в подготовительной выработке. В ряде измерений уровни запыленности на рабочем месте машиниста комбайна приближались к ПДК, равной 10 мг/м^3 ;

- 99,6 % частиц пыли, витающей и откладывающейся в очистных и подготовительных забоях, при работе современных комбайнов имеют размеры 0,16-162,2 мкм. В аспирационных системах различных типов происходит улавливание частиц диаметром 0,16-727,7 мкм, улавливаемая пыль - 29,5-37 мкм. На рабочем месте машиниста комбайна (при применении пылеотсоса) в свободном состоянии находятся частицы размерами 1-41 мкм и доля респираторных фракций пыли не превышает 3 %.

Библиографический список

1. Крумменауэр Э. Оптимизация производительности и безопасности в угольном очистном забое при помощи очистных комбайнов со шнековым исполнительным органом/ Э. Крумменауэр, М. Баструкк //Ежемесячный научно-технический и производительно-экономический журнал, Уголь – 2008. - № 7. - С.19-21.

2. Скочинский А.А. Рудничные пожары [Текст] / А.А. Скочинский, В.М. Огиевский / Москва: из. «Горное дело», 2011 .

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

3. Адаптация методов оценки риска обрушения подземных горных выработок к условиям шахт юга Кузбасса [Текст] / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2016. – № 4. – С. 81–90.

4. Садыков С.Р. Исследование существующих и разработка новых спосо-

бов и средств прогноза и предотвращения внезапных выбросов угля и газа при проведении подготовительных выработок / С.Р. Садыков, А.М. Никитина, С.В.Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – С. 21–23.

5. Разработка технологических решений по обеспечению пылевзрывобезопасного состояния горных выработок в условиях филиала «Шахта «Увальная»/ Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 июня 2018 г. Вып. 22. Ч. III : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – С. 3–8.

УДК 622.261:622.267.52

УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ ШАХТЫ «ОКТЯБРЬСКАЯ»

Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Nik.am_78@mail.ru*

Проведен анализ дегазации угольных пластов. Проанализировано применение схем дегазации на шахтах Кузбасса. Предложен оптимальный способ дегазации выемочных участков в условиях шахты «Октябрьская».

Ключевые слова: дегазация, управление газовыделением, метан, высокогазоносные угольные пласты, газообильность.

Современные угольные предприятия – это комплексно механизированные и автоматизированные предприятия большой производственной мощности с высоким уровнем концентрации и интенсификации производства, имеющие непрерывный поточный характер основных технологических процессов. Примером является эксплуатация крупных, высокомеханизированных шахт, таких как «Распадская», «Большевик», «Полосухинская» и «Есаульская» в Кузбассе.

По геологическим оценкам запасы метана в угленосных толщах в 5-7 раз превышают разведанные запасы природного газа и составляют на угольных месторождениях 100-130 трлн. м³, в том числе в Кузнецком бассейне – 20-25 трлн. м³. Большие запасы метана дают основание рассматривать угольные месторождения как газоугольные.

Рост газообильности шахт создает ощутимые трудности с эффективным использованием высокопроизводительной техники в очистных и подго-

товительных забоях из-за так называемого газового барьера [8].

В связи с этим, все более широкое применение в угольных шахтах находят и будут находить в дальнейшем мероприятия, направленные на предупреждение, снижение или перераспределение газа метана в пределах горных выработок или в период выполнения того или иного технологического процесса и называемые методами управления газовыделением или дегазацией.

Современные технологии заблаговременной дегазации скважинами с поверхности позволяют извлекать до 90 % общего содержания метана. В ряде случаев удается извлекать метан из месторождений со средней метаносностью всего 3 – 4 м³ на тонну угля, при этом часто общая мощность угольного пласта не превышает 3 м. Многие месторождения США отличаются слабой проницаемостью, а некоторые скважины приходится бурить на глубину 1200 – 1300 м [3-5].

Для повышения эффективности проветривания выемочных участков высокогазоносных угольных пластов в ВостНИИ разработан способ снижения метанообильности при помощи поверхностных газоотсасывающих вентиляторов, установленных на устьях вентиляционных скважин. Этот способ обеспечивает надежное и эффективное проветривание высокопроизводительных очистных забоев.

Помимо использования газоотсасывающих вентиляторов, установленных на поверхности, возможно их применение и в подземных условиях. В этом случае ограничивающим фактором являются допустимая концентрация метана на выходе из газоотсасывающего трубопровода (не более 3,5%) при наличии камеры смешения или обособленной выработки для выдачи метановоздушной смеси на поверхность.

Целью исследования является – выбор оптимального способа дегазации выемочных участков в условиях шахты «Октябрьская».

Отработка крыла шахтного поля пласта «Полысаевский 2» производится с применением комбинированной схемы проветривания, реализация которой осуществляется путем отвода части метановоздушной смеси из очистного забоя через выработанное пространство на заднюю сбойку, соединяющую выработанное пространство действующей лавы с поддерживаемой выработкой, в качестве которой используется вентиляционный штрек следующей лавы. На сопряжении данной сбойки с поддерживаемой выработкой оборудуется камера смешивания, где происходит разбавление метановоздушной смеси до допустимой концентрации. Средняя газообильность выемочного участка составляет $I_{уч} = 12,85 \text{ м}^3/\text{мин}$, из которых $I_{оч} = 2,29 \text{ м}^3/\text{мин}$ приходится на газовыделение из разрабатываемого пласта в очистной забой, а $I_{в.п.} = 10,56 \text{ м}^3/\text{мин}$ на газовыделение из пластов-спутников в выработанное пространство.

Учитывая реальный дефицит свежего воздуха для проветривания выработок крыла шахтного поля пласта «Полысаевский 2», отработка очередного выемочного участка может быть серьезно осложнена из-за невозможно-

сти разбавления метана в камере смешивания до допустимой концентрации. Исходя из этого, при сохранении существующей схемы проветривания необходимо предусмотреть дополнительные меры по борьбе с газовыделением из выработанного пространства.

При выборе дополнительных мер по борьбе с газовыделением из выработанного пространства также необходимо ориентироваться на склонность пласта "Полысаевский 2" к самовозгоранию, что ограничивает возможность интенсивного проветривания выработанного пространства.

В сложившихся условиях наиболее приемлемым будет являться метод дегазации выработанного пространства путем отвода метана посредством дегазационного трубопровода, заведенного за изолирующую переемычку в вентиляционном штреке, отделяющую монтажную камеру и групповой штрек. Для осуществления дегазации по системе фланговых выработок фланговый наклонный ствол – вентиляционная печь - групповой штрек прокладывается дегазационный трубопровод диаметром 325мм и заводится через переемычки в выработанное пространство лавы.

Расчет параметров работы дегазационной системы выполнен для двух вариантов дегазации, а именно, отвод метана из выработанного пространства за счет общешахтной депрессии и с помощью вакуум-насосной установки. Первый вариант может быть осуществлен в период от начала отработки выемочного участка и до момента отхода очистного забоя на расстояние до 500м.

Выводы:

- на шахте «Октябрьская» помимо предварительной дегазации пласта, с помощью проведения дегазационных скважин, предлагается применять заблаговременную дегазацию с помощью скважин, проведенных с поверхности. Способом направленного бурения можно достичь снижения газоносности пласта до 50-60%, а газообильности очистного забоя до 80%. В связи с этим значительно увеличится нагрузка на очистной забой;

- при использовании самых современных технологий направленное бурение обеспечит эффективные и практичные методы дренирования метана и проведения разведки до начала горных работ и в процессе добычи;

- использование буровых станков компании «ValleyLongwall» позволит сделать опережающую дегазацию до года.

- осуществление предварительного способа дегазации при длине выработанного пространства до 600-700м может производиться за счет общешахтной депрессии, а при большей длине за счет вакуум-насосной установки, установленной на поверхности у устья флангового наклонного ствола. В качестве вакуум-насосной установки целесообразно применить два параллельных вакуум-насоса типа ВВН-50.

Основным условием использования способов дегазации для добычи метана является обеспечение стабильности дебитов и концентраций метана в дегазационной системе. Применительно к выработанным пространствам для шахты концентрации метана ожидаются стабильны на протяжении всего

срока службы предприятия.

Библиографический список

1. Положение по дегазации угольных шахт России [электронный ресурс] / [http://gendocs.ru/v13276/положение по дегазации угольных шахт России](http://gendocs.ru/v13276/положение_по_дегазации_угольных_шахт_россии).

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

3. Никитин А.И. Универсальный автоматизированный учет измерения длины дегазационных скважин / А.И. Никитин, С.В. Риб, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ.ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. - С. 80-83.

4. Применение современных методов дегазации при отработке пласта Е-5 в условиях ООО "Шахта "Осинниковская" / Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб, М.К. Ларин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сер. "Выпуск 22" Под общ.ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. - С. 23-26.

5. Разработка технических и технологических решений по совершенствованию дегазации с использованием направленного бурения для условий ООО "Шахта "Усковская" / Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб, В.А. Волошин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сер. "Выпуск 22" Под общ.ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. - С. 27-31.

6. Исследования распределения напряжений в породах кровли горной выработки при разных схемах расположения анкеров / Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М. // Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Сибирский государственный индустриальный университет; Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова. 2012. С. 118-126.

7. Разработка технико-технологических решений по повышению темпов проведения подготовительных выработок в условиях "Шахты "Алардинская" / С.А. Савченко, В.А. Воронков, А.М. Никитина, С.В. Риб, Д.М. Борзых, // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. С. 56-60.

8. Чижик Ю.И. К вопросу об управлении энергией земных недр в горном деле / Ю.И. Чижик, А.М. Никитина, С.В. Риб // Наука и молодежь: про-

блемы, поиски, решения Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией. М.В. Темлянцева. 2015. С. 58-60.

УДК 339.564 : [658 : 622]

ДИНАМИКА ДОБЫЧИ И ЭКСПОРТА УГЛЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Курдюков М.О.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Тимофеев А.С.,
Бич Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В статье представлена динамика добычи и экспорта угля РФ,

Ключевые слова: добыча угля, переработка, экспорт.

Россия является одним из мировых лидеров по производству угля она занимает шестое место по объемам угледобычи после Китая, США, Индии, Австралии и Индонезии (на долю России приходится примерно 4,5% мировой добычи).

В пределах Российской Федерации находятся 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Добыча угля ведется в семи федеральных округах, 25 субъектах Российской Федерации. Добыча ведется в семи федеральных округах, 25 субъектах Российской Федерации и показана на рисунке 1.

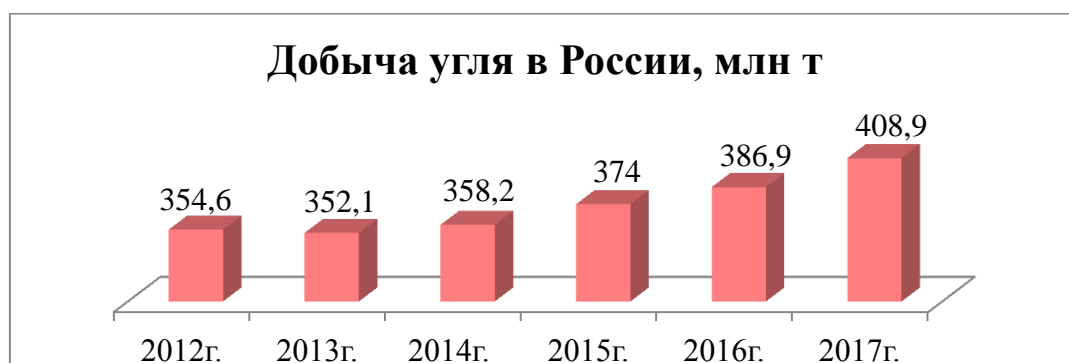


Рисунок 1 – Добыча угля в России в динамике 2012-2017гг.

Фонд насчитывает действующих угледобывающих предприятий России по состоянию на 01.01.2018г. насчитывает 180 предприятий (шахты – 61, разрезы – 119, из них в Кузбассе зарегистрировано 43 шахты и 55 разрезов).

Поквартальная добыча 2017г. показана на рисунке 2.

Добыча угля в России за 2017г. составила 408,9 млн т, по сравнению с 2016 г. добыча возросла на 6% (22 млн т).

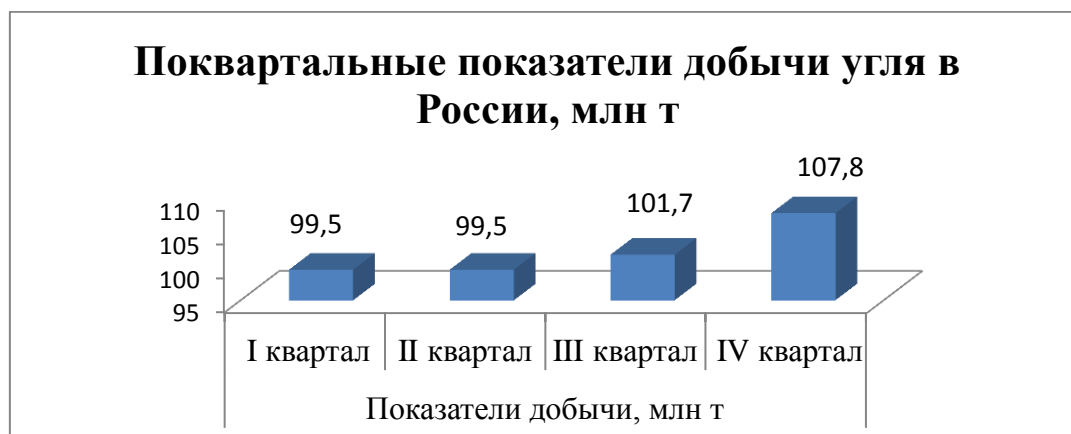


Рисунок 2- Поквартальная добыча 2017года

Переработка угля в отрасли осуществляется на 65 обогатительных фабриках и установках, а также на имеющихся в составе большинства компаний сортировках.

Добыча угля по основным угледобывающим экономическим районам за 2017г. показана на рисунке 3.

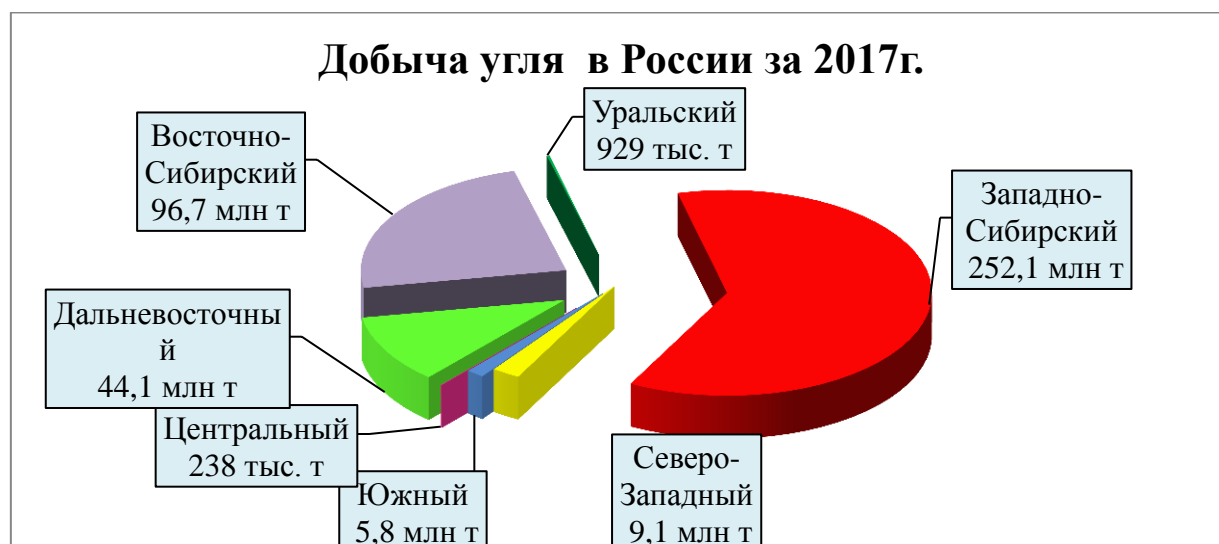


Рисунок 3 - Добыча угля России по экономическим районам за 2017г.

Практически вся добыча угля осуществляется акционерными обществами с частной формой собственности. Наиболее крупные компании по добычи угля показаны на рисунке 4.

Наиболее крупные по добыче угля компании в России в 2017г., тыс. т



Рисунок 4 – Наиболее крупные компании по добычи угля в России

Подземным способом добыто 105,4 млн т угля (на 1,06 млн т , или 1% больше, чем в 2016г.). Добыча угля открытым способом составила 303,5 млн т (на 20,9 млн т, или 7 %, выше уровня 2016г), за 2017г. удельный вес открытого способа в общей добыче составил 74,2%. [4, С. 58]

Уголь потребляется во всех субъектах Российской Федерации. Кузбасс является основным угледобывающим регионом России, базисом для развития промышленности страны и её энергетической безопасности, также Кузбасс является наиболее перспективным по запасам и качеству угля, состоянию инфраструктуры и горнотехническим возможностям. Из угледобывающих регионов самым мощным поставщиком угля является Кузнецкий бассейн - здесь производится более половины (59 %) всего добываемого угля в стране и 73 % углей коксующих марок. Кемеровская область – основной поставщик угля практически во все регионы России, а также в 55 стран мира. Порядка 76% общероссийского экспорта – это уголь Кузбасса.

В Кузбассе добыто 241,1 млн т, что на 13,2 млн т, или 6 % больше по сравнению с предыдущим годом. Показатели добычи угля в Кузбассе за 2013-2017гг. показаны на рисунке 5.

Себестоимость добычи 1 т угля за январь-ноябрь 2017г. составила 1781,41 руб. За год она увеличилась на 254,79 руб.: Внепроизводственные расходы на добычу 1 т увеличились на 114,04 руб. и составили 467,53 руб. Структура себестоимости добычи 1т угля показаны на рисунке 6.

Производительная себестоимость добычи 1 т угля увеличилась на 140,75 руб. и составила 1313,88 руб.:

- материальные затраты составили 738,75 руб./т (рост на 91,49 руб./т);
- расходы на оплату труда – 194,82 руб./т (рост на 17,43 руб./т);
- отчисления на социальные нужды – 72,98 руб./т (рост на 4,25 руб./т);
- амортизация основных фондов – 155,25 руб./т (рост на 3,19 руб./т);

- прочие расходы – 152,68 руб./т (рост на 24,38 руб./т).

Завоз и импорт угля в Россию в 2017г. по сравнению с 2016г. увеличилась на 3,1 млн т, или на 16 % и составили 23,2 млн т.

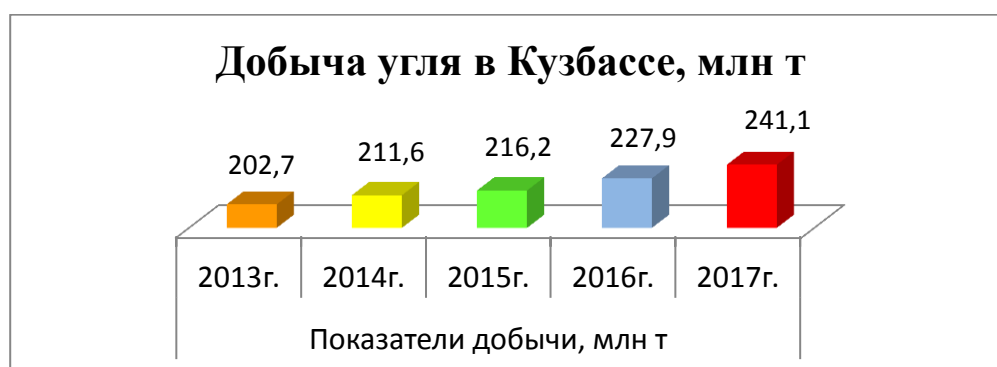


Рисунок 5 - Добыча угля в Кузбассе за 2013-2017гг.

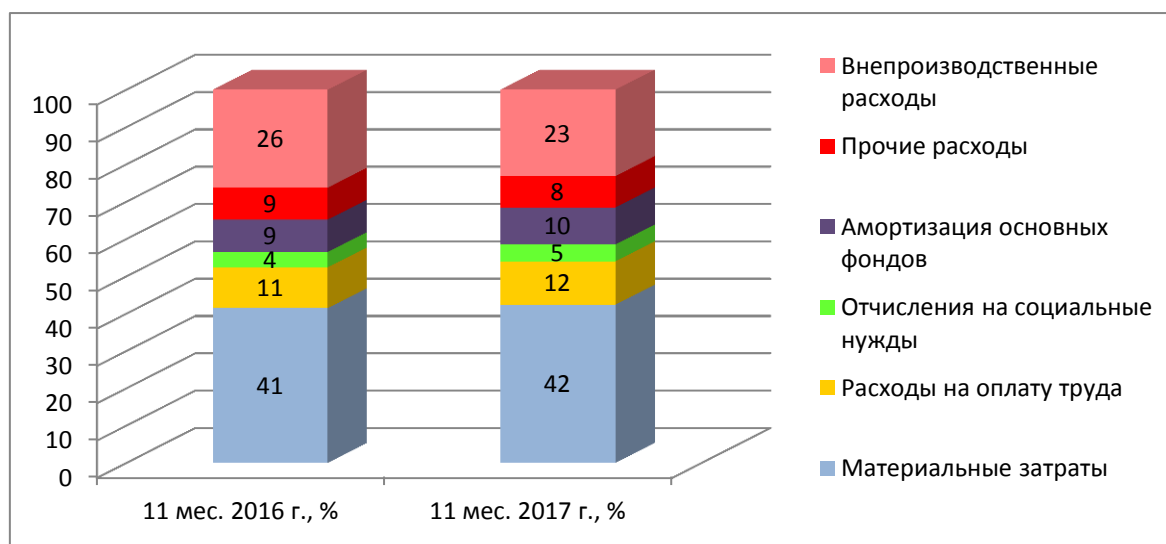


Рисунок 6 – Структура себестоимости добычи 1 тонны угля, %

Объем экспорта российского угля в 2017г., по отчетным данным угледобывающих компаний, составил 186,3 млн т, по сравнению с 2016г. он увеличился на 24 млн т, или на 15 %.

Экспорт составляет 52 % в поставках российского угля. Основная доля экспорта приходится на энергетические угли – 170,2 млн т (91 % общего экспорта углей), доля коксующих углей (16,1 млн т) в общем объеме внешних поставок составила 9 %. Динамика экспорта угля показана на рисунке 7.

Основным поставщиком угля на экспорт является Сибирский ФО (поставлено 165,1 млн т, что составляет 89 % общего экспорта), а среди экономических районов – Западно-Сибирский (поставлено 145,5 млн т, или 78 % общего экспорта), в том числе доля Кузбасса – 73 % общего экспорта (поставлено 135,8 млн т). Экспорт угля по экономическим регионам показан на

рисунке 8.



Рисунок 7 – Динамика экспорта российского угля



Рисунок 8 – Экспортные поставки угля районов России в 2017г.

Из общего экспорта основной объем угля отгружался в страны дальнего зарубежья – 171 млн т (92 % общего объема экспорта), что на 23,2 млн т больше, чем годом ранее. В страны ближнего зарубежья поставлено 15,3 млн т (8 % общего объема экспорта), что на 0,8 млн т больше, чем в 2016г. В течение всего 2017г. отмечались небольшие колебания цен на энергетический уголь, как в сторону снижения, так и в сторону повышения, в пределах 3-7 %. В декабре 2017 г. (по сравнению с предыдущим месяцем) зафиксирован рост цен на энергетический уголь. [4, С. 69]

Несмотря на сложнейшую обстановку на мировых и российских рынках, инвестиции, направленные в развитие угольной отрасли Кузбасса, в 2017 году составили более 55 млрд руб., в том числе на обеспечение промышленной безопасности направлено 4,3 млрд руб.

Уголь на сегодняшний день является главным стратегическим энерго-ресурсом – это гарант энергетической безопасности подавляющего большин-

ства стран мирового сообщества. В системе отраслей народного хозяйства топливно-энергетическая отрасль является одной из приоритетной, поскольку решает проблему энергетической безопасности страны, что особенно остро стоит в условиях нестабильной экономической среды, резкого падения курса рубля, инфляционных процессов. Благодаря отраслям ТЭКа функционирует экономика России и получает «львиную» долю валютной выручки, создаются комфортные условия жизнедеятельности граждан страны. Кузбасс обуславливает глобальную роль фактора влияния на экономическую безопасность как региона, так и страны в целом. Однако существуют факторы риска, сдерживающие развитие топливно-энергетического комплекса.

Они являются одновременно и источником угроз энергетической безопасности страны. В рыночных условиях стратегически важным фактором экономической безопасности углеэнергетической компании является ее финансовая устойчивость и конкурентоспособность. При этом выделяют основные направления развития отечественного горного комплекса - это вопросы привлечения инвестиций и совершенствования отраслевого законодательства, развитие стимулирующих механизмов для эффективного использования техногенных месторождений и реализаций проектов переработки минерального сырья.

Что бы конкурировать на мировом рынке в первую очередь необходимо снижать себестоимость добычи угля. На это влияет инновационная деятельность предприятия. На данный момент созрела необходимость применения радикальных обновлений отраслевой базы предприятия.

В системе отраслей народного хозяйства топливно-энергетическая отрасль является одной из приоритетной, поскольку решает проблему энергетической безопасности страны, что особенно остро стоит в условиях нестабильной экономической среды, резкого падения курса рубля, инфляционных процессов. Благодаря отраслям ТЭКа функционирует экономика России и получает «львиную» долю валютной выручки, создаются комфортные условия жизнедеятельности граждан страны. Кузбасс обуславливает глобальную роль фактора влияния на экономическую безопасность как региона, так и страны в целом. Однако существуют факторы риска, сдерживающие развитие топливно-энергетического комплекса. Они являются одновременно и источником угроз энергетической безопасности страны. В рыночных условиях стратегически важным фактором экономической безопасности углеэнергетической компании является ее финансовая устойчивость и конкурентоспособность. При этом выделяют основные направления развития отечественного горного комплекса - это вопросы привлечения инвестиций и совершенствования отраслевого законодательства, развитие стимулирующих механизмов для эффективного использования техногенных месторождений и реализаций проектов переработки минерального сырья.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРОВ МАРКИ АСГ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Паринов Д.В., Абдуалиев М.В.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Развитие арктических территорий ставит перед проектными организациями ряд задач, связанных с особыми условиями ведения работ в условиях вечной мерзлоты и тяжелого арктического климата. Авторами статьи предлагается применение термостабилизаторов для пассивного охлаждения грунта мерзлых пород в летний период, для предотвращения оттаивания грунтов под основаниями промышленных зданий и сооружений.

Ключевые слова: Термостабилизаторы, вечная мерзлота, Арктика, укрепление грунта.

В настоящее время остро стоит вопрос по освоению арктических месторождений, в которых сосредоточены две трети всех ресурсов России, по некоторым оценкам Арктика содержит 25% всех энергоресурсов, существующих на нашей планете.

Несмотря на столь большие запасы, и то что Арктика является одним из важнейших регионов России с экономической точки зрения, существует ряд проблем с реализацией проектов в Арктической зоне, в первую очередь это суровые климатические условия.

Температура в зимний период может достигать до -40°C . Продолжительный период низких температур в результате которых земля не успевала оттаять, привел к образованию вечной мерзлоты на территории Арктики. За последние 30 лет, температура повысилась в среднем на 3°C , что приводит к подтаиванию вечной мерзлоты в летний период.

Наличие вечной мерзлоты обуславливает проблемы строительства промышленных бытовых объектов в рассматриваемых районах. Грунт имеет свойства менять свою структуру. Рыхлые грунты ведут себя весьма непредсказуемо под влиянием нагревания под возведенными сооружениями. В следствии чего происходит подтаивание и смещение грунта. Строить основания для промышленных зданий и сооружений можно только при поддержании постоянной температуры грунта. Для этих целей лучше использовать пассивное охлаждение, так как поддержание низкой температуры путем пассивного охлаждения, обуславливается как правило более быстрой окупаемостью в отличии от активных систем охлаждения.

В качестве пассивного охлаждения подходит использование термостабилизаторов марки АСГ, представляющих собой герметичную неразъемную

сварную конструкцию, заправленную охлаждающей жидкостью. Общая длина термостабилизаторов от 7 до 24 м. Глубина подземной части до 21 м. Высота наземной конденсаторной части с алюминиевым оребрением до 3 м. Термостабилизаторы устанавливают в грунт вертикально, наклонно или слабонаклонно.

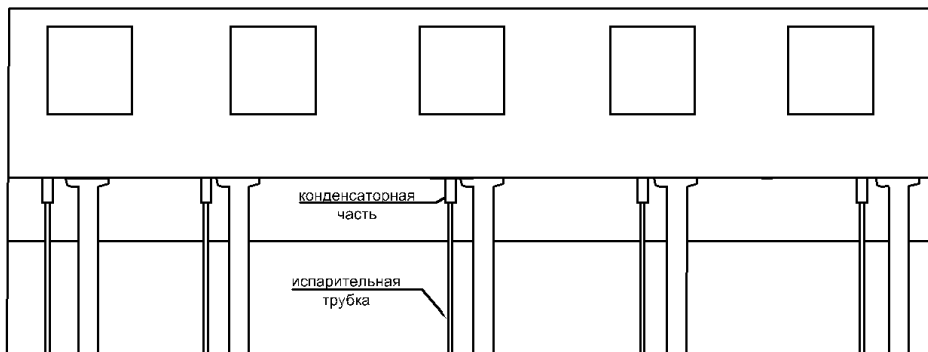
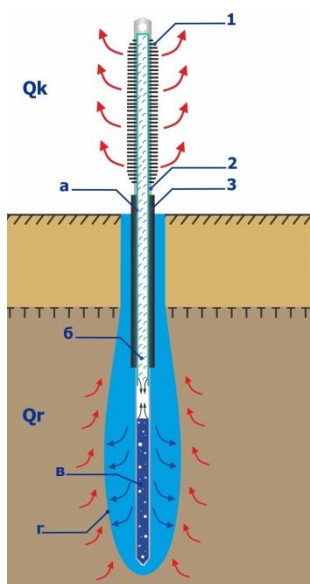


Рисунок 1 – Термостабилизаторы

Конструкция содержит гравитационные тепловые трубы, горизонтальные испарительные секции которых, расположенные ниже уровня грунта под охлаждаемым зданием или сооружением, соединены посредством транспортных зон с вертикальными конденсаторными секциями, расположенными над уровнем грунта.



- 1 – конденсатор, 2 – корпус испарителя, 3 – теплоизоляция
- а – пленка конденсата, б – парообразный хладагент,
- в – жидкий хладагент, г – граница промерзания грунта
- Q_г – тепло, проводимое от грунта к испарителю;
- Q_к – тепло, проводимое от конденсатора в окружающую среду

Рисунок 2 – Термостабилизатор в разрезе

Применение термостабилизаторов марки АСГ позволяет увеличить площадь пятна заморозки, оптимизировать количество термостабилизаторов на единицу замораживаемой площади и обеспечить экономию материальных и трудовых ресурсов, а также сократить время строительных работ.

Библиографический список

1. Перспективы развития Арктического шельфа [Электронный ресурс] : Режим доступа свободный : <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/perspektivy-osvoeniya-arkticheskogo-shelfa/>
2. Пат. 155180 РФ. Конструкция для термостатирования грунтов под зданиями и сооружениями / Миронов И.А., Ибрагимов Э.В. // Оpubл. – 2015. – №27. – 10 с.
3. Технологии разработки угольных пластов Кузбасса // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк, 2014. С.29-35.

УДК 622.062 : 622-1/-9

БУРОВАЯ ШТАНГА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОЕ УДАЛЕНИЕ ШЛАМА ПРИ БУРЕНИИ ШПУРОВ

Корнеев П.А., Корнеев В.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Дворников Л.Т.

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

В статье рассматриваются вопросы удаления шлама при бурении шпуров вращательным способом. Авторы приводят описание конструкции разработанной буровой штанги, особенностью которой является выполнение поперечного сечения в виде треугольника Рело. Производится сравнение экспериментальной штанги с серийно выпускаемой ШБТ 23-L/23-M16.

Ключевые слова: буровая штанга, буровая мелочь, вращательное бурение, треугольник Рело.

При вращательном бурении шпуров имеет место образование буровой мелочи в забое шпура, которая оказывает отрицательное влияние на процесс бурения. Некачественное удаление выбуренной горной породы влечет за собой увеличение энергоемкости процесса бурения ввиду переизмельчения породы, а также приводит к повышенному пылевыведению.

Ввиду этого, разработка конструкторско-технологических решений, способствующих повышению эффективности отвода буровой мелочи из шпура, является актуальной научно-практической задачей.

В настоящее время для решения этой проблемы используются:

- промывка шпуров водой;
- продувка шпуров сжатым воздухом;
- вакуумный отсос буровой мелочи;
- специальные конструкции горного инструмента (витые резцы, шнековые и витые штанги).

Сотрудниками Сибирского государственного индустриального университета в рамках выполнения гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых – кандидатов наук была разработана штанга для бурения шпуров вращательным способом [1], конструктивное исполнение которой обеспечивает эффективное удаление шлама в процессе бурения.

Буровая штанга состоит из следующих частей (рисунок 1): 1 – тело штанги, 2 – хвостовик, 3 – замок для крепления резца. Особенностью ее конструкции является форма поперечного сечения, выполненного в виде треугольника Рело [2].

Треугольник Рело представляет собой выпуклую кривую постоянной ширины, образованную тремя дугами окружностей радиуса R (рисунок 2) [3]. Такое сечение буровой штанги обеспечивает существенное увеличение ее продольной и поперечной жесткости. К тому же, поперечное сечение штанги по овальной кривой не содержит по периметру сечения концентраторов напряжений.

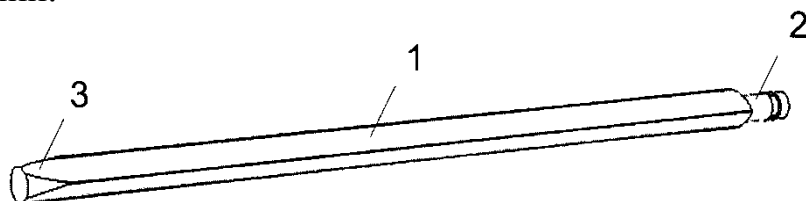


Рисунок 1 – Экспериментальная буровая штанга [1]

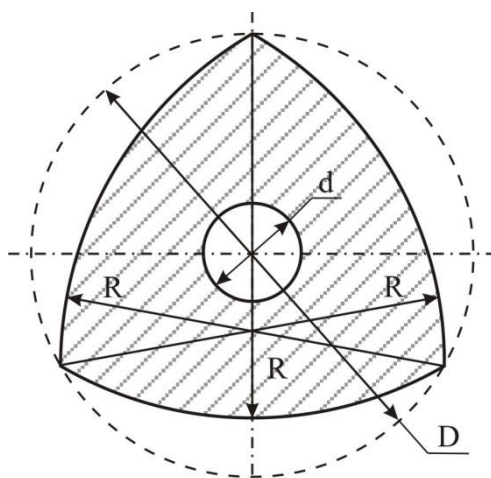


Рисунок 2 – Поперечное сечение экспериментальной буровой штанги [1]

Наиболее близким аналогом разработанной конструкции буровой штанги является штанга ШБТ 23-L/23-M16, серийно выпускаемая предприятием ООО «Горный инструмент» [4]. Штанга имеет трехгранный профиль поперечного сечения (рисунок 3) и изготавливается из стали 40ХГСМА. Форма канала для подачи промывочной жидкости не регламентируется. В соответствии с информацией, приводимой производителем, достоинством штанги ШБТ 23-L/23-M16 является эффективный вывод шлама из шпура. Штанга предназначена для крепления резца, имеющего хвостовик с резьбой M16.

Для оценки эффективности отвода буровой мелочи из шпура экспериментальной штангой с поперечным сечением в форме треугольника Рело в сравнении с серийно выпускаемой штангой ШБТ 23-L/23-M16, авторами было осуществлено вычисление площади свободного пространства в шпуре, через которое осуществляется удаление шлама в процессе бурения. Под площадью свободного пространства авторы понимают площадь пространства между телом штанги и поверхностью шпура. Расчет был составлен для случая бурения шпура под анкерное крепление резцами типа РПУ-30/M16, РПА 30-3/M16 [5], т.е. диаметр пробуренного шпура был принят 30 мм. При проведении исследования использовалась компьютерная программа трехмерного проектирования Компас-3D. Размеры поперечного сечения экспериментальной штанги были приняты следующие: $R=23,5$ мм, $D=27$ мм. Диаметр промывочного отверстия d был задан 6 мм (рисунок 2).

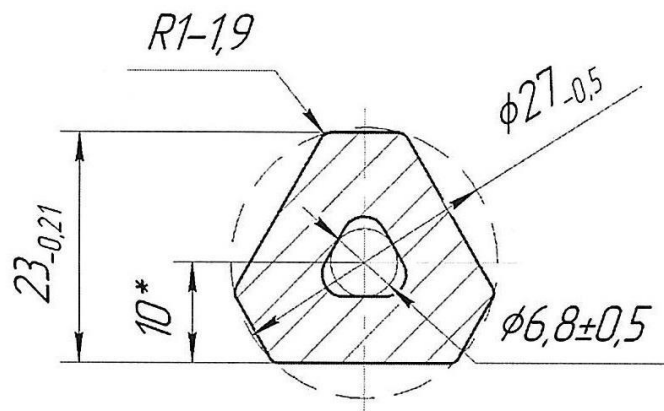


Рисунок 3 – Поперечное сечение штанги ШБТ 23-L/23-M16

Расчеты показали, что экспериментальная штанга в процессе бурения обеспечивает площадь свободного пространства $321,6 \text{ мм}^2$, а штанга ШБТ 23-L/23-M16 – $288,4 \text{ мм}^2$.

Полученные данные свидетельствуют о том, что разработанная буровая штанга обеспечивает более эффективное удаление шлама в процессе бурения в сравнении с серийно выпускаемым аналогом. Произведенные расчеты могут являться одним из оснований для внедрения в производство буровых штанг, имеющих форму поперечного сечения в виде треугольника Рело.

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых-кандидатов наук № МК-6689.2018.8.

Библиографический список

1. Патент 2681164 РФ, МПК E21B 17/00, E21B 3/00. Буровая штанга для вращательного бурения шпуров [Текст] / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., Корнеев П.А. – №2018109159; заявл. 12.03.2018; опубл. 04.03.2019. – 3 с.: ил.
2. Математическая энциклопедия [Текст]. В 5 т. Т.4 / Под ред. И.М. Виноградова. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 1216 с.
3. Математика. Большой энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 848 с.: ил., с. 478
4. Штанги для вращательного бурения [Электронный ресурс]: ООО Горный инструмент. – Режим доступа: <http://www.grins.ru/products/tools/drilling-rods/>. – Загл. с экрана.
5. Резцы для вращательного бурения [Электронный ресурс]: ООО Горный инструмент. – Режим доступа: <http://www.grins.ru/products/tools/rotation-drill-bits/>. – Загл. с экрана.

III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 669.053

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМА ИЗ ХРОМОВЫХ РУД УСПЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Павлов В.Е.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Рожихина И.Д.

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

Насущной проблемой Российской ферросплавной промышленности связанной с производством феррохрома является отсутствие надежной сырьевой базы, поскольку на территории Российской Федерации не представляется возможным использовать богатые месторождения в связи с рядом трудностей в разработке месторождений Приполярного Урала. В работе исследовалась кинетика восстановления хрома из хромовых руд Успенского месторождения.

Ключевые слова: феррохром, успенское месторождение, хромовые руды, исследование кинетики восстановления.

В странах СНГ (Казахстан, Россия) имеются достаточно большие разведанные и разработанные месторождения хромовых руд. Металлургическая, огнеупорная и химическая промышленности полностью обеспечены рудами хрома. Хромовые руды частично экспортируются на международный рынок.

Добыча хромитовой руды в Российской Федерации находится на уровне 530-550 тыс. т/год при содержании Cr_2O_3 в концентрате 37-39 %. Новые месторождения в эксплуатацию не вводятся, а балансовые запасы ($A+B+C_1+C_2$) составляют 51,2 млн.т, прогнозные ресурсы – более 540 млн.т. Добыча руды осуществляется в настоящее время на месторождениях Саранска (Урал, Пермская область) и Центральном (Полярный Урал, массив Рай-Из, Ямало-Ненецкий АО). К перспективным относятся западное месторождение Рай-Из и Аганозерское (Республика Карелия).

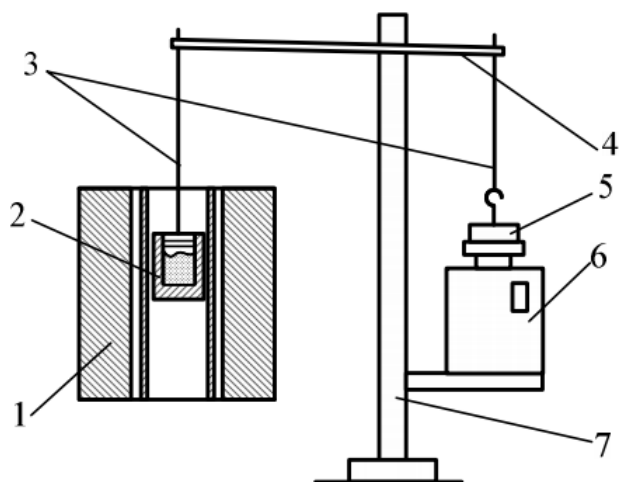
На границе между Алтайским краем и Кемеровской областью располагается Успенское рудопроявление содержание в себе хромовые руды с содержанием Cr_2O_3 до 52,44 %. В связи с наличием столь перспективного месторождения необходимо провести исследования восстановительной способности хромовых руд Успенского месторождения. Химический состав хромовых руд Успенского, Кимперсайского и Саранского месторождений приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав руды рудопроявления Успенского, Кимперсайского и Саранского месторождений

Содержание, мас. %	Руда		
	Успенское рудопроявление	Кимперсайское месторождение	Саранское месторождение
Cr ₂ O ₃	52,44	53,83	37,42
FeO _{общ}	13,7	11,84	20,09
Al ₂ O ₃	12,68	7,96	20,86
MgO	11,97	18,01	15,22
SiO ₂	7,2	6,47	5,22
CaO	0,18	0,32	0,2
S	Не опр.	0,015	0,45
P	0,004	0,002	Не опр.
Cr ₂ O ₃ /FeO _{общ}	3,8	4,5	1,8
MgO/Al ₂ O ₃	0,94	2,26	0,72

Для изучения степени восстановимости хромовых руд Успенского месторождения воспользуемся методом непрерывного взвешивания взаимодействующих реагентов. Данный метод не является самым точным для изучения восстановления оксидов углеродом, однако он позволяет оценить влияние типа применяемого восстановителя и температуры на скорость восстановления. Также позволяет сравнить скорость восстановления различных хромитов из оксидов углеродом в одних и тех же условиях. Аппаратурное оформление установки по этому методу приведено на рисунке 1.

Методика проведения эксперимента заключается в следующем: графитовый тигель с навеской оксида, смешанного с восстановителем (графитом, коксом, полукоксом и т.д.), помещается в электропечь с графитовым нагревателем, заранее разогретую до температуры опыта. С помощью подвески (графитовой и молибденовой) тигель подвешивается за рабочий конец разноплечего коромысла (соотношение плеч 3:1) таким образом, чтобы он не касался стенок нагревателя и каких-либо предметов внутри печи. На противоположный конец коромысла подвешивается контргруз так, чтобы уравновесить вес тигля с шихтой, и, в то же время, чашка весов, на которую опирается груз, не должна находиться в крайнем нижнем положении. Должен обеспечиваться определенный ход чашки весов для регистрации изменения веса тигля в процессе опыта. Вес тигля в процессе опыта будет уменьшаться, контргруз будет сильнее давить на чашку весов и, таким образом, можно учитывать изменение веса навески шихты в тигле. Записывая показания весов через определенные интервалы времени, получают исходные данные для построения кинетических кривых восстановления оксидов и последующих расчетов.



1 - электропечь с графитовым нагревателем; 2 - графитовый тигель с шихтой; 3 - подвеска; 4 - коромысло; 5 - контргруз; 6 - весы электрические; 7 - опорная стойка

Рисунок 1 - Принципиальная схема установки

Состав хромовой руды Успенского месторождения приведен в таблице 1.

В качестве восстановителей применяли кокс и тощий уголь.

Эксперименты проводились при температурах 1650С и 1700С.

После проведения исследований результаты были обработаны и представлены на рисунках 2 и 3.

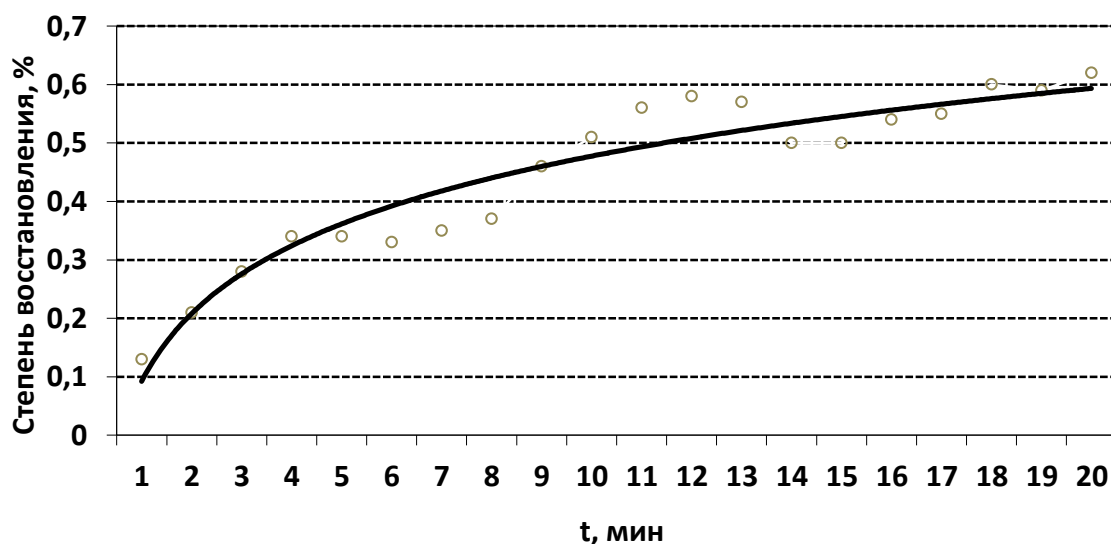


Рисунок - 2 Зависимость степени восстановления от времени при температуре 1650С (восстановитель-кокс)

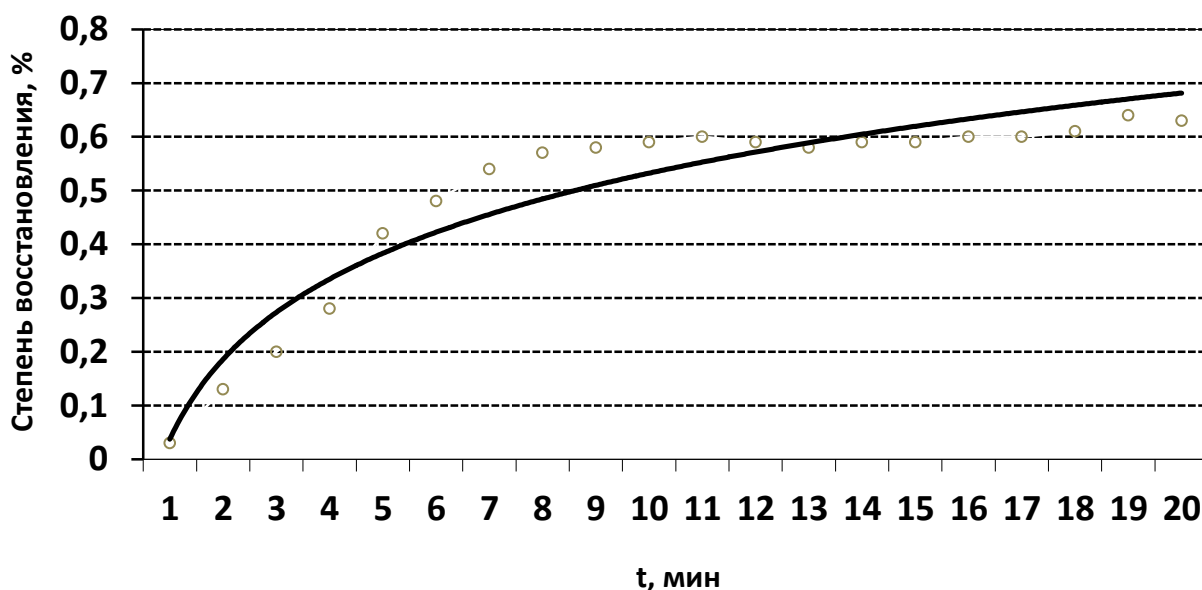


Рисунок - 3 Зависимость степени восстановления от времени при температуре 1650С (восстановитель-тощий уголь)

После завершения эксперимента, содержимое тигля дробили, разделяли на металлическую и шлаковую фазы, и отправляли на химический и рентгенофазовый анализы.

Результаты химического анализа металлической части приведены в таблице 2.

Таблица - 2 Результаты химического анализа

Номер пробы		Массовая доля элементов, %			
		Fe _{общ}	Si	C	Cr
1	2056	13,2	-	2,39	41,3
2	2066	14,1	-	2,54	44,81
3	2086	18,1	-	9,78	42,17

Результаты рентгенофазового анализа показали, что при температуре 1650С имеет место слабое карбидобразование, в основном восстанавливается из хромпикотита лишь железо, а зерна хромпикотита увеличиваются в размерах и изменяется ориентация зерен хромпикотита. Так как третья проба получена при более высокой температуре (1700 °С), началось образование карбидов, что соответствует термодинамическому анализу восстановления хрома из его оксида.

Хромовая руда Успенского рудопроявления представляет собой хромовую руду с тугоплавкой породой, с содержанием Cr₂O₃>50% что позволит выплавлять стандартный углеродистый феррохром на территории России. В качестве восстановителя можно использовать кокс, а также частично заменять его некоторыми марками каменных углей, в частности тощим углем.

Библиографический список

1. Технология низкоуглеродистого феррохрома: монография / В.Н. Карноухов [и др.] / Екатеринбург: РАН УрО Институт металлургии, 2001-481с.
2. Получение никель и хромсодержащих ферросплавов из отечественного сырья / О.В. Заякин [и др.] / труды XIV международного конгресса сталеплавильщиков и производителей металла-Москва-Электросталь, 2017- с 290-292.

УДК 669.184

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ ПРОДУВКИ

Денисов Я.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

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

Проведенными металлографическими исследованиями конвертерной стали текущего производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено, что наиболее распространенными неметаллическими включениями являются силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. При этом загрязненность неметаллическими включениями в значительной степени определяется химическим составом стали на выпуске, а именно содержанием углерода и марганца в стали.

Ключевые слова: конвертерная сталь, продувка, окисленность, оксиды, силикаты.

Согласно общепринятым представлений одной из наиболее существенных характеристик качества стали является ее загрязненность неметаллическими включениями. Наличие скоплений неметаллических включений приводит к образованию внутренних (расслой) и поверхностных (трещины) дефектов слитков и получаемого из них готового проката. По данным многочисленных работ [1-7] одним из факторов, в значительной степени определяющих загрязненность конвертерной стали неметаллическими включениями в конце продувки является содержание в ней свободного кислорода, то есть окисленность стали. От окисленности стали зависит количество образующихся при последующем раскислении неметаллических включений.

В представленной работе приведены результаты полуколичественного анализа состава неметаллических включений конвертерной стали производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и влияния химического состава стали на процессы образования неметаллических включений. Для проведения исследований использовали оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» ФГТБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», в частности металлографический микроскоп OLIMPUS GX-51,

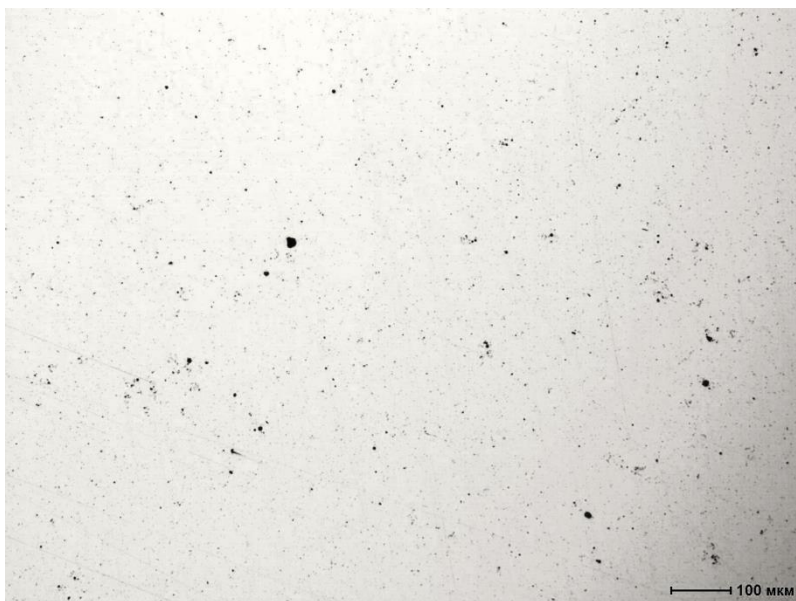
оснащенный цифровой металлографической камерой и предназначенный для получения в отраженном свете светлопольных изображений микроструктуры, а также изображений в поляризованном свете и рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр Shimadzu XRF-1800. Отбор проб жидкого металла для проведения исследований производили после окончания продувки с использованием одноразовых погружных пробоотборников. Анализ неметаллических включений в пробах проводили с использованием стандартной методики полуколичественного анализа по ГОСТ 1778-70 (при увеличении в 100 крат.). Сущность указанной методики заключается в сравнении наблюдаемых в нетравленном микрошлифе включений со стандартными эталонными пятибалльными шкалами. При этом шкалы охватывают неметаллические включения нескольких видов, наиболее часто встречающихся в стали (оксиды строчечные, оксиды точечные, силикаты хрупкие, силикаты пластичные, силикаты недеформирующиеся, сульфиды, нитриды и карбонитриды строчечные, нитриды и карбонитриды точечные, нитриды алюминия). Применяемые для оценки шкалы являются пятибалльными. При этом наименее загрязнённый металл оценивается баллом 1, а наиболее загрязнённый – баллом 5. В основу первого балла положена определенная площадь, занимаемая включениями и возрастающая при переходе к последующим баллам в геометрической прогрессии с множителем 2.

По полученным в результате металлографического анализа данным наиболее распространенными видами неметаллических включений являются силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные: указанные виды неметаллических включений зафиксированы во всех анализируемых пробах (таблица 1).

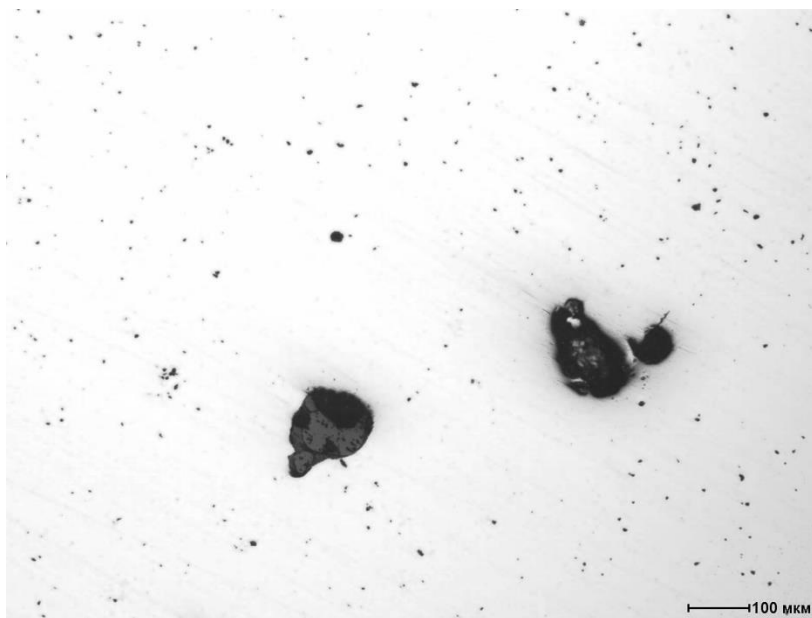
Таблица 1 – Результаты металлографических исследований проб конвертерной стали до раскисления

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями по видам, максимальный балл			
	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты пластичные	Оксиды точечные	Оксиды строчечные
1	3 а, 3 б	-	2 а	-
2	3 а	-	2 а	-
3	5 а	-	3 а	-
4	2 б	3 а	4 а	-
5	3 б;	-	4 а	4 а
6	3 б	-	4 а	-
7	2 б	-	2 а	-
8	3 а	-	1 а	-
9	1 а; 1 б	-	2 а	-
10	2 б	-	2 а	-
11	4 а; 4 б	-	1 а	-
12	2 б	1 а	1 а	-

При этом загрязненность такими включениями существенно отличается от балла 1 а (единичные включения минимально фиксируемого размера) до баллов 4 б (множественные крупные включения) и 5 а (наиболее крупные единичные включения) – рисунок 1. Силикаты пластичные в виде единичных включений присутствуют только в 2-х пробах, оксид строчечный выявлен только в одной пробе.



а

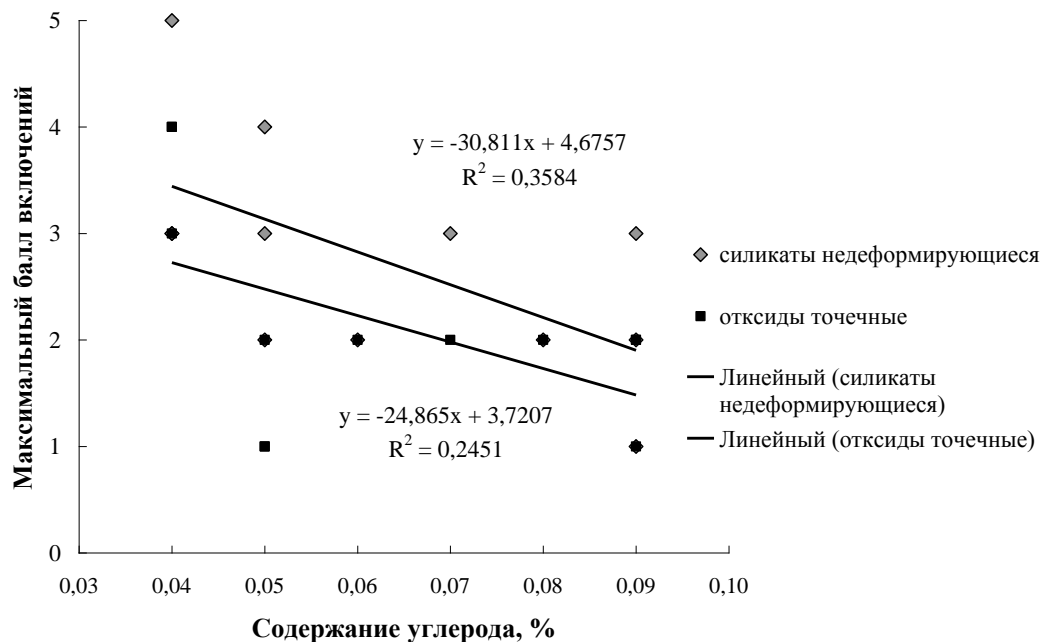


б

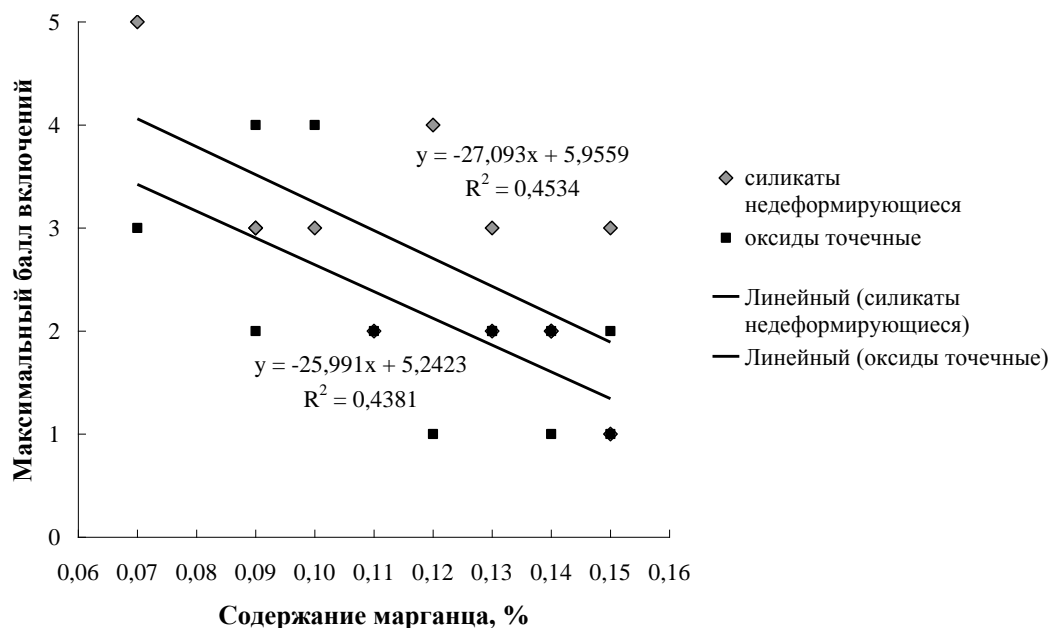
а – силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные балл 1 а;
б – силикаты недеформирующиеся балл 5 а и оксиды точечные балл 2 а;

Рисунок 1 – Неметаллические включения в конвертерной стали

С целью анализа влияния химического состава стали на загрязненность неметаллическими включениями проведены дополнительные исследования. По полученным данным повышение содержания углерода на выпуске от 0,04 до 0,09 % и марганца от 0,07 до 0,15 % обуславливает значимое снижение загрязненности неметаллическими включениями (рисунок 2).



а



б

Рисунок 2 – Влияние содержания углерода (а) и марганца (б) в стали на выпуске из конвертера на загрязненность неметаллическими включениями

При этом если влияние углерода на содержание и активность кислорода в конвертерной стали очевидно и не требует пояснений, то влияние марганца обусловлено замедлением процесса кипения в конце продувки при низком (менее 0,08-0,10 %) содержании углерода, что подтверждается данными работ [2, 3]. Повышение концентрации марганца в стали в конце продувки приводит к снижению содержания кислорода, что объясняется обратной зависимостью между активностью закиси железа в шлаке и содержанием марганца в металле [4-7].

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что повышение содержания углерода и марганца в стали на выпуске из конвертера способствует снижению загрязненности стали неметаллическими включениями в виде силикатов недеформирующихся и оксидов точечных.

Библиографический список

1. Казачков Е.А. Окисленность конвертерной ванны в конце плавки низкоуглеродистой стали / Е.А. Казачков, В.В. Климанчук // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2008. – Вып.18. – С. 41-43.
2. Назюта Л.Ю. Анализ окисленности конечного металла при выплавке стали в большегрузных конвертерах / Л.Ю. Назюта, В.С. Денисенко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2011. – Вып.22. – С. 68-76.
3. Гальперин Г.С. Исследование окисленности стали в 350-т конвертерах / Г.С. Гальперин, А.К. Бученков, А.И. Александров, В.В. Болотников // Сталь. – 1996. – №1. – С. 28-29.
4. Баптизманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса / В.И. Баптизманский. – М.: Металлургия, 1975. – 376 с.
5. Баптизманский В.И. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса: монография / В.И. Баптизманский, В.Б. Охотский. – Киев; Донецк: Вища школа, 1981. – 184 с.
6. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: учебник / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2006. – 454 с.
7. Шишкин Ю.И. Теория и технология конвертерных процессов / Ю.И. Шишкин, А.К. Торговец, О.А. Григорова. – Алматы: Ғылым, 2013. – 192 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ЦЕХЕ НА КАЧЕСТВО
ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ)**

Решетнев О.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

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

По результатам комплексных статистических исследований, проведенных для условий электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК», получены научно-обоснованные данные о количественном влиянии технологических параметров выплавки и внепечной обработки рельсовой стали марки Э76ХФ на отбраковку готовых рельсов.

Ключевые слова: рельсовая сталь, множественный регрессионный анализ, дуговая электропечь, внепечная обработка, ультразвуковой контроль

Проведенная реконструкция рельсового производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (строительство нового универсального рельсобалочного стана, модернизация оборудования электросталеплавильного цеха) позволила существенно повысить качество рельсовой продукции, однако при этом отмечаются существенные проблемы, связанные с высоким уровнем отбраковки рельсов. Решение указанной проблемы требует соответствующей теоретической проработки процессов формирования качества рельсовой продукции.

С целью получения научно-обоснованных зависимостей качества рельсов от технологических параметров производства рельсовой стали в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» проведены комплексные статистические исследования. Использована стандартная методика множественного регрессионного анализа, эффективность применения которой ранее неоднократно подтверждена при анализе влияния металлургических параметров на качество готовой продукции [1-4].

На основании имеющихся литературных данных, а также с учетом фактически фиксируемых в паспортах плавок электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» параметров для анализа выбраны следующие технологические факторы:

- доля чугуна в металлозавалке;
- температура выпуска стали из дуговой сталеплавильной печи (ДСП);
- химический состав стали на выпуске;
- длительность обработки стали на агрегате «ковш-печь» (АКП);
- продолжительность продувки аргоном при обработке на АКП;
- интенсивность продувки аргоном при обработке на АКП;

- температура стали после обработки на АКП;
- химический состав стали после обработки на АКП;
- основность и окисленность шлака при обработке на АКП (первая и вторая пробы);
- продолжительность обработки на вакууматоре;
- длительность продувки при обработке на вакууматоре;
- химический состав стали после обработки на вакууматоре;
- химический состав готовой стали.

В качестве объекта исследований использовали случайную выборку из 200 плавок рельсовой стали марки Э76ХФ. Выбор указанной марки стали обусловлен ее наибольшей долей в общем производстве. В качестве параметра оптимизации выбрали отбраковку рельсов на установке «мокрого» ультразвукового контроля (МУЗК).

По результатам анализа выявлено, что значимое влияние на брак МУЗК оказывают следующие факторы:

- содержание серы на выпуске из ДСП;
- длительность продувки при обработке на АКП;
- основность шлака при обработке на АКП;
- содержание водорода в стали после вакуумирования;
- содержание меди в готовой стали;
- содержание олова в готовой стали.

Уравнение регрессии в натуральном масштабе со значащими коэффициентами имеет вид:

$$B_{МУЗК} = 20,5 + 30,23 \cdot [S]_{ВЫП} - 0,03 \cdot D_{ПРОД} - 1,16 \cdot (Осн_{АКП}) + 7,70 \cdot [H] + 31,12 \cdot [Cu] + 210,86 \cdot [Sn],$$

где $B_{МУЗК}$ – отбраковка рельсов на МУЗК, %;

$[S]_{ВЫП}$ – содержание серы в стали на выпуске из ДСП, %;

$D_{ПРОД}$ – продолжительность продувки при обработке на АКП, %;

$(Осн_{АКП})$ – основность шлака при обработке на АКП, %;

$[H]$ – содержание водорода в стали после вакуумирования, ppm;

$[Cu]$ – содержание меди в готовой стали;

$[Sn]$ – содержание олова в готовой стали.

Из полученного уравнения регрессии видно, что повышение основности шлака и увеличение длительности продувки стали на АКП при обработке на АКП снижает отбраковку рельсов на МУЗК, а повышение содержание серы в стали на выпуске из ДСП, водорода в стали после вакуумирования, меди и олова в готовой стали увеличивает брак.

В количественном выражении степень влияния указанных факторов в рассматриваемом интервале их изменения составила:

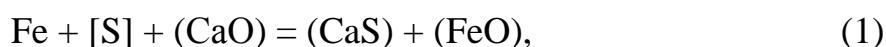
- повышение содержание серы в стали на выпуске из ДСП с 0,019% до 0,078% приводит к увеличению отбраковки рельсов на 1,8 %;
- увеличение продолжительности продувки аргоном при обработке на

АКП с 7,2 мин. до 268 мин. приводит к снижению брака рельсов на 8,6 %;

- повышение основности шлака при обработке на АКП от 1,2 до 5,1 позволяет снизить отбраковку рельсов на 7,1 %;
- увеличение содержания водорода в стали с 0,6 ppm до 1,5 ppm приводит к повышению отбраковки рельсов на 6,9 %;
- повышение содержания меди в готовой стали с 0,06 % до 0,16 % увеличивает брак рельсов на 3,1 %;
- увеличение содержания олова в готовой стали с 0,003 % до 0,014 % обуславливает повышения отбраковки рельсов на 2,3 %.

Влияние содержания серы в стали на выпуске из ДСП на уровень брака связано с выделением ее из раствора в виде включений сульфидов FeS или оксисульфидов FeS-FeO в процессе охлаждения, что обусловлено изменением растворимости серы при понижении температуры. Оплавление оксисульфидов и сульфидов по границам зерен при последующей горячей деформации заготовок рельсовой стали в процессе производства рельсов вызывает понижение технологической пластичности, («красноломкость») и приводит к образованию поверхностных дефектов в процессе прокатки.

Механизм влияния основности шлака на качество рельсов связан с известной зависимостью десульфурующей способности шлака от данной характеристики. Удаление серы из расплава в шлак происходит в большинстве случаев в результате образования CaS:



при этом сера, растворенная в металле, реагирует с CaO в шлаке.

Полученные данные о снижении брака при увеличении длительности продувки аргоном на АКП объясняются известным явлением флотации – прилипания неметаллических включений к пузырькам инертного газа, с последующей ассимиляцией шлаком. Кроме того, вышеприведенная реакция удаления серы из расплава протекает на поверхности раздела фаз, и увеличение этой поверхности за счет перемешивания металла со шлаком при продувке аргоном способствует более глубокой десульфурации.

Повышение содержание водорода способствует увеличению риска образования флокенов. Согласно существующих представлений водород оказывает значимое влияние на процесс образования флокенов при его концентрации в стали более 2 ppm. Хотя существует мнение, что флокены могут образовываться и при меньшей концентрации водорода и определенном сочетании технологических параметров производства стали. Наиболее часто флокены образуются в катаных заготовках и изделиях с относительно большим сечением [5, 6]. Следует отметить, что фактическое содержание водорода на рассматриваемых плавках рельсовой стали после вакуумирования не превышало 1,5 ppm и в среднем составило 0,96 ppm, что является низкими показателями. Таким образом, можно сделать вывод, что в образовании дефектов помимо водорода значимую роль сыграли другие технологические факторы, напри-

мер, наличие значительных внутренних напряжений (структурные и т.д.).

Механизм отрицательного влияния меди на качество рельсов заключается в следующем. При кристаллизации медь, как и ряд других примесей цветных металлов, имеет свойство концентрироваться в межзеренном пространстве. Ситуация усугубляется склонностью меди к диффузии, что приводит к значительному увеличению ее концентрации в приповерхностных слоях «выпотевание меди» [7, 8]. Поскольку температура плавления меди (1083°C) ниже температуры начала прокатки рельсов, то находящаяся в жидком состоянии медь распространяется в межзеренных границах, ослабляет связь между зёрнами и охрупчивает металл. В результате возникает, так называемая «поверхностная красноточность», приводящая к образованию дефектов при прокатке.

Отрицательное влияние олова связано с низкой температурой плавления, склонностью к ликвации в междендритных пространствах и к диффузии в поверхностные слои отливок. При этом максимально допустимые концентрации данной примеси, по мнению авторов работ [9, 10] составляет 0,006 %. Фактический диапазон изменения содержания олова на рассматриваемой выборке составил 0,003-0,014%, что говорит о совпадении с имеющимися литературными данными.

Таким образом, для условий электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено значимое влияние на отбраковку рельсов стали марки Э76ХФ следующих технологических параметров: содержание серы на выпуске из дуговой сталеплавильной печи, длительность продувки при обработке на агрегате «ковш-печь», основность шлака при обработке на агрегате «ковш-печь», содержание водорода в стали после вакуумирования, содержание меди и олова в готовой стали. Получены данные о количественном влиянии указанных параметров на уровень отбраковки рельсов, раскрыт механизм их влияния.

Библиографический список

1. Уманский А.А. Исследование процессов формирования качества металлопродукции ответственного назначения на переделе сталь-прокат / А.А. Уманский // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – №8-2. – С. 335-339.
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. 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. 43-46.
4. 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*. – 2007. – №18. – С. 40-48.

5. Влияние химического состава металла на содержание водорода и флокеночувствительность рельсовой стали / А.А. Дерябин [и др.] // Электрометаллургия. – 2003. – №9. – С.10-18.

6. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов / В.И. Шаповалов. – М.: Metallurgia, 1982. – 235 с.

7. Медь в черных металлах / Под ред. И. Ле Мэя и Л. М. Д. Шетки: Пер. с англ. И. Д. Марчуковой и А. Н. Штейнберга. М.: Metallurgia, 1988.

8. 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.

9. Влияние микропримесей цветных металлов на качество непрерывнолитой стали / В.П. Харченко [и др.] // Сталь. – 2001. – №5. – С. 60–62.

10. Голубцов В.А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В.А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 423 с.

УДК 669.187

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ)

Решетнев О.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

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

Проведенными исследованиями определен состав характерных неметаллических включений непрерывнолитых заготовок рельсовой стали Э76ХФ производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Показано, что преобладающим типом неметаллических включений являются силикаты недеформирующиеся, а именно алюмосиликаты и шпинели.

Ключевые слова: неметаллические включения, рельсовая сталь, пластичность, эксплуатационные свойства

Вид, концентрация и распределение неметаллических включений в стальных слитках оказывают значительное влияние на пластические и деформационные свойства стали в процессе производства готовых изделий, а также определяют эксплуатационные характеристики готовой продукции [1, 2]. В соответствии с этим задача по снижению концентрации неметаллических включений является особенно актуальной для сталей специального назначения, к которым, безусловно, относятся и рельсовые стали. Ударные нагрузки, которым подвергаются рельсы в процессе эксплуатации, делают недопустимым скопление в головке рельсов недеформирующихся (хрупких) неметалли-

ческих включений, а также хрупкоразрушенных включений, которые при деформации способны вытягиваться в строчки, однако при достижении некоторого предельного значения степени деформации разрушаются [3-5]. К включениям первого типа, в частности, относятся глинозем и кремнезем, ко второму типу – сложные окислы (алюминаты, силикаты, шпинели).

В действующем стандарте на производство рельсов (ГОСТ Р 51685-2013) размеры включений в готовых рельсах регламентированы в следующие пределах:

- размер наибольшего диаметра отдельных глобулярных включений не должен превышать 20 мкм при оценке усредненного диаметра;
- размер наибольшей длины строчечных глобулярных включений не должен превышать 300 мкм для рельсов специального назначения и 500 мкм для рельсов общего назначения.

При этом суммарный коэффициент загрязненности рельсов строчечными глобулярными включениями и отдельными глобулярными включениями, должен быть не более $30 \text{ мкм}^2/\text{мм}^2$ для каждой группы включений.

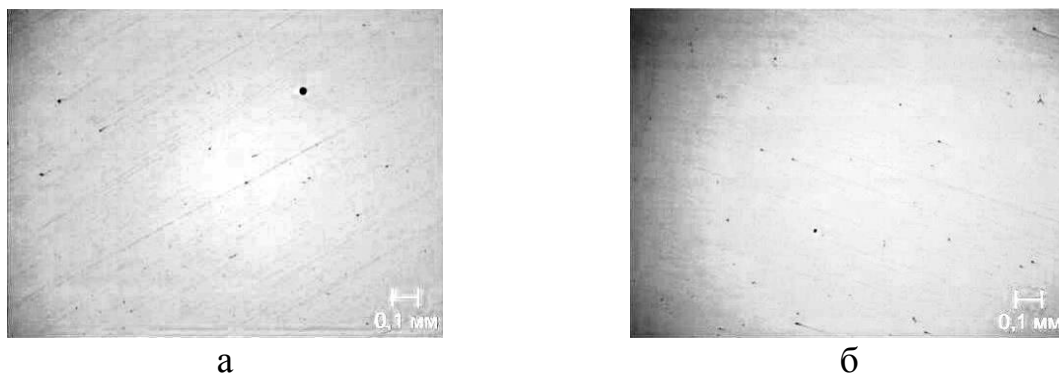
С целью снижения концентрации высокоглиноземистых включений (с содержанием Al_2O_3 более 50 %), оказывающих наиболее отрицательное влияние на эксплуатационные свойства рельсов, допустимая концентрация алюминия в рельсовой стали в действующем стандарте снижена до 0,004 % (ранее составляла до 0,025 %). Кроме того, поскольку образование высокоглиноземистых включений определяется не только содержанием алюминия в стали, но и концентрацией кислорода, то массовая доля кислорода ограничена пределами не более 20 ppm (ранее допускалось до 40 ppm), в том числе в виде высокоглиноземистых оксидных включениях – не более 10 ppm.

Жесткие требования к загрязненности рельсовой стали неметаллическими включениями обусловили необходимость внедрения ряда технологических решений по уменьшению концентрации включений в рельсовой стали. В частности, в электросталеплавильном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК» внедрена технология внепечной обработки стали с увеличенной длительностью продувки металла инертным газом в ковше, технология электромагнитного перемешивания в процессе непрерывной разливки стали, изменения технология раскисления – алюминий в качестве раскислителя не используется [6, 7]. Однако, несмотря на вышеперечисленные мероприятия, проблема недостаточной эксплуатационной стойкости рельсов, обусловленная возникновением контактно-усталостных дефектов в головке рельсов, остается по-прежнему актуальной [8]. Также имеет место достаточно высокий уровень отбраковки рельсов в процессе производства из-за наличия неметаллических включений и связанных с ними дефектов. В целом на основании вышесказанного можно сделать вывод об актуальности проведения исследований фактической загрязненности рельсовой стали неметаллическими включениями.

В представленной работе приведены результаты исследований количества и состава неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках

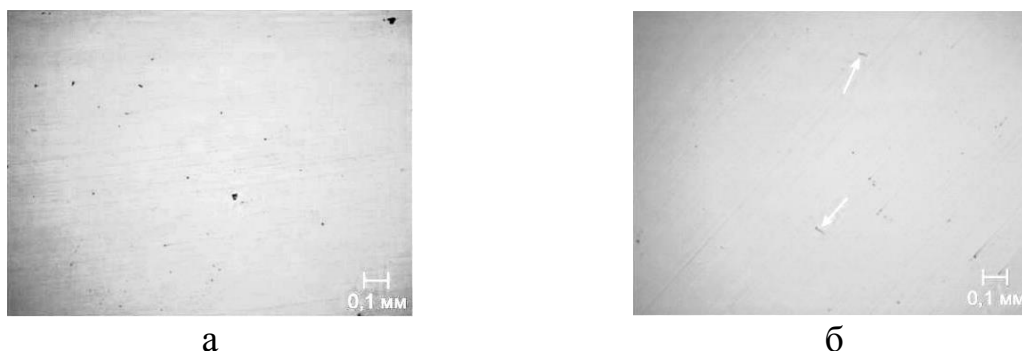
рельсовой стали марки Э76ХФ производства электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». При проведении исследований использовали оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» ФГГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», в частности металлографический микроскоп OLIMPUS GX-51 и рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000. Полуколичественный анализ неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778-70, определение состава включений проводили рентгенографическим методом.

Пробы для проведения исследований отбирали от трех зон непрерывнолитых заготовок сечением 300×360 мм: корковой зоны (глубина до 25 мм от поверхности), зоны столбчатых кристаллов (толщина 60-80 мм), центральной зоны. В результате установлено, что корковая зона и зона столбчатых кристаллов имеют незначительную загрязненность неметаллическими включениями. В обеих указанных зонах выявлены включения в виде оксидов точечных (рисунок 1), при этом зона столбчатых кристаллов более загрязнена включениями данного типа.



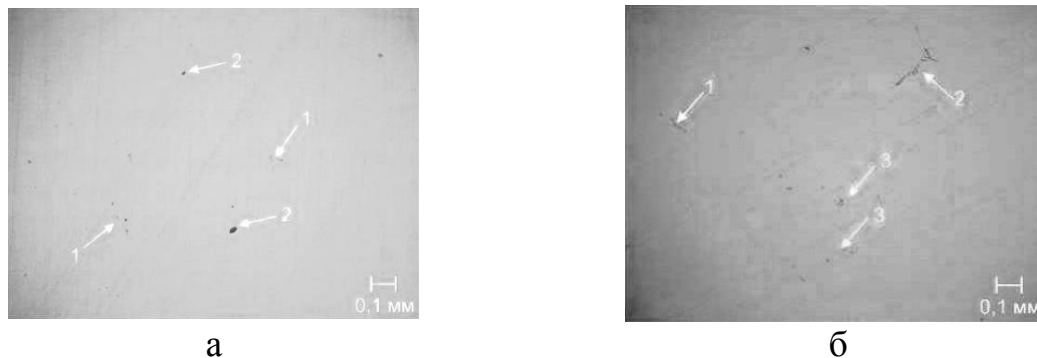
а – корковая зона (балл 1 а); б – зона столбчатых кристаллов (балл 3 а)
Рисунок 1 – Оксиды точечные в непрерывнолитой заготовке стали Э76ХФ

В зоне столбчатых кристаллов также обнаружены силикаты недеформирующиеся (балл 1 б) и незначительное количество сульфидов (балл 1 а) – рисунок 2.



а – силикаты недеформирующиеся (балл 1 б); б – сульфиды (балл 1 а)
Рисунок 2 – Неметаллические включения в зоне столбчатых кристаллов непрерывнолитой заготовки стали Э76ХФ

В центральной зоне непрерывнолитой заготовки выявлены все перечисленные типы включений, но в большем количестве (рисунок 3): оксиды точечные (балл 2 а), силикаты недеформирующиеся (балл 3 б) и сульфиды (балл 3 а). Кроме этого обнаружено незначительное количество нитридов строчечных (балл 1 а).



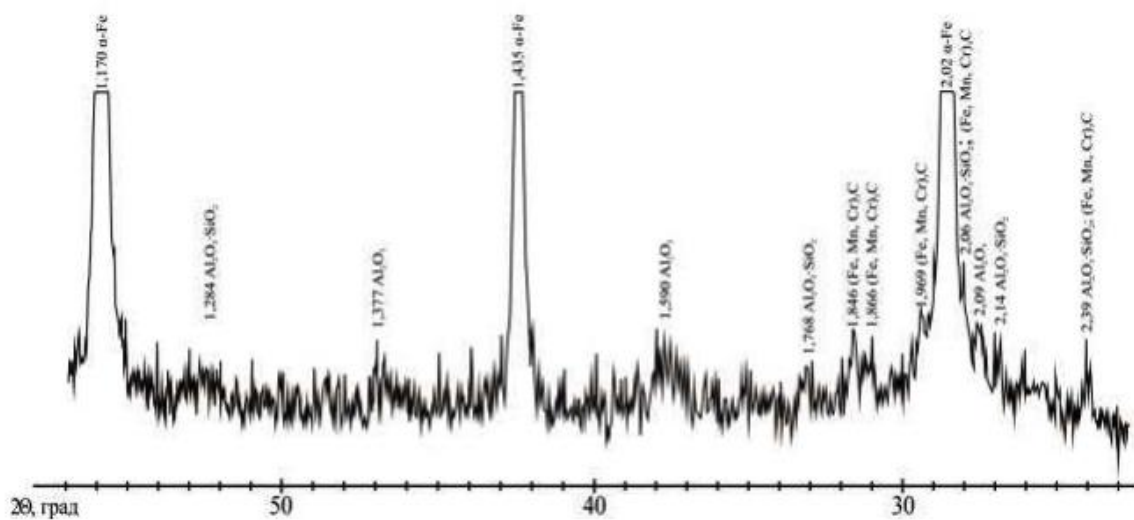
а – сульфидные включения (1) и силикаты недеформирующиеся (2);
б – сульфиды (1), нитриды строчечные (2) и оксиды точечные (3)

Рисунок 3 – Неметаллические включения в центральной зоне непрерывнолитой заготовки стали Э76ХФ

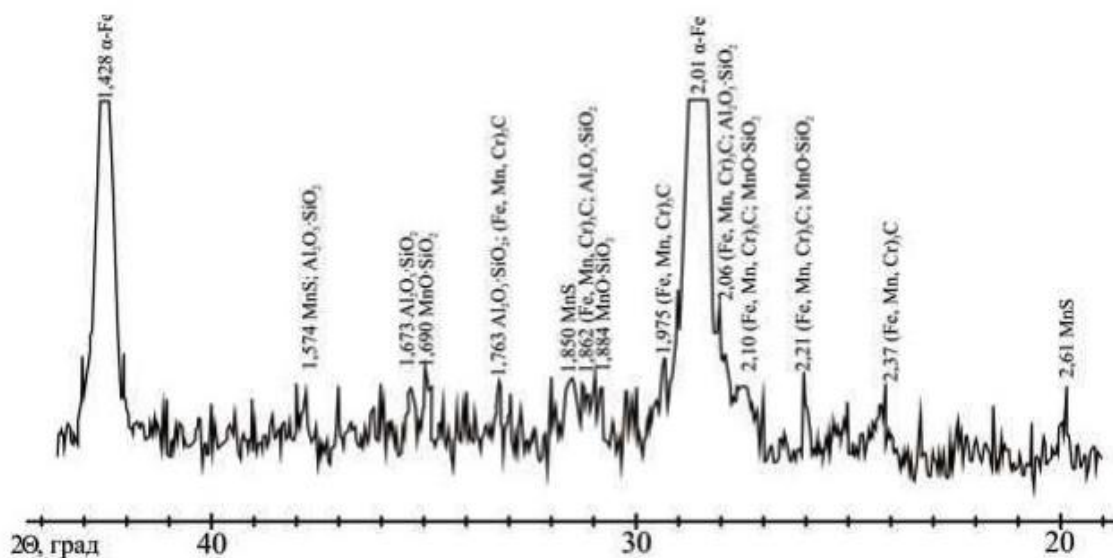
Наибольшая концентрация неметаллических включений в центральной зоне непрерывнолитых заготовок согласуется с общепринятыми представлениями и является следствием ликвационных процессов при кристаллизации стали.

Рентгенографическими исследованиями установлено, что силикаты недеформирующиеся представляют собой включения типа $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и $MnO \cdot SiO_2$, оксидные включения представлены глиноземом Al_2O_3 , сульфидные включения – сульфидом марганца MnS (рисунок 4). Наиболее опасными с точки зрения ухудшения пластических и свойств стали являются включения силикатного типа: алюмосиликаты ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) и шпинели ($MnO \cdot SiO_2$). Известно [3, 4, 9, 10], что многофазные включения проявляют неоднородную деформируемость: силикатная матрица пластически деформируется с металлической матрицей стали, а частицы оксидов при этом деформации не подвергаются. Также указанные включения значительно влияют на эксплуатационные характеристики рельсов в силу их высокой концентрации и склонности образовывать строчечные скопления в процессе деформации.

Таким образом, на основании проведенных металлографических и рентгенографических исследований установлено, что преобладающим типом неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках рельсовой стали марки Э76ХФ производства электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» являются силикаты недеформирующиеся, а именно алюмосиликаты и шпинели.



а



б

Рисунок 4 – Дифрактограммы корковой (а) и центральной (б) зон непрерывнолитой заготовки стали Э76ХФ

Библиографический список

1. Губенко С.И. Неметаллические включения в стали / С.И. Губенко, В.В. Парусов, И.В. Деревянченко. – Д.: АРТ ПРЕСС, 2005. – 536 с.
2. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений / С.И. Губенко. – М.: Металлургия, 1991. – 225 с.
3. Дерябин А.А. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали / А.А. Дерябин, А.В. Добужская // Сталь. 2000. – № 11. – С. 38–43.
4. Дерябин А.А. Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте / А.А. Дерябин, В.А. Рабовский, Е.А. Шур // Сталь. – 2000. – № 11. – С. 82–85.

5. Шур Е.А. Влияние неметаллических включений на разрушение рельсов и рельсовой стали / Е.А. Шур, С.М. Трушевский. – В кн.: Неметаллические включения в рельсовой стали: сб. науч. тр. - Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ», 2005. – С. 87-94.

6. Козырев Н.А. Разработка технологии внепечной обработки рельсовой электростали, обеспечивающей повышение эксплуатационной стойкости рельсов / Н.А. Козырев, А.А. Уманский, Д.В. Бойков // Черные металлы. – 2015 – №4. – С. 29-33.

7. Козырев Н.А. Совершенствование технологии раскисления и внепечной обработки рельсовой электростали с целью повышения качества рельсового проката / Н.А. Козырев, Е.В. Протопопов, А.А. Уманский, Д.В. Бойков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2015. – Т.58. – №10. – С. 721-727.

8. Козырев Н.А. Исследование и оптимизация технологии производства рельсовой электростали с целью повышения качества рельсового проката и технико-экономических показателей его производства / Н.А. Козырев, А.А. Уманский, Д.В. Бойков // Вестник СибГИУ. – 2014. – №3(9). – С. 11–16.

9. Старов Р.В. Изменения химического состава неметаллических включений на всех этапах производства стали / Р.В. Старов [и др.] // Сталь. – 2005. – № 1. – С. 79-82.

10. Добужская А.Б. Изучение состава неметаллических включений в рельсах / А.Б. Добужская, Л.А. Смирнов, Н.В. Мухранов, М.С. Фомичев, Е.В. Белокурова // Сталь. – 2015. – № 7. – С. 82-86.

УДК 621.771.65

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОМОЛЬНЫХ ШАРОВ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Щукин А.Г., Сулова Е.М.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

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

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что неоднородность закалочной микроструктуры стальных помольных шаров диаметром 40-60 мм оказывает определяющее влияние на снижение их ударной стойкости в процессе эксплуатации только при высокой поверхностной твердости (57-61 HRC).

Ключевые слова: помольные шары, эксплуатационные характеристики, ударная стойкость, термообработка, твердость.

На сегодняшний день стальные помольные шары являются наиболее распространенным видом мелющих тел, используемым для измельчения сырья и материалов в различных отраслях промышленности (горнорудная, цементная, металлургическая и т.д.). В России стальные мелющие шары производят, в основном, методом поперечно-винтовой прокатки на специализированных прокатных станах [1-3]; некоторое количество также производится ковкой и штамповкой.

В процессе эксплуатации мелющие шары испытывают периодические ударные нагрузки, поэтому основным требованием к их качеству является устойчивость к расколу и выкрашиванию [4], что обеспечивается термической обработкой шаров, которая, как правило, включает в себя подстуживание, закалку и самоотпуск [5]. Термическая обработка обеспечивает высокую поверхностную твердость шаров, тем самым повышая их эксплуатационную стойкость.

В настоящее время среди исследователей отсутствует единое мнение о степени влияния поверхностной твердости и распределения закалочной микроструктуры в объеме мелющих шаров на их ударную стойкость [6-8], что делает актуальным проведение исследований в данном направлении.

Для исследования влияния параметров микроструктуры на эксплуатационные характеристики помольных шаров использовали шары производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и ООО «Промышленные системы» (г. Нижний Тагил) диаметром 40-60 мм.

Анализ параметров закалочной микроструктуры проводили в Центре коллективного пользования «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» с использованием металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51 и твердомера ТК-2М.

Полученные данные свидетельствуют о наличии для всех объемно-закаленных шаров производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» трехзонной структуры, включающей в себя поверхностный слой, переходную и центральную зоны. При этом в рамках обозначенной трехзонной структуры возможны три основных варианта (таблица 1).

Таблица 1 – Варианты распределения микроструктур в объемно-закаленных шарах

Номер варианта	Описание микроструктуры по зонам		
	поверхностная	переходная	центральная
1	мартенсит (твердость 48-51 HRC)	мартенсит + троостит (твердость 37-41 HRC)	феррит + перлит (твердость 230-235 НВ)
2	мартенсит (твердость 46-50 HRC)	мартенсит + троостит (твердость 37-40 HRC)	мартенсит + троостит + феррит (твердость 31-33 HRC)
3	мартенсит + троостит (твердость 42-41 HRC)	мартенсит + троостит (твердость 35-39 HRC)	мартенсит + троостит (твердость 30-33 HRC)

Исследования на ударную стойкость закаленных шаров, проведенные на копровой установке, показали, что данный показатель значительно не отличается для представленных вариантов распределения микроструктур в объеме шаров (рисунок 1).

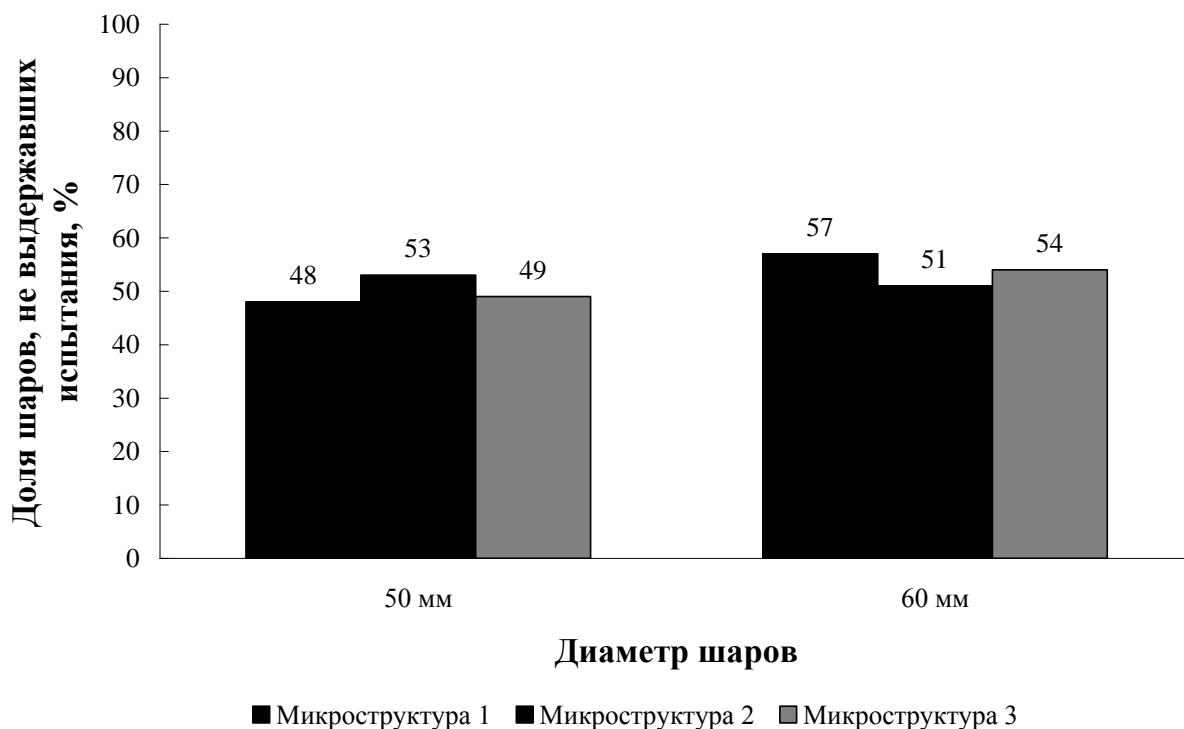


Рисунок 1 – Зависимость ударной стойкости мелющих шаров производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» от параметров их закалочной микроструктуры

Исследованиями микроструктуры шаров производства ООО «Промышленные системы», расколовшихся в процессе эксплуатации, выявлено наличие в поверхностном слое с крупноиглочатого мартенсита твердостью 61 HRC (рисунок 2).

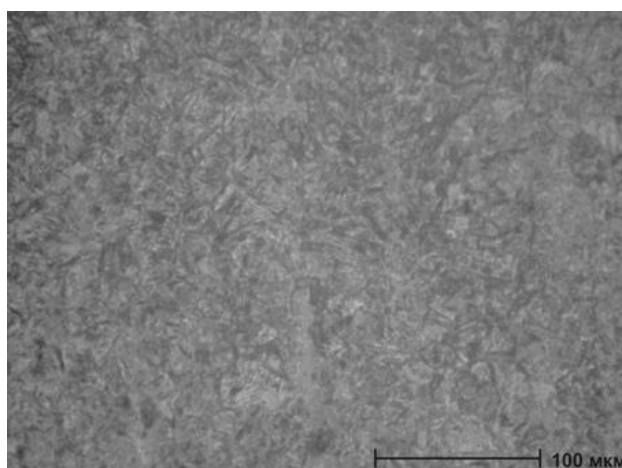
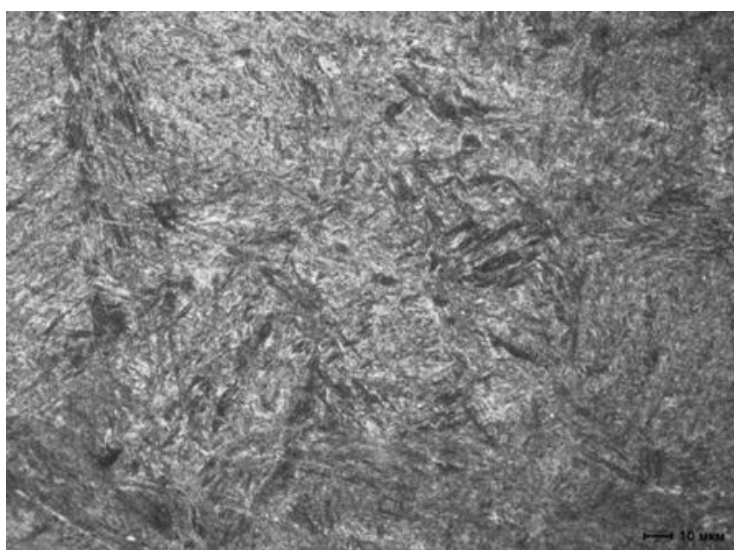
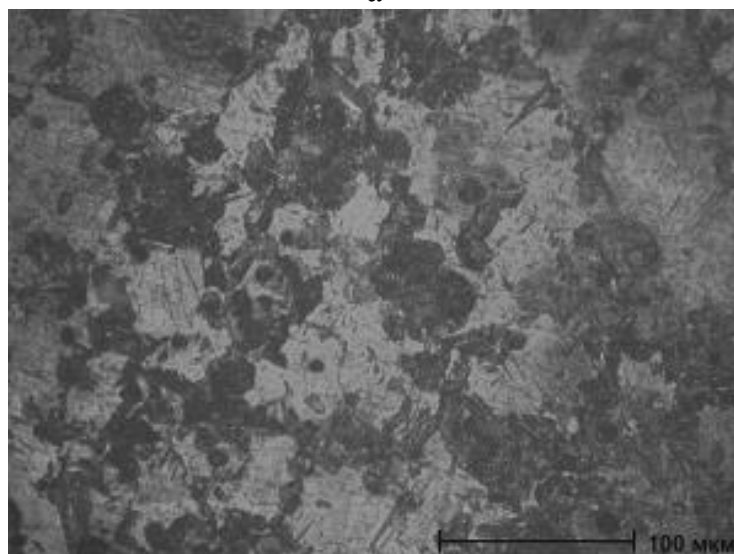


Рисунок 2 – Микроструктура поверхностного слоя шаров производства ООО «Промышленные системы»

При этом в центральной части шаров возможны различные варианты микроструктур. Для шаров диаметром 40 мм выявлена структура крупно-игольчатого мартенсита и троостита (рисунок 3 *а*) твердостью 46-50 HRC, а для шаров диаметром 60 мм – крупноигольчатого мартенсита и сфероидального троостита (рисунок 3 *б*) твердостью 43-48 HRC. Исследование микроструктуры шаров из той же партии без видимых следов износа показало значительно меньший перепад твердости по сечению за счет более низкой твердости поверхностного слоя (48-52 HRC). При этом примерно на 50 % исследуемых шаров, как расколовшихся в процессе эксплуатации, так и без видимых следов износа выявлены локально расположенные трещины. В результате можно сделать вывод, что высокая поверхностная твердость является фактором, значительно повышающим вероятность возникновения трещин и последующего раскола помольных шаров при воздействии ударных нагрузок.



а



б

Рисунок 3 – Микроструктура центральной зоны шаров производства ООО «Промышленные системы» диаметром 40 мм (*а*) и 60 мм (*б*)

Таким образом, на основании проведенных исследований эксплуатационных характеристик стальных помольных шаров диаметром 40-60 мм установлено, что неоднородность закалочной микроструктуры металла обуславливает значимое снижение ударной стойкости шаров только при высокой (57-61 HRC) поверхностной твердости, а при поверхностной твердость шаров в пределах 42-52 HRC влияния данного параметра не зафиксировано.

Библиографический список

1. Крутилин А.Н. Мелющие тела. Проблемы. Перспективы / А.Н. Крутилин, Н.И. Бестужев, А.Н. Бестужев, Д.Н. Каленкович // Литье и металлургия. 2009. №4 (53). С. 26-33.

2. Уманский А.А. Исследование влияния параметров закалочной микроструктуры мелющих шаров, произведенных методом поперечно-винтовой прокатки, на их эксплуатационные характеристики / А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.Г. Щукин, А.С. Симачев // Производство проката. 2019. №3. С. 34-39.

3. Щукин А.Г. Исследование влияния качества внутренней структуры помольных шаров, произведенных методом поперечно-винтовой прокатки, на их ударную стойкость / А.Г. Щукин, А.А. Уманский // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. Вып. 22. Ч. II. С. 131-134.

4. Вдовин К.Н. Качество мелющих шаров, изготовленных различными методами / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, М.Б. Абенова, В.Д. Куликов, И.С. Кондратьев // Теория и технология металлургического производства. 2015. №1 (16). С. 78-81.

5. Сталинский Д.В. Выбор материала и технологий термической обработки мелющих шаров, работающих преимущественно в условиях абразивного износа / Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк, В.К. Солёный // Сталь. 2017. №6. С. 64-69.

6. Ефременко В.Г. Металлографический анализ причин разрушения стальных катаных тел для барабанных мельниц / В.Г. Ефременко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2000. – №9. – С. 89-91.

7. Кузьмин В.О. Влияние режима термоупрочнения на объемную износостойкость мелющих шаров из низколегированных марок стали / В.О. Кузьмин // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2011. №2 (23). С.117-126.

8. Ефременко В.Г. Влияние макроструктурного состояния шаровой заготовки на качество стального проката для помольного оборудования. / В.Г. Ефременко // Металл и литье Украины. 2002. №9-10. С. 40-42.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛЮЩИХ ШАРОВ В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

Сусллова Е.М.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

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

Сравнительный анализ технологических особенностей производства мелющих шаров в ведущих промышленно-развитых странах и странах СНГ позволил выявить следующие перспективные направлениями применительно к отечественной металлургии: переход на производство катаных шаров из легированных сталей с одновременным совершенствованием технологии термической обработки, увеличение доли литых шаров из легированных чугунов, разработка новых специализированных шаровых марок сталей.

Ключевые слова: мелющие шары, легирование, винтовая прокатка, термообработка, твердость.

Мелющие (помольные) шары являются одним из наиболее распространенных видов мелющих тел, используемых для измельчения материалов в различных отраслях промышленности [1, 2]. Основными потребителями мелющих шаров являются горно-металлургическая, цементная и энергетическая отрасли. Так для измельчения твердых и относительно бедных железных руд используется порядка 43 % производимых шаров, для измельчения медных и никелевых руд – 22 %, цементная промышленность потребляет порядка 10 % производимых шаров.

Основными технологиями производства мелющих шаров на сегодняшний день являются литье и методы обработки давлением (ОМД), а именно прокатка, ковка и штамповка. При этом литьем, как правило, производят чугунные шары, методами ОМД – стальные шары. В России и странах СНГ наибольшая доля шаров производится на специализированных прокатных станах методом поперечно-винтовой прокатки (рисунок 1). Высокопроизводительные шаропрокатные станы имеются на Западно-Сибирском (ЕВРАЗ ЗСМК) и Нижнетагильском (ЕВРАЗ НТМК) металлургическом комбинатах, Гурьевском металлургическом заводе (ГМЗ). Шары производят из средне- и высокоуглеродистых сталей, при этом с целью достижения их высокой износостойкости предусматривается объемная закалка шаров с последующим самоотпуском. Такая технология позволяет получить поверхностную твердость до 55-62 HRC при глубине закаленного слоя до 10-15 мм [3]. При этом следует отметить, что указанная поверхностная твердость достигается только на шарах малого диаметра (40-60 мм), а поверхностная твердость помольных шаров диаметром 80-120 мм не превышает 50-57 HRC даже при

использовании современных закалочных устройств [3].

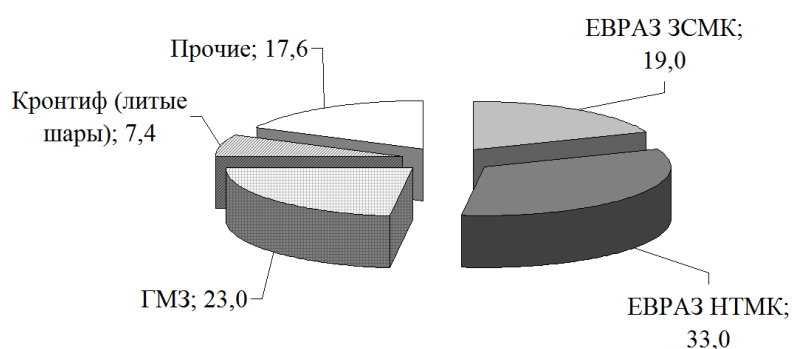


Рисунок 1 – Структура производства мелющих шаров в странах СНГ

Помольные шары отечественного производства и производства стран СНГ, как правило, обладают невысокой износостойкостью, что кроме низкой поверхностной и объемной твердости также связано с наличием дефектов макроструктуры (усадочных дефектов, флокенов и т.д.) [4, 5]. Данный факт связан с тем, что до последнего времени данный вид продукции фактически производился из отходов производства – проката несоответствующего качества из различных марок стали.

До последнего времени внутренний рынок России и стран СНГ оставался нетребовательным к качеству шаров, однако в настоящее время ситуация имеет тенденцию к изменению в связи с ужесточением конкуренции на рынке мелющих тел. Известно, что повышение качества шаров существенно улучшает качество размола сырья и снижает затраты на электроэнергию (до 20 %). В условиях существенного повышения цен на энергоносители экономически целесообразным становится переход на использование шаров из легированных сталей и чугунов с высокой объемной и поверхностной твердостью [6].

В отличие от России и стран СНГ в большинстве промышленно развитых стран наибольшую долю помольных шаров производят из легированных чугунов и сталей [7, 8]. Так мелющие шары диаметром 15-150 мм из легированной хромом (до 1%) стали производятся ведущими западными фирмами («AGS», «Gerdau Ameristeel», «Vitkovice»). Такие шары после закалки имеют твердость 62-65 HRC на поверхности и не менее 60 HRC в центре шара. Лидером в данном технологической нише является южноафриканская компания «Scow Metals» На принадлежащих ей десяти заводах выпускается около 600 тыс. т шаров под общим брендом «Moly-Cor».

Чугунные мелющие шары в связи с присутствием в структуре значительного количества карбидов обладают более высокой эксплуатационной стойкостью по сравнению со стальными шарами. Помимо меньшей потери массы, в чугунных шарах реализуется так называемый «зубчатый» эффект: направленное расположение кристаллов карбидов перпендикулярно к поверхности тела и их чередование с более мягкими прослойками матричной фазы, что создает специфическую шероховатость поверхности и улучшает измель-

чающий эффект за счет уменьшения проскальзывания между шарами и зернами размалываемого материалом. В промышленно развитых странах мира доля производства мелющих тел из высоколегированных чугунов, износостойкость которых в 4-5 раз выше стальных, достигает 35 % от всего объема и продолжает быстро увеличиваться. Современные марки белых износостойких чугунов представляют собой сложнелегированные многокомпонентные сплавы с большим разнообразием структур и широким диапазоном физико-механических свойств. Применение высоколегированных чугунов для отливки шаров с последующей термической обработкой обеспечивает получение по всему сечению мелющего тела мартенситно-карбидной структуры с высокой ударостойкостью. При производстве чугунных шаров с содержанием хрома 13-23 % достигается сквозная твердость 62-64 HRC. Мировым лидером в данном технологическом сегменте является бельгийская компания «Magotteaux», которая выпускает около 320 тыс. т таких шаров в год на 16 заводах. Для сравнения поверхностная твердость шаров из рядовых чугунов может достигать 50-52 HRC и при этом они отличаются низкой ударостойкостью.

В настоящее время повышение поверхностной и объемной твердости стальных шаров производства России и Украины достигается за счет применения сталей с более высоким уровнем прокаливаемости, а также за счет изменения технологии термической обработки – перехода от термоупрочнения с самоотпуском к закалке с отдельного нагрева и низкотемпературному печному отпуску, применения современных закалочных устройств. Также имеет место тенденция к повышению требований к качественным показателям заготовок, используемых для производства шаров – шары производят не из отходов производства, как ранее, а из конкретных специализированных марок стали с определенным набором характеристик.

Дальнейшая перспектива в повышении износостойкости стальных мелющих шаров заключается в разработке и применении шаровых заэвтектоидных сталей. В шарах из таких сталей возможно достижение двух микроструктурных состояний, обеспечивающих более высокую износостойкость по сравнению с мартенситом отпуска [3]:

- Металлическая матрица отпущенного мартенсита с равномерно распределенными зернистыми включениями вторичного цементита;

- Аустенитно-мартенситная безкарбидная или содержащая малое количество карбидов структура, в которой аустенит обладает регулируемой склонностью к мартенситному превращению при изнашивании. Этот тип микроструктуры более предпочтителен, поскольку обеспечивает шарам повышенное сопротивление растрескиванию при закалке и расколам при эксплуатации за счет присутствия вязкого аустенита.

Таким образом, перспективными направлениями в производстве мелющих шаров в России и странах СНГ являются:

- переход на производство катаных шаров из легированных сталей с одновременным совершенствованием технологии термической обработки;

- увеличение доли литых шаров из легированных чугунов;
- разработка новых специализированных шаровых марок сталей.

Библиографический список

1. Крутилин А.Н. Мелющие тела. Проблемы. Перспективы / А.Н. Крутилин, Н.И. Бестужев, А.Н. Бестужев, Д.Н. Каленкович // Литье и металлургия. 2009. №4 (53). С. 26-33.
2. Чиж Е.В. Выбор и анализ технологии изготовления мелющих тел / Е.В. Чиж, М.Б. Абенова // Теория и технология металлургического производства. 2016. № 2. С. 42-43.
3. Стеблов А.Б. Литые чугунные шары для помола материалов / А.Б. Стеблов, С.Н. Березов, А.А. Козлов // Литье и металлургия. 2012. №3 (66). С. 45-49.
4. Уманский А.А. Исследование влияния параметров закалочной микроструктуры мелющих шаров, произведенных методом поперечно-винтовой прокатки, на их эксплуатационные характеристики / А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.Г. Щукин, А.С. Симачев // Производство проката. 2019. №3. С. 34-39.
5. Ефременко В.Г. Влияние макроструктурного состояния шаровой заготовки на качество стального проката для помольного оборудования. / В.Г. Ефременко // Металл и литье Украины. 2002. №9-10. С. 40-42.
6. Вавилкин Н.М. К выбору материала для производства мелющих шаров / Н.М. Вавилкин, В.В. Челноков // Известия вузов. Черная металлургия. 2002. №1. С. 41-46.
7. Сталинский Д.В. Выбор материала и технологий термической обработки мелющих шаров, работающих преимущественно в условиях абразивного износа / Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк, В.К. Солёный // Сталь. 2017. №6. С. 64-69.
8. Вдовин К.Н. Качество мелющих шаров, изготовленных различными методами / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, М.Б. Абенова, В.Д. Куликов, И.С. Кондратьев // Теория и технология металлургического производства. 2015. №1 (16). С. 78-81.

УДК 669.168.5

ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОМОЛИБДЕНА В РОССИИ

Горлова А.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.

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

Рассмотрено производство ферромolibдена в России.

Ключевые слова: технология, производство, ферромolibден, оборудование, обжиг, плавка.

При анализе технологии производства ферромolibдена в России использовались материалы, представленные в [1-3].

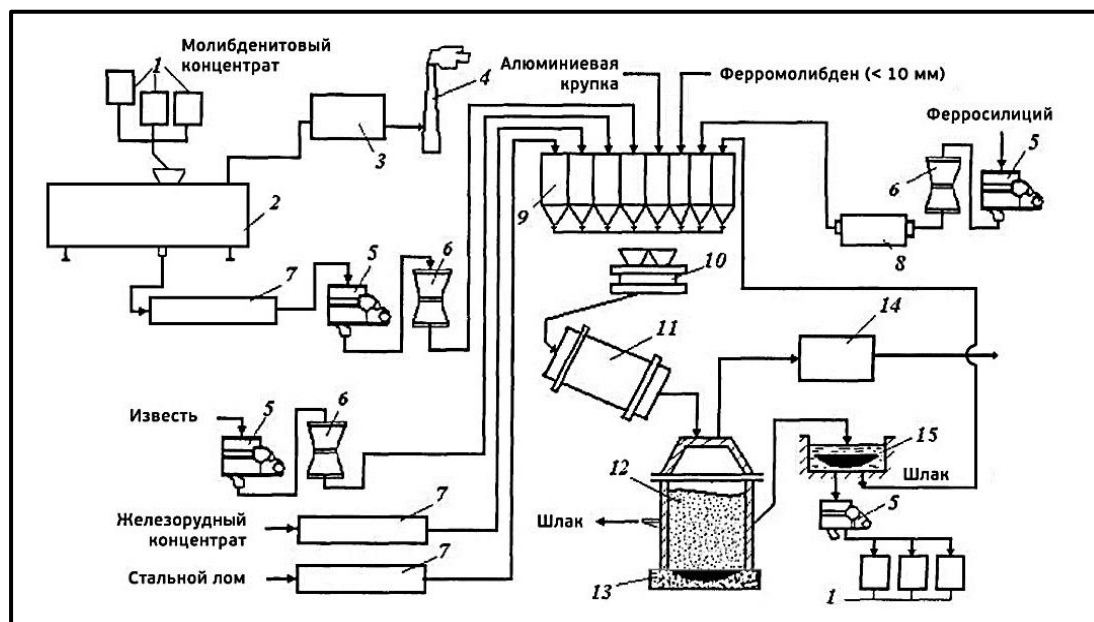
В настоящее время отечественный ферромolibден по требованию потребителя производится: марок ФМо60 (нк) и ФМо60 с массовой долей молибдена 60%, серы не более 0,07 %, фосфора не более 0,03 %; марки ФМо58 с массовой долей молибдена 58 %, кремния не более 3,0 %; марки ФМо55 с массовой долей молибдена 55, олова и сурьмы не более 0,03 % каждого. Химический состав ферромolibдена по стандартам России, США и Японии приведен в таблице.

Таблица - Химический состав ферромolibдена по стандартам стран – производителей [1]

Марка	Стандарт	Массовая доля, %												
		Mo	W	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Zn	Bi
		не менее	не более											
Россия														
ФМо60 нк	ГОСТ 4759-91	60	0,3	0,5	0,05	0,05	0,1	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ФМо60		60	0,3	0,8	0,05	0,05	0,1	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ФМо58 нк		58	0,5	0,5	0,08	0,05	0,1	0,8	0,03	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1
ФМо58		58	0,5	1,0	0,08	0,05	0,12	0,8	0,03	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1
ФМо55		55	0,8	1,5	0,1	0,1	0,15	1,0	-	0,05	0,05	-	-	-
ФМо50		50	-	3,0	0,5	0,1	0,5	2,0	-	0,1	0,1	-	-	-
США														
-	ASTM A 132-74	60	-	1,0	0,10	0,05	0,15	1,0	-	-	-	0,01	-	-
Япония														
ФМоН	JISG 2307 1978	55-65	-	3,0	6,0	0,1	0,2	0,5	-	-	-	-	-	-
ФМоL		60-70	-	2,0	0,1	0,06	0,1	0,5	-	-	-	-	-	-

Производство ферромolibдена в СССР было освоено в 1937 г. Длительное время в России основным производителем ферромolibдена являлся Челябинский электрометаллургический комбинат. В связи с трудностями в поставке сырья и ужесточением требований к качеству ферромolibдена получение сплава на данном предприятии было прекращено. В настоящее время производителями ферромolibдена являются предприятия компании «Союзметаллресурс». Добыча молибденсодержащих руд и производство молибденитового концентрата осуществляются на Сорском и Жирекенском ГОКах, Тырныаузском ГМК. На предприятиях компании «Союзметаллресурс» молибденитовый концентрат направляется на ферросплавное произ-

водство, где перерабатывается на ферромолибден по технологической схеме, приведенной на рисунке.



1 – контейнера БИГ-БЭГ, 2 – горизонтальная 6-ти-подовая печь, 3 – система газоочистки, 4 – дымовая труба, 5 – щековая дробилка, 6 – конусная дробилка, 7 – трубчатая печь, 8 – шаровая мельница, 9 – дозировочные бункеры, 10 – дозатор, 11 – смешивающий барабан, 12 – плавильная шахта, 13 – слиток, 14 – система газоочистки, 15 – охлаждающий бак

Рисунок 1 - Технологическая схема производства ферромолибдена

Цех ферромолибдена включает отделения обжига и плавки. На первой стадии обжиг проводят в горизонтальных подовых печах производительностью 0,5 т/сут. Концентрат загружается на первый под печи, скребками перегребаются и перемещаются последовательно к последнему 6 разгрузочному поду. Перегребание концентрата на подах производится с периодичностью 10-15 минут, для наиболее полного контакта концентрата с кислородом. В первой зоне печи происходит сушка концентрата и выгорание масел. Во второй зоне печи при температуре 250-400°C происходит реакция горения серы с большим количеством выделяемого тепла, при этом приход тепла становится ненужным. В третьей, а особенно в четвертой, пятой и шестой зонах, из-за малого остаточного содержания серы, необходим большой приход тепла для продолжения процесса горения серы. Температурный режим 3, 4, 5 зон 500-580°C. Содержание серы при выгрузке концентрата из обжиговой печи находится в пределах 1-2% (технический триоксид молибдена). Такое содержание серы в огарке велико для использования его в качестве исходного сырья для получения ферромолибдена. Поэтому в качестве второй стадии обжига проводится дообжиг (расплавление). Технический триоксид молибдена подвергается дообжигу в трубчатых печах, производительностью 0,75

т/сут и температурой процесса - 800 С°.

Расплавленный огарок (товарный триоксид молибдена) после остывания направляется в последующем на операцию получения ферромolibдена. Обожженный концентрат измельчают до фракции <10 мм. Компоненты шихты тщательно перемешивают и загружают в плавильный агрегат. При этом примерный состав колоши соответствует следующему, кг: концентрат - 100,00, 75 %-ный ферросилиций - 32,10, алюминиевая крупка- 5,88, железорудный концентрат- 14,80, стальной лом - 2,85, известь - 6,00. Термичность процесса выплавки ферромolibдена составляет 5,8 МДж/ кг, температура расплава- 2040 °С. В качестве плавильного агрегата используют высокошахтный плавильный горн, футерованный алюмосиликатным кирпичом. Сверху горн накрыт футерованным огнеупорным кирпичным сводом, в котором имеется отверстие, связанное газопроводом с системой газоочистки. Плавильный горн устанавливают на песочное основание, в котором выполняется "гнездо" для приема сплава. Для выпуска шлака горн оборудован леткой. Плавка – процесс периодический. Перед плавкой горн заполняют шихтой на ≈ 300 мм ниже верхнего края для предотвращения выплесков. Плавку ведут с верхним запалом, оптимальная скорость плавления шихты 10-12 г/(см³ · мин). Продолжительность процесса 25-40 мин. В течение ~50 мин выдержки по окончании плавки осаждаются корольки сплава, запутавшиеся в шлаке. Шлак после выдержки выпускают в шлаковню, а затем гранулируют. Сплав охлаждают в "гнезде" 7-8 ч, а затем для окончательного охлаждения помещают на 4 ч (примерно) в бак с водой. Остывший блок сплава очищают от шлака, дробят и упаковывают в тару. Извлечение молибдена в ферромolibден составляет 98,7-99,0 %.

Библиографический список

1. Галевский Г.В. Металлургия молибдена. Конспект лекций / Г.В. Галевский, В.В. Руднева – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. – 52 с.
2. Металлоснабжение и сбыт [Электронный ресурс] Цены на молибден продолжают рост. Режим доступа: www.metallinfo.ru/ru/news/101389, свободный. -Загл. с экрана. - Дата обращения 04.03.2019.
3. Галевский Г.В. Определение температуры расплава при силикоалюминотермической плавке ферромolibдена: метод. указ. / Г.В. Галевский, В.В. Руднева – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2010. – 32 с.

ОБОЖЖЕННЫЕ АНОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ: ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, КАЧЕСТВО

Лысенко О.Е.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.

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

Рассмотрена современная технология, оборудование и показатели качества производства обожжённых анодов.

Ключевые слова: обожжённый анод, технологическая схема, производство, многокамерная печь.

При оценке современного состояния производства обожженных анодов для алюминиевых электролизеров использовались материалы, представленные в [1-3].

Технологическая стратегия ведущих алюминийпроизводящих компаний основана на развитии электролизного производства с использованием обожженных анодов. Это обеспечивает разработку и последующую эксплуатацию высокоамперных электролизеров, работающих с высокими технико-экономическими показателями, улучшение санитарно-гигиенических условий труда персонала в корпусах электролиза, в целом повышение экологической безопасности алюминиевых заводов. В настоящее время по этой технологии производится более 80 % выпускаемого в мире первичного алюминия. Реализуемые технологии высокоамперного электролиза на электролизерах с обожженными анодами мощностью 300-500 кА доказали, что возможно дальнейшее повышение эффективности процесса за счет усовершенствования конструкции и прогрессивных технических решений при использовании новых материалов и высококачественного сырья. Достигнутые на передовых алюминиевых предприятиях показатели подтверждают эффективность выбранного направления: выход по току достигает 95 %, расход технологической электроэнергии составляет 12500-13000 кВт·ч/т Al, расход анодов 500-510 кг/т Al, фторида алюминия 15-17 кг/т Al [1].

Ведущие алюминийпроизводящие компании - RIO TINTO ALCAN, ALCOA, РУСАЛ, EMAL, ALBA предпринимают серьезные усилия по расширению собственного производства обожженных анодов с использованием в основном многокамерных печей открытого типа, обеспечивающих 4-х стадийный обжиг с получением высококачественных анодов при минимальных энергетических затратах. Расширение объемов производства обожженных анодов сопровождается совершенствованием конструкций печей, технологии обжига, заменой топлива (мазута на природный газ), с формированием защитных покрытий на анодах, изменением их геометрии (наличие газоот-

водных каналов) и др. Применение новых технологических схем обезвреживания отходящих газов значительно повышает экологическую безопасность анодных производств.

Ниже приведено краткое изложение современной технологии, оборудование и показатели качества.

Практически на всех производствах обожженных анодов реализуется традиционная технологическая схема, представленная на рисунке [2].

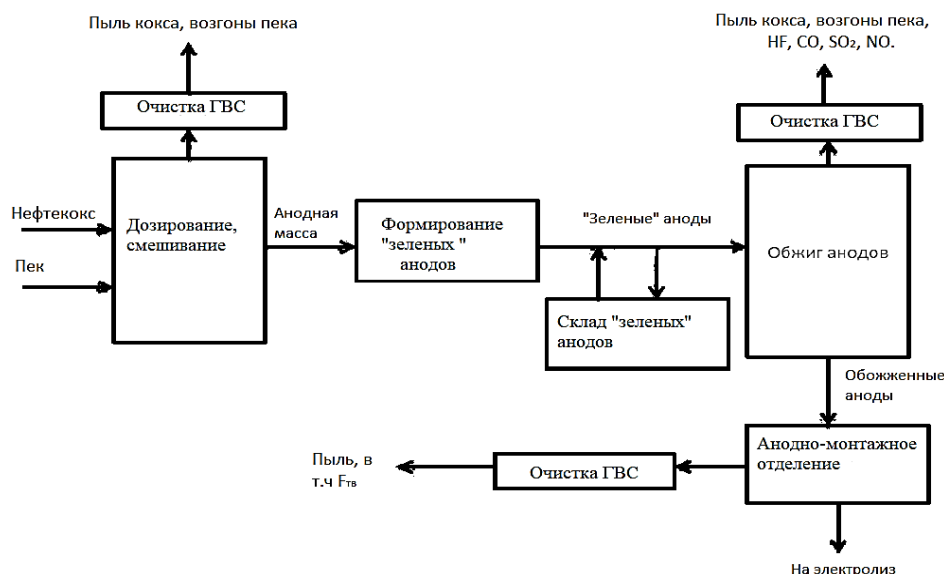


Рисунок - Технологическая схема производства обожженных анодов (ГВС – газоздушные среды)

Обжиг анодов проводится в многокамерных печах. При этом как в отечественной, так и зарубежной практике используются преимущественно открытые (бессводовые) обжиговые печи, хотя на ряде предприятий можно встретить закрытые (сводовые) печи. Оба типа печей подвергаются непрерывной модернизации. Тем не менее последние 20 лет печам открытого типа отдается большее предпочтение.

В многокамерных печах обжигаемые аноды находятся в состоянии покоя, т.е. неподвижны, а зоны предварительного нагрева, обжига и охлаждения периодически перемещаются от камеры к камере печи. Благодаря этому аноды каждой камеры в пределах одного цикла проходят все стадии обжига и охлаждения в соответствии с технически обоснованным графиком. Весь теплотехнологический цикл, включая зоны предварительного нагрева, формованного нагрева и охлаждения, а также камеры подготовительного цикла (загрузка, разгрузка) носит название «огня». При 72-х камерах печь работает на 4-х «огнях». «Огонь» перемещается по печи «со скоростью» 24-28 часов на камеру. Удаление отходящих газов производится через обводной

газоход, расположенный вокруг печи и являющийся общим для всех камер. С помощью дымососов отходящие газы направляются в отделение газоочистки для их нейтрализации с последующим выбросом очищенных газов в атмосферу через трубу.

Предприятия ОК РУСАЛ производят анодные блоки разных типоразмеров и назначения. Для электролизеров средней мощности производятся блоки типа А размером 550x400, высотой 510 мм. На современных электролизерах широко применяются анодные блоки типов Б и В размером 1450x700, высотой 600 мм. Технические требования, предъявляемые к обожженным анодным блокам, разработаны швейцарской фирмой R&D Carbon Ltd. Наиболее значимые из них приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Показатели качества анодных блоков

Показатели качества	Типичное значение
Плотность: - объемная, кг/дм ³ , - истинная, кг/дм ³ , УЭС, мкОм·м.	1,53-1,58 2,05-2,08 52-60
Прочность: - на изгиб, МПа, - на сжатие, МПа.	8,0-12,0 32,0-48,0
Теплопроводность, Вт/м·К.	3,0-4,5
Реакционная способность в токе СО ₂ : - осыпание, %, - окисление, %. Зольность, %.	4,0-8,0 10,0-20,0 0,2-0,5
Содержание примесей, ppm: - S - Si - Fe - V - Na	1,2-2,4 100-300 100-500 80-260 200-600

Библиографический список

1. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров / Э.А. Янко. – М.: Руды и металлы, 2001г. – 672 с.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Москва: Бюро НДТ, 2016 г. 156 с.
3. Галевский, Г.В. Металлургия алюминия. Справочник по технологическим и конструктивным измерениям и расчетам. Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. Москва, 2017г. – 284 с.

АНАЛИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ Si – C – N И Si – C – H - N

Черновский Г.Н.

Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.,
д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.

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

Приведены результаты термодинамического моделирования процессов плазмообработки карбида кремния.

Ключевые слова: карбид кремния, плазмообработка, анализ, высокотемпературные взаимодействия.

Термодинамическое моделирование плазменных процессов модифицирования проведено с целью прогнозирования оптимальных параметров получения карбида кремния (соотношения компонентов и температуры), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в карбид, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы карбидообразования газофазных реакций, обеспечивающих в условиях плазмометаллургических технологий эффективную переработку дисперсного сырья.

В связи с использованием в процессах модифицирования в качестве кремнийсодержащего сырья карбида кремния и плазмообразующего газа – азота объектами исследования являлись системы Si-C-N и Si-C-H-N. Следует отметить, что система Si-C-H-N анализировалась ранее, но применительно к условиям использования в качестве восстановителя и карбидизатора пропана и без учета возможности образования в газовой фазе таких соединений, как HCN, Si₂C, SiC₂, углеводородных радикалов типа C₂H, C₃H и ряда других. Поэтому использование имеющихся данных о равновесных составах этих систем не представляется возможным вследствие существенного отличия соотношения компонентов по сравнению с достигаемыми в исследуемых плазменных процессах.

Необходимые для анализа равновесные составы газообразных и конденсированных продуктов синтеза рассчитывались "константным" методом. «Константный» метод основан на совместном решении следующих уравнений: закона действующих масс, материального баланса, суммарного числа молей газовой смеси, существования конденсированной фазы, закона Дальтона. При расчетах рассматривалась область температур 1000-6000 К при общем давлении в системе 0,1 МПа. Исходными данными служили константы равновесия реакций образования соединений из элементов. Температурная зависимость составов продуктов взаимодействия для исследуемых си-

стем рассчитывалась с использованием программ компьютерного моделирования «PLASMA» (ИХТТиМ СО РАН – СибГИУ).

Результаты термодинамических расчетов для системы Si-C-N приведены на рисунке 2 а, б. 100 %-ное превращение кремния в карбид достигается уже при стехиометрическом соотношении компонентов (рисунок 2 б).



В системе Si-C-N (рисунок 1), отвечающей условиям процесса модифицирования карбида кремния, карбид образуется в основном по реакции 1, реализация которой в условиях плазменного потока представляется кинетически маловероятной. Введение в систему водорода делает возможным развитие процесса карбидообразования по газофазной реакции (2) с участием циановодорода в соответствии с закономерностями высокотемпературных взаимодействий в системе Si-C-H-N (рисунок 2).

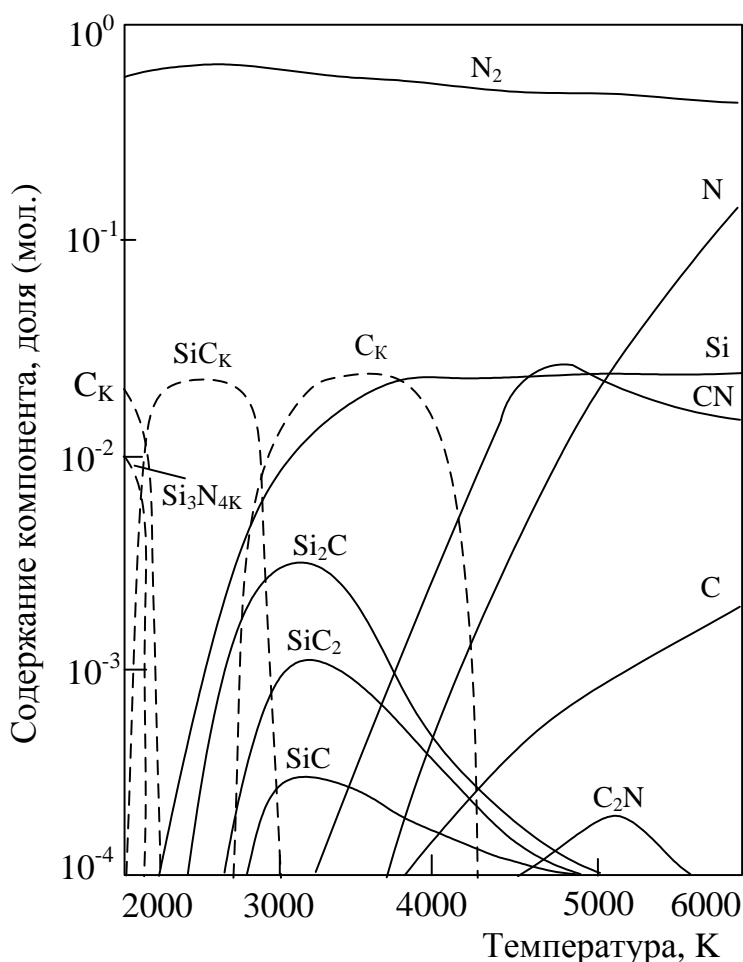
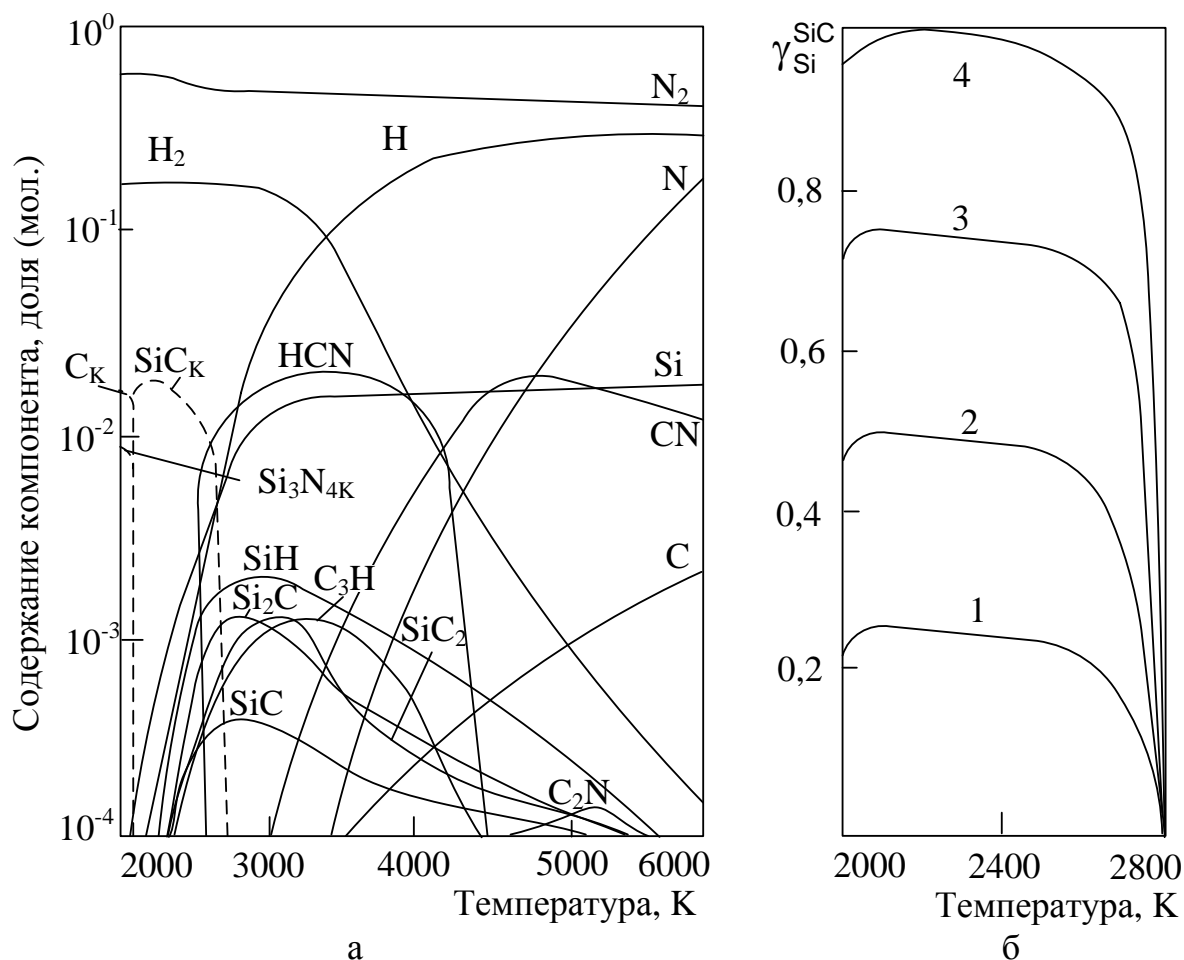


Рисунок 1 – Равновесные составы газовой и конденсированной фаз системы Si-C-N при соотношении Si:C:N = 1:1:60



а) равновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении (4) Si: C:H:N = 1:1:12:60 б) зависимость степени превращения Si в SiC от соотношения Si:C = 1:0,25 (1); 1:0,5 (2); 1:0,75 (3); 1:1 (4)
 Рисунок 2 – Результаты термодинамических расчетов системы Si-C-H-N

Проведенный термодинамический анализ систем Si-C-N и Si-C-H-N подтверждает, что в процессе плазменного модифицирования карбида кремния использование азотно-водородной плазмы представляется обязательным условием, обеспечивающим газификацию углерода в широком интервале температур и газофазный характер реакций карбидообразования.

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ДИСПЕРСНОСТИ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПРИ ПЛАЗМООБРАБОТКЕ

Черновский Г.Н.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.,
д-р техн. наук, профессор Руднева В.В.**

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

Исследовано изменение химического состава и дисперсности микропорошка карбида кремния при обработке его в плазменном потоке азота.

Ключевые слова: карбид кремния, плазма, обработка, азот, поток, химический состав, дисперсность.

В связи с постоянным ростом цен на синтетические алмазы для разнопрофильного абразивного инструмента активно исследуются возможности замены их в ряде случаев ближайшим кристаллографическим аналогом – карбидом кремния. При этом технологически более целесообразно использование карбида кремния в виде порошковой композиции, содержащей частицы микро- и наноуровневого размерных диапазонов. Однако известные способы смешивания порошков не позволяют решить эту задачу. Смесь нано- и микрочастиц карбида кремния может быть получена при плазменном модифицировании особо тонкого микрошлифпорошка карбида.

Плазменной обработке подвергался особо тонкий микрошлифпорошок карбида кремния марки КЗ 64С М2.

При проведении исследований в качестве теплоносителя использовался азот технической чистоты, содержащий до 5 % об. водорода. Начальная температура плазменного потока в зависимости от подводимой к реактору мощности составляла 4000, 4500, 5000, 5400 К. Закалка конденсированных продуктов обработки осуществлялась при температуре 3000 К путем адиабатического расширения газового потока на выходе из реактора в закалочно-осадительную камеру.

Изучалось влияние на процесс начальной температуры плазменного потока, крупности и массовой расходной концентрации микропорошка карбида кремния. Полученные результаты представлены в таблице и на рисунке.

При массовой расходной концентрации для микропорошка карбида кремния М2 0,06 кг/кг основным продуктом модифицирования является β -SiC, причем чем выше начальная температура плазменного потока, тем больше удельная поверхность, а, следовательно, и дисперсность частиц порошка. При более высокой массовой расходной концентрации микропорошка карбида кремния структурное превращение α -SiC_{II} → β -SiC полностью не происходит. При этом дисперсность продуктов плазменного модифицирования с воз-

растанием начальной температуры потока изменяется незначительно.

Таблица – Влияние начальной температуры плазменного потока на фазовый состав и дисперсность продуктов модифицирования микропорошка карбида кремния M2

Начальная температура плазменного потока, К	Массовая расходная концентрация микропорошка, кг/кг	Фазовый состав, % масс.		Удельная поверхность, м ² /кг
		β-SiC	α-SiC _{II}	
5400	0,06	95,0	5,0	30000
5000	0,06	89,0	11,0	24000
4500	0,06	39,0	61,0	19000
4000	0,06	25,0	75,0	18000
5400	0,12	23,0	77,0	22000
5000	0,12	22,0	78,0	17000
4500	0,12	15,0	85,0	13000
4000	0,12	12,0	88,0	11000

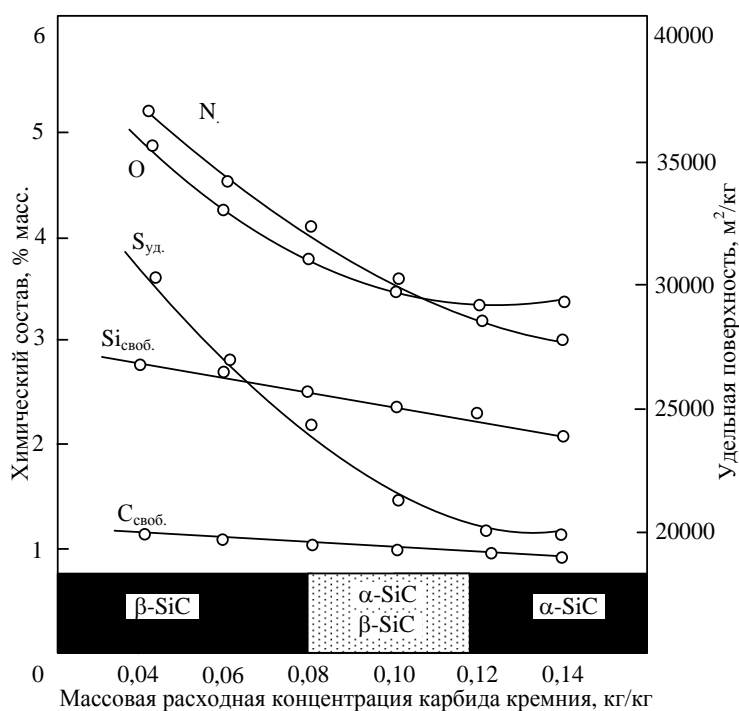


Рисунок 1 – Зависимость фазового и химического составов, удельной поверхности продуктов плазменного модифицирования от массовой расходной концентрации для микропорошка карбида кремния M2

Анализ полученных результатов показывает, что плазмообработка обеспечивает получение порошковой карбидокремниевой композиции, содержащей нано- и микрочастицы, и возможность управления их массовым соотношением.

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН АЛЮМИНИЯ А85 ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Шляров В.В., Бутакова К.А.

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

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

В работе исследуется влияние постоянного магнитного поля, напряженностью 79,5 кА/м, на структуру технически чистого алюминия марки А85. При исследовании микроструктуры алюминия был проанализирован минимальный, средний и максимальный размеры зерен.

Ключевые слова: алюминий, магнитное поле, структура, ползучесть, металлография, напряженность магнитного поля.

Введение

На сегодняшний день алюминий занимает лидирующее положение на рынке цветных металлов, широко применяется в машиностроении, электротехнической промышленности и приборостроении, промышленном и гражданском строительстве и т. д., поэтому вопрос модификации данного материала является весьма актуальной проблемой. Для модификации структуры материала используют различные методы воздействия, к которым можно отнести интенсивную пластическую деформацию [1], постоянные [2] и импульсные магнитные поля [3]. Как правило, используется горячая деформация, либо воздействия внешних полей на расплав, в то время как влияние внешних энергетических воздействий на структуру и механические свойства алюминия при комнатной температуре изучено недостаточно.

В связи с этим целью данной работы является изучение структуры технически чистого алюминия марки А85((до 0,08)Fe, (до 0,06)Si, (до 0,02)Mn, (до 0,008)Ti, (до 0,01)Cu, (до 0,02)Mg, (до 0,02)Zn, (до 0,03)Ga, ост. Al, мас.%)), разрушенного в условиях ползучести под действием постоянного магнитного поля.

Материалы и методы исследований

В качестве источника магнитного поля использовали электромагнит, напряженность магнитного поля не изменялась во всей серии испытаний и была равна 79,5 кА/м. Предварительно образцы из алюминия были разрушены в условиях ползучести при действии магнитного поля и без него. После разрыва образец помещали в форму для фиксации и заливали эпоксидной смолой. Для дальнейших исследований структуры материала методами оптической микроскопии производилась механическая шлифовка и полировка. Образцы шлифовали вручную на шлифовально – полировальном станке FORCIPOL 2 с использованием полировальных тканей и пасты, на основе

оксида хрома (III), с размерами частиц 8 – 17 мкм для получения зеркального блеска поверхности. Затем образцы химически травились раствором, составленным из HCl (50 %), HF (42 %), H₂O (8 %), для проявления структуры материала. Металлографический микроскоп OLYMPUS GX – 51 использовался для анализа структуры материала.

Результаты

Металлографические исследования зеренной структуры алюминия, разрушенного в условиях ползучести, позволил выявить зеренную неоднородность при удалении от поверхности разрушения.

На рисунке 1 представлены микроструктуры образцов алюминия, разрушенного в условиях ползучести под воздействием постоянного магнитного поля (МП) и без него.

Структура материала, характеризуется преимущественно анизотропными зернами, вытянутыми в направлении деформации образца. Средний размер зерен алюминия при ползучести составляет в обычных условиях – 24,2 мкм, при воздействии МП – 28 мкм.

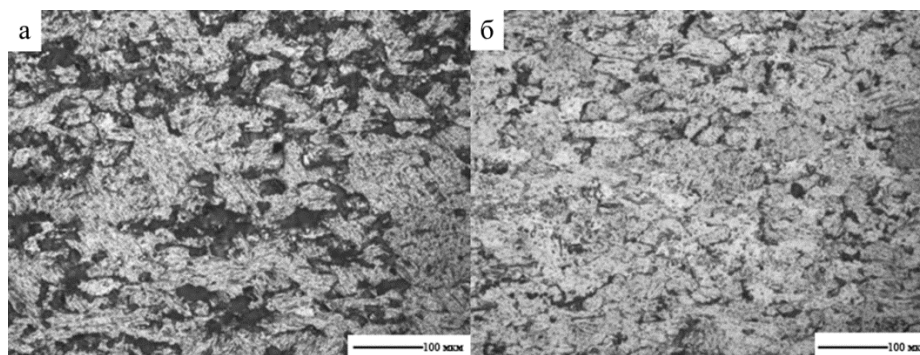


Рисунок 1 – Микроструктура алюминия, разрушенного при ползучести: (а) без воздействия магнитного поля, (б) при воздействии магнитного поля.

Было установлено, что средний и максимальный размер зерен при удалении от поверхности разрушения изменяется согласно данным представленным на рисунке 2.

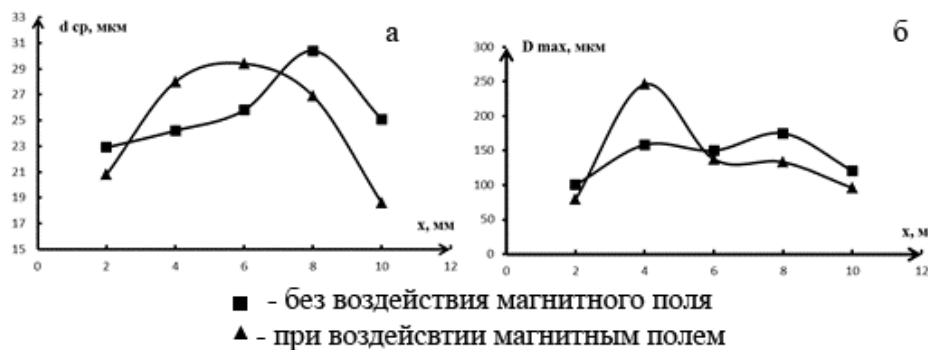


Рисунок 2 – Зависимость размера зерен $d_{ср}$ (а) и D_{max} (б) от расстояния до поверхности разрушения (x)

Происходит увеличение среднего размера зерен с достижение максимума (30,4 мкм) на расстоянии 8 мм от поверхности разрушения. При воздействии магнитным полем средний размер зерен меняется монотонно, от 2 мм до 6 мм происходит увеличение среднего размера зерен, при дальнейшем удалении от поверхности разрушения наблюдается снижение среднего размера зерен с достижением минимального значения 18,6 мкм на расстоянии 10 мм.

В работе также были проанализированы минимальные и максимальные размеры зерен в зависимости от расстояния до поверхности разрушения. Минимальное значение среднего размера зерен для всех исследуемых структур, не зависимо от воздействия и расстояния до поверхности разрушения, составляет 4,2 мкм. График максимального распределения зерен представлен на рисунке 2 (б).

Анализ максимального размера зерен показывает, что в целом размер зерен сохраняется, не зависимо от расстояния до поверхности разрушения. Отличие наблюдается лишь на расстоянии 4 мм от поверхности разрушения и составляет в обычных условиях – 158,3 мкм, а с воздействием магнитного поля – 245,8 мкм.

Заключение

Анализ микрофотографий показал, что структура материала, как в случае разрушения без магнитного поля, так и при разрушении с магнитным полем, характеризуется преимущественно анизотропными зернами, вытянутыми в направлении растяжения. Проводя сравнительный анализ параметров структуры алюминия было установлено, что при удалении от поверхности разрушения средний размер зерен постоянно увеличивается, не зависимо от воздействия. Установлено, что максимальный и минимальный размеры зерен сохраняются и не зависят расстояния до поверхности разрушения.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 3.1283.2017/4.6.

Библиографический список

1. Fakhimi D., Parsa M., Jafarian H. Microstructure and mechanical properties variations of pure aluminum subjected to one pass of ECAP-Conform process. *Materials Science and Engineering: A.* – 2019. – Vol. 747. – P. 120-129.
2. Chengshuai L., Shaodong H., Zhongming R., Yves F., Xi L. Effect of the simultaneous application of a high static magnetic field and a low alternating current on grain structure and grain boundary of pure aluminum. *Journal of Materials Science & Technology.* – 2018. – Vol. 34(12). – P. 2431-2438.
3. Chen H., Jie J., Fu Y., Ma H., Li T. Grain refinement of pure aluminum by direct current pulsed magnetic field and inoculation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China.* – 2014. – Vol. 24(5). – P. 1295-1300.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С-2, С-3

Гараев Р.Г.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Ноздрин И.В.

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

В статье отражены направления модернизации конструкции электролизеров и применения нового оборудования и материалов в технологическом процессе. Предлагаемые модернизации электролизеров позволят существенно снизить трудозатраты на обслуживание, повысит технико-экономические показатели процесса, значительно улучшит качество получаемого металла, понизит выбросы вредных веществ в атмосферу, а так же такие электролизеры будут соответствовать современным экологическим нормам.

Ключевые слова: электролизеры Содерберга, конструкция С-2, С-3, модернизация.

Электролизеры Содерберга, установленные на заводах России, конструкция которых разработана более полувека назад, в настоящее время работают на силе тока, которая давно превысила проектное значение. Кроме того, устаревшая конструкция электролизера по многим параметрам уже давно не отвечает все возрастающим экологическим требованиям.

Главная проблема электролизеров типа С-2, С-3 является конструкция самообжигающихся анодов. Высокие трудозатраты на обслуживание электролизера в целом, повышенные выбросы вредных веществ в окружающую среду, низкие технико-экономические показатели процесса.

При проведении модернизации следует учитывать конструкции существующих сооружений для минимизации затрат.

Конструктивные параметры электролизеров должны быть максимально приближены к параметрам современных электролизеров ОА. При этом удельные затраты на модернизацию электролизеров должны быть минимально возможными. Именно эта концепция положена в основу предлагаемой модернизации электролизеров Содерберга.

Поэтому предлагаемую модернизацию действующих электролизеров Содерберга, исходя из условия сохранения вида токоподвода к аноду, а также при сохранении конструкции действующего анода. При этом предполагается, что в дальнейшем будут решены проблемы, связанные с выделением ПАУ с поверхности анода. В настоящее время видно, что эти проблемы могут быть решены двумя путями. Разработка конструкции укрытия наданодного пространства, организация сбора и очистка газообразных веществ, выделяющихся с поверхности анода. При этом следует использовать хорошо зарекомендовавший себя опыт специалистов Норвегии, конструктивное ре-

шение которого для электролизеров неприемлемо [18].

Электролизеры АО «РУСАЛ Новокузнецк» не оснащены системой АПГ, что существенно увеличивает труд рабочего персонала, увеличивает количество выбросов вредных веществ в атмосферу, возрастает трудоемкость технологического процесса. Установка АПГ значительно уменьшит выбросы вредных веществ в атмосферу, облегчит труд рабочего персонала.

Использование не углеродсодержащих катодов при электролизе позволяет снизить напряжение в падине и, следовательно, уменьшить расход электроэнергии.

Главная проблема электролизеров типа С-2, С-3 является конструкция самообжигающихся анодов. Высокие трудозатраты на обслуживание электролизера в целом, повышенные выбросы вредных веществ в окружающую среду, низкие технико-экономические показатели процесса. В таблице 1 приведены технические решения и результаты, ожидаемые после их применения.

Повышение технологических параметров, уменьшение затрат на производство алюминия, уменьшение технологической нагрузки на окружающую среду возможны за счет реализации следующих направлений:

- замена анодного узла;
- использование новых футеровочных материалов;
- оснащение системой автоматической подачи глинозема (АПГ);
- внедрение системы сухой газоочистки;

Таблица 1 - Технологические решения модернизации электролизера С-2, С-3.

Технологические решения	Ожидаемые результаты
Переход на обожженные аноды	Снижение трудозатрат на обслуживание, понижение выбросов вредных веществ в атмосферу, повышение технико-экономических показателей процесса, повышение анодной плотности тока [7].
Установка АПГ	Стабилизация концентрации глинозема в электролите, снижение трудозатрат персонала на обслуживание, сокращение расстояния между анодом и бортом ванны [7].
Замена углеграфитовой бортовой футеровки на карбидокремниевые блоки	Значительное увеличение площади шахты (около 42,3 м ² , против ныне существующей 38,73 м ² для электролизера С-3) [12].
Переход на «сухую» газоочистку	Уменьшение выбросов в атмосферу, более качественное улавливание фтор соединений [7].

Замена анодного узла

Замена самообжигающихся анодов на обожженные □ это одно из важнейших путей совершенствования электролизного производства. Применение электролизеров с обожженными анодами гораздо предпочтительнее из-за от-

сутствия на них выбросов смолистых веществ и меньшего расхода электроэнергии. Кроме того, одним из основных достоинств электролизеров с ОА является возможность увеличения силы тока, что в сочетании с указанными преимуществами делает применение этой системы ванн наиболее перспективной [3].

Электролизеры с ОА имеют следующие преимущества перед электролизерами с СОА:

- падение напряжения в аноде меньше на 50-200 мВ, чем в анодах БТ и ВТ, соответственно;

- меньшие габариты и стоимость электролизеров, более облегченные и дешевые строительные конструкции;

- более высокая анодная плотность тока и съём металла с единицы площади анода и катода;

- расход анода составляет 430-475 кг/т алюминия (без огарков), против 515-560 кг/т алюминия на электролизерах с СОА;

- более высокий выход по току и меньший расход электроэнергии;

- меньший объём отходящих газов и отсутствие в них смолистых соединений;

- более высокое качество металла. К недостаткам электролизеров с ОА следует отнести:

- значительно более высокая стоимость обожженных анодов, чем анодной массы;

- сложность переработки анодных огарков;

- необходимость значительных капиталовложений в производство ОА.

Внедрение системы АПГ (автоматическая подача глинозема)

Внедрение систем АПГ. В настоящее время на многих заводах широким фронтом ведутся работы по внедрению систем АПГ, а на КРАЗе они практически завершены. Помимо основной цели – стабилизация концентрации глинозема в электролите и получение хорошо известных преимуществ, внедрение системы АПГ позволит сократить расстояние между анодом и бортом ванны.

Весьма эффективными в работе, в том числе по точности дозирования глинозёма, зарекомендовали себя дозаторы объёмно-механического принципа действия, в которых заполнение мерных ёмкостей производится самотёком, без контакта сырья со сжатым воздухом. Воздух используется лишь для привода механизмов пробойника и открытия дозирующего устройства. Это системы АПГ с секторными и клапанными дозаторами глинозёма.

Дозатор выполняет функции накопления объёмной дозы глинозёма и подачи её внутрь мундштука, из которого доза поступает на поверхность электролита. Пробойник размещается внутри мундштука и одновременно служит для открывания нижнего клапана дозатора. Нижний выпускной клапан постоянно находится в закрытом положении за счёт сжатия пружины.

После получения сигнала на пробой корки электролита шток пробойника перемещается вниз, пробивает корку электролита и одновременно перемещает шток дозатора. Тем самым открывается нижний клапан дозатора и порция гли-

нозёма ссыпается в мундштук, а верхний клапан прижимается к верхнему срезу мерного цилиндра и перекрывает доступ в него глинозёма из бункера. После подъёма пробойника нижний клапан перекрывает цилиндрический дозатор снизу и открывает его сверху для поступления новой дозы глинозёма.

Основная задача системы управления АПГ состоит в поддержании заданной концентрации глинозёма в электролите и регулировании частоты анодных эффектов. Современная стратегия контроля Al_2O_3 в электролите основана на мониторинге псевдосопротивления электролизёра. Этот параметр зависит от величины МПР и концентрации глинозёма, будучи функцией обеих этих величин. Поэтому показатель сопротивления ванны не может быть использован для определения концентрации Al_2O_3 напрямую. Такое определение может быть сделано только при постоянном значении МПР или с соответствующей корректировкой.

Основа управления работой наиболее распространённых АПГ клапанного и секторного типа построена на нескольких скоростях питания глинозёмом. На самом деле, доза глинозёма, подаваемая питателем, всегда одна, изменяется только частота срабатывания дозатора: при наращивании концентрации глинозёма в электролите («перепитка») подача идёт с большей частотой, при снижении концентрации («недопитка») частота срабатывания дозатора замедляется.

Все имеющиеся стратегии управления питанием электролизера глинозёмом являются разновидностями трех алгоритмов [1]:

- питание по необходимости;
- недостаточное / избыточное питание;
- трехступенчатый алгоритм.

Алгоритм «питание по необходимости» применим только для электролизеров, оснащенных балочной системой питания. После обработки ванны спустя некоторое время концентрация глинозёма начнет снижаться, а приведенное напряжение начнет увеличиваться. Заметив рост приведенного напряжения, его используют для начала подачи глинозёма, продавливая для этого корку электролита [2]

Алгоритм по типу «недостаточное питание □ избыточное питание», используется на электролизерах, оборудованных системами АПГ с точечным питанием. При использовании этого алгоритма глинозём загружается в электролит в заведомо меньшем количестве, чем расчетная потребность в глинозёме. По изменениям приведенного напряжения отслеживают момент возникновения потребности электролизера в глинозёме и переходят на режим работы питателей «избыточное питание».

При «трехступенчатом алгоритме» цикл питания начинается с базовой дозы, равной технологически необходимому количеству глинозёма, при этом приведенное напряжение остается практически постоянным. В этот период производятся все перемещения анода, после чего в режиме недостаточного питания происходит рост приведенного напряжения, а затем следует переход

на избыточное питание.

Применение новых футеровочных материалов

В настоящее время существует тенденция использования новых футеровочных материалов, которые постоянно совершенствуются.

Применение высокоэффективных материалов бортов и цоколя электролизера – одно из важнейших направлений снижения удельных энергетических затрат при производстве первичного алюминия. Практика показала, что выбор оптимальной конструкции футеровки позволяет обеспечить [3]:

- снижение теплотерь в окружающую среду, и как следствие возможность работы при низком рабочем напряжении до 4,2 В;
- поддержание оптимального температурного режима процесса электролиза (950-960 °С);
- компенсацию температурных деформаций, возникающих при разогреве электролизера, без нарушения целостности футеровки;
- защиту стального кожуха электролизера от локальных перегревов;
- снижение риска создания аварийных ситуаций по прорыву расплавленного металла и электролита;
- существенное повышение срока службы электролизеров;
- увеличение площади расплава и рабочей поверхности анода за счет уменьшения толщины бортовой футеровки.

Футеровка современного сверхмощного электролизера состоит из огнеупорного цоколя, углеграфитовой подины и бортовой карбидокремниевой футеровки, а ее конструкция определяется энергетическими расчетами и тепловым балансом. Критерий выбора угольных подовых и бортовых материалов, методики их тестирования в условиях современного электролиза следуют тенденциям, заложенным М.Б. Рапопортом [4].

Установка адсорбционной «сухой» отчистки газов

Очистка газов происходит за счет адсорбции гидрофторида глинозема. Разработчик технологии ОАО «СибВАМИ» г. Иркутск. Данная технология уже применяется на производственных площадках объединенной компании «РУСАЛ». Основным продуктом процесса адсорбционной "сухой" очистки газов электролизного производства являются очищенные газы, выбрасываемые в атмосферу. Товарным продуктом установок "сухой" газоочистки является глинозем вторичный (фторированный).

Анодные газы от электролизеров в ГОУ поступают по газоходу, обозначенному на рисунке надписью «Газ на очистку». Далее газы поступают в два реактора-адсорбера, в качестве которых применяются «сухие» скруббера типа «Вентури» разработки ОАО «СибВАМИ» (поз.6,7). Данный тип реактора имеет простую конструкцию и низкое потребление энергии, при этом позволяет создать высокую турбулентность газового потока внутри аппарата, обеспечивая максимальную степень контакта газа с частицами глинозема. Одновременно с газом в реактор-адсорбер подается свежий глинозем. Это осуществляется по следующей технологической линии: расходный бункер

(поз.12) → ножевая заслонка → питатель свежего глинозема (поз.15) → вибросито для очистки свежего глинозема (поз.14) → распределительная коробка (поз.18) → секторные затворы (поз.16) → аэрожелоба свежего глинозема (поз.19,20). Для создания аэрофонтанного режима свежий глинозем подается над горловиной реактора-адсорбера. В режиме аэровзвеси происходит процесс адсорбции фтористого водорода оксидом алюминия. После реакторов-адсорберов газ, содержащий глинозем и пыль, поступает в рукавный фильтр типа ФРИА-900 (поз.9) разработки ЗАО «СФ НИИОГАЗ», устанавливаемый за реактором. Эффективность газоочистки в целом зависит от времени пребывания (контакта) очищаемых газов в реакторе, толщины напыленного слоя адсорбента (глинозема) на рукавах фильтра и от величины адсорбционной емкости применяемого глинозема. Регенерация рукавов фильтра осуществляется импульсной продувкой осушенным сжатым воздухом с давлением 0,2 МПа. Импульсная регенерация рукавного фильтра управляется системой автоматизации по заданной программе. Уловленный на рукавах фильтра фторированный глинозем под воздействием импульсной продувки отряхивается в бункерную часть рукавного фильтра, а затем с помощью аэрожелоба в днище бункера, выводится из фильтра. На выходе предусмотрены две транспортные линии глинозема. Первая линия через секторный затвор возвращает часть глинозема на рециркуляцию в реакторы. Вторая линия обеспечивает поступление фторированного глинозема в бункер (поз.13), из которого через систему централизованной раздачи глинозема (ЦРГ), глинозем раздается по электролизерам [5].

Количество свежего глинозема, подаваемого на «сухую» газоочистку, составляет 100 % (3,2 т/ч) от общего количества глинозема, необходимого для получения алюминия сырца на 25 электролизерах РА-167. Кроме того, предусматривается обводная линия свежего глинозема. Это осуществляется по следующей технологической линии: ножевая заслонка → секторный затвор → аэрожелоб аварийной разгрузки (поз.17), позволяющая, в случае каких либо неисправностей с газоочистным оборудованием, обеспечить подачу свежего глинозема непосредственно напрямую в бункер фторированного глинозема. Одновременно с этим, данная линия позволяет осуществлять подачу свежего глинозема в реакторы при ремонте или внеплановой остановке вибросита. При возникновении перебоев с подачей свежего глинозема, газоочистная установка может кратковременно работать в режиме 100% рециркуляции глинозема (но не более 6-8 часов). В этом случае ножевая заслонка на транспортной линии в бункер фторированного глинозема закрывается, а линия рециркуляции - ножевая заслонка → секторный затвор запускается в работу. После рукавного фильтра газы, очищенные от фтористых соединений и пыли, дымососами типа Д-15,5ТС (поз.10), выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу (поз.11). Для автоматического контроля и управления технологическим процессом очистки электролизных газов по заданным параметрам, установка «сухой» очистки газов оснащается

АСУТП «Газоочистка», подробное описание которой приводится в ТРП 451.06.03.01 «Процесс адсорбционной «сухой» очистки электролизных газов». Для проведения инструментального контроля, сборные газоходы от 9 и 10 корпусов оборудованы будками отбора проб(замерными станциями), в которых находятся замерные точки и приборы непрерывного измерения величины разрежения и температуры отходящих газов. К каждой замерной станции подведен трубопровод сжатого воздуха с запорным вентилем. Замерными точками так же оборудованы: входной газоход, газоходы перед входом в каждый реактор, газоход «чистого» газа. Эти точки оснащены розетками для подключения измерительных приборов [5].

Для автоматического контроля и управления технологическим процессом очистки электролизных газов по заданным параметрам, установка «сухой» очистки газов оснащается АСУТП «Газоочистка».

Библиографический список

1. Производство цветных металлов : учеб. пособие / Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – М. : ФЛИНТА : Наука, 2016. – 256 с. : ил.
2. Технологические и конструктивные измерения и расчеты в производстве алюминия : учеб. пособие / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, В.В. Руднева. – М. : ФЛИНТА : Наука, 2017. – 218 с. : ил.
3. Крюковский В.А. Перспективы производства алюминия – переход на обожженные аноды // Цветные металлы. В.А. Крюковский – 2008 № 4. – 49 с.
4. Metallurgy of aluminum. Electrolyzers with anode of Soderberg and their modernization: textbook for universities / G.V. Galievskiy, M.Ya. Minitsis, G.A. Siraizutdinov – M. : Flinta : Nauka, 2008. – 239 p. : il.
5. Галевский Г.В. Metallurgy of aluminum. Technology, electrosupply, automation: учеб. пособие / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Флинта : Наука, 2008. – 528 с.

УДК 669

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ПОРОШКА ВВ751П НА ПОДЛОЖКУ СПЛАВА ВТ20

Осинцев К.А., Голубева А.А., Носова Е.А., Смелов В.Г.

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

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, e-mail: kirilloss@yandex.ru

С помощью селективного лазерного плавления порошка жаропрочного никелевого сплава ВВ751П были сформированы покрытия на подложке ти-

танового сплава VT20. Были проведены исследования толщины и элементной структуры покрытий, а также испытания на микротвердость. Установлено, что толщина полученных покрытий варьируется от 30 до 60 мкм, микротвердость покрытий в 2,6 раз больше микротвердости подложки.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление, аддитивные технологии, жаропрочность, формирование покрытия, титан VT20, порошок ВВ751П.

В настоящее время аддитивные технологии являются активно развивающейся отраслью, которая находит своё применение во многих областях, таких как машиностроение, авиационная и аэрокосмическая промышленности, медицина и другие [1-3]. Селективное лазерное плавление является одним из перспективных методов аддитивных технологий, с помощью которого можно формировать, как однокомпонентные, так и композиционные материалы [4]. Целью данной работы является исследование микроструктуры и микротвердости покрытий, сформированных методом селективного лазерного плавления порошка никелевого сплава ВВ751П на подложку сплава VT20.

В качестве материала подложки были использованы образцы титанового сплава VT20 с размерами $200 \times 25 \times 4$ мм³, который применяется для изготовления деталей, длительно работающих при высоких температурах. Порошок жаропрочного никелевого сплава ВВ751П с размером гранул 50 мкм был нанесен на образцы, и методом селективного лазерного плавления было сформировано покрытие. Формирование покрытия проводилось при следующих параметрах: мощность лазерного излучения – 325 Вт, скорость движения лазера – 760 мм/с, толщина слоя – 50 мкм, шаг лазера – 120 мкм, защитная среда – аргон, стратегия нанесения покрытия – штриховка под углом 45°.

Была исследована микроструктура и толщина покрытий с помощью микроструктурного метода на металлографическом микроскопе металлографическом МЕТАМ РВ-34. Проведены испытания на микротвердость на микротвердомере HV-1000 в 3 областях, образовавшихся в образцах в результате селективного лазерного плавления: в покрытии, зоне диффузионного смешивания и подложке. Измерения микротвердости в подложке проводили на расстоянии 5, 10 и 15 мкм от границы с покрытием. На каждом расстоянии было получено 10 отпечатков. Нагрузка на индентор составляла 0,5 Н.

В результате металлографических исследований было установлено, что в структуре покрытий имеются трещины под углом 45-90° к поверхности модифицирования, а также неравномерное распределение толщины. Было определено, что там, где охлаждение образца в камере прибора происходило с двух сторон относительно других образцов, наблюдалась наибольшая толщина покрытия равная $57,1 \pm 3,7$ мкм, где охлаждение происходило только с одной стороны – $34,4 \pm 4,2$ мкм, а в части образца, находящейся в середине – наименьшее значение толщины покрытия равно $28,9 \pm 4,6$ мкм.

Микротвердость покрытия равна $881,8 \pm 15$ HV, зоны диффузионного смешивания – $839,8 \pm 22$ HV, подложки на расстоянии 5 мкм – $374,6 \pm 4$ HV, 10

мкм – $359,8 \pm 11$ HV, 15 мкм – $337,2 \pm 6$ HV. Полученные данные показывают, что покрытия из жаропрочного никелевого сплава ВВ751П имеют микротвердость в $\approx 2,6$ раза выше, чем микротвердость подложки из сплава ВТ20.

Селективное лазерное плавление порошка жаропрочного никелевого сплава ВВ751П на подложке из титанового сплава ВТ20 позволяет получить покрытия с толщиной, варьирующейся от 30 до 60 мкм, в зависимости от условий охлаждения. Наибольшее значение толщины покрытий достигается при охлаждении образца с двух сторон. Среднее значение микротвердости покрытий равно 840 HV, что в 2,6 раз больше, чем микротвердость подложки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение №14.578.21.0228, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57817X0228).

Библиографический список

1. Wang, Y. Additive Manufacturing Based on Welding Arc: A low-Cost Method / Y. Wang, X. Chen, S.V. Konovalov // J. of Surf. Invest. – 2017. – V. 11 (6). – pp. 1317-1328.

2. Beevers, E. Fatigue properties and material characteristics of additively manufactured AlSi10Mg – Effect of the contour parameter on the microstructure, density, residual stress, roughness and mechanical properties / E. Beevers, A.D. Brandão, J. Gumpinger et al. // Int. J. of Fatigue. – 2018. – V. 117. – pp. 148-162.

3. Mani, M. A review on measurement science needs for real-time control of additive manufacturing metal powder bed fusion processes / Mani M., Lane B.M., M.A. Donmez et al. // Int. J. of Prod. Res. – 2017. – V. 55 (5). – pp. 1400-1418.

4. King, D., Selective laser melting for the preparation of an ultra-high temperature ceramic coating / D. King, J. Middendorf, K. Cissel et al. // Ceramics International. – 2019. – V. 45 (2). – pp. 2466-2473.

УДК 621. 777.06:621.778.1

ВОЗМОЖНОЕ ПАРТНЕРСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ОАО “НКАЗ” И АО “ЕВРЕЗ ЗСМК” С ПЕРСПЕКТИВОЙ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ

Спатарь В.А., Захарова О.С.

Научный руководитель д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: 1263sba@mail.ru*

Современная ситуация в мире характерна не дружескими санкциями со стороны ряда государств по отношению к России и, в частности ее алюминиевой промышленности. В сложных политических и экономических условиях необходимо более тесно использовать партнерские отношения между предпри-

ятиями металлургической отрасли. В статье показана возможность взаимовыгодного партнерства в освоении новых видов высококоморженальной продукции между ОАО “Новокузнецкий алюминиевый завод” и АО “ЕВРАЗ ЗСМК”.

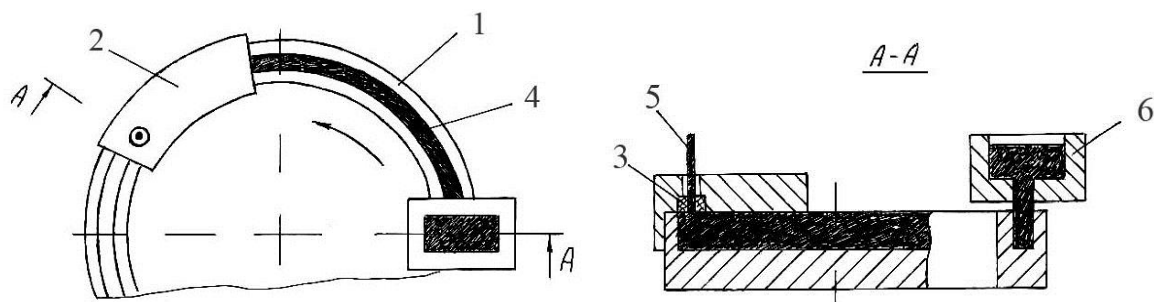
Ключевые слова: взаимовыгодное партнерство, процесс литья-прессования, волочение проволоки.

В настоящее время ОАО “Новокузнецкий алюминиевый завод” (ОАО “НКАЗ”) выпускает продукцию низкого передела в виде слитков. Согласно объективным законам экономики, чем глубже переработка, тем выше прибыль предприятия. В связи с применяемыми санкциями со стороны ряда стран в отношении России наблюдается избыток алюминия низкого передела. Данная ситуация требует решения, в связи с чем, правительство России поставило задачу увеличения выпуска алюминиевых профилей более высокого передела и в особенности проволоки для внутреннего потребления. Пересматриваются нормативы по использованию алюминиевой проволоки для бытовых нужд, что существенно расширит рынок сбыта, и вызовет необходимость в короткий срок нарастить производство проволоки.

Исходя из вышеизложенного, целесообразно часть продукции ОАО “Новокузнецкий алюминиевый завод” выпускать в виде проволоки с высокой долей добавочной стоимости. Для сокращения времени освоения и минимизации затрат на производство целесообразно объединить усилия, и использовать резервное оборудование сталепрокатного производства АО “ЕВРАЗ ЗСМК” для обработки волочением алюминиевой заготовки ОАО “Новокузнецкий алюминиевый завод”.

Как было отмечено выше, в настоящее время основной продукцией ОАО “НКАЗ” являются слитки. Для создания условий партнерского взаимодействия с АО “ЕВРАЗ ЗСМК” необходимо организовать получение на ОАО “НКАЗ” круглой заготовки диаметром от 9 до 12 мм. Решение данной задачи в кратчайший срок с минимальными затратами возможно за счет использования современных совмещенных процессов литья-прессования способом “Конформ” [1, 2] или прокатки-прессования [3, 4]. Оба процесса основаны на использовании сил трения для формоизменения металла и достаточно хорошо описаны в работах [5, 6]. С учетом условий и специфики ОАО “НКАЗ”, критически оценивая процесс литья-прессования способом “Конформ” и прокатки-прессования следует отдать предпочтение первому процессу. Схема установки, реализующей процесс литья-прессования способом “Конформ”, приведена на рисунке 1. Готовая продукция получается из расплава, заливаемого в литейную коробку и литейную канавку. По мере вращения рабочего колеса-кристаллизатора расплав кристаллизуется и попадает в объем, ограниченный с одной стороны стенками желоба, с другой - башмаком с упором. Благодаря контактными силам трения на поверхности желоба создаются условия, обеспечивающие процесс прессования. Меняя матрицу, можно получить заготовки разного диаметра. Производительность установ-

ки зависит от диаметра рабочего колеса-кристаллизатора, мощности привода, диаметра получаемой заготовки и составляет 2 - 3 тонны в час [7].



1 – рабочее колесо – кристаллизатор; 2 – башмак; 3 – матрица;
4 – литейная канавка; 5 – готовое изделие; 6 – литниковая коробка

Рисунок 1 – Схема агрегата литья-прессования “Конформ”

Дальнейшую переработку заготовки на проволоку целесообразно проводить на оборудовании сталепрокатного производства АО “ЕВРАЗ ЗСМК”. Такой подход позволит загрузить простаивающее оборудование, тем самым существенно сэкономив средства, воспользоваться производственными площадями сталепрокатного производства ОА “ЕВРАЗ ЗСМК” и опытом обслуживающего персонала.

Потенциальными потребителями продукции могут быть заводы по изготовлению кабелей для промышленности и бытового потребления. Например, заводы: Луки-Кабель (Псковская обл. г. Великие Луки), Марпосадкабель (Чувашская республика г. Мариинский Посад), Псковский кабельный завод (Псковская обл. г. Псков), Алтайский кабельный завод (Алтайский край с. Поспелиха), Волгодонский кабельный завод (Ростовская обл. г. Волгодонск) и др.

Экономическая эффективность от сотрудничества ОАО “НКАЗ” и АО “ЕВРАЗ ЗСМК” заключается в высокой добавочной стоимости алюминиевой проволоки. Оценить экономическую эффективность можно пользуясь общедоступными источниками в интернете, согласно которым стоимость алюминия в слитках (или чушках) 88 – 114 тыс. рублей за тонну, а стоимость алюминиевой проволоки диаметром от 2 до 5 мм - 280 тыс. рублей за тонну. С учетом стоимости передела, обычно составляющей 30% от стоимости заготовки экономическая, эффективность составит 150 тыс. рублей за тонну.

Выводы: Показана возможность партнерского сотрудничества ОАО НКАЗ и ОА ЕВРАЗ ЗСМК в освоении новой высокоморфенальной продукции четвертого передела.

Библиографический список

1. Фастыковский А.Р., Рыков К.В. Развитие способа непрерывного прессования “Конформ” // Всероссийская научно – практическая конференция. Metallurgy: технологии, управление, инновации, качество. – Новокузнецк. СибГИУ. 2012. – С. 68 – 69.

2. Фастыковский А.Р., Селиванова Е.В., Федоров А.А. Совершенствование непрерывного прессования способом “Конформ”. “Металлургия: технологии, инновации, качество” XX Международная научно-практическая конференция. – Новокузнецк 15-16 ноября 2017. с. 169 – 172

3. Fastyskovskii A.R. Region for Extruding and Effective Deformation Modes // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2011. – Vol. 52 – №3. – pp. 230 – 233.

4. Фастыковский А.Р. Экспериментальное изучение процесса прокатки – прессования // Кузнечно – штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2010. - №11. – С. 11 – 14.

5. 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.

6. Фастыковский А.Р., Перетятыко В.Н. Изучение резервных сил трения при прокатке в вытяжных калибрах // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. - № 4. – С. 22 – 24.

7. Kontinuierliches Strangpressen und Weiterentwicklung durch das Conform – Verfahren //Drat und Kabel Panorama. Februar. – 1987. – P.58 – 61.

УДК 620.183.27

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ТРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА БРАЖ9-4

Чаплыгин К.К.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Воронин С.В.

Самарский университет, г. Самара, e-mail: chapkostya96@mail.ru

В работе представлены результаты экспериментов по травлению алюминиево-железистой бронзы БрАЖ9-4. Подбор электролита, напряжения и силы тока. Данное исследование проводилось для получения ярко-выраженной интерференционной картины в поляризованном свете, а также получения качественного изображения микроструктуры материала для дальнейшего исследования поверхности образца при помощи сканирующего зондового микроскопа.

Ключевые слова: бронза, металлография, травление, электролит, сканирующая зондовая микроскопия, поляризованный свет.

Для определения кристаллографической ориентации и модуля упругости, которые определяют степень анизотропии материала, в работе [1] предложена методика определения кристаллографической ориентации при помощи интерференционной картины в поляризованном свете. Методика базируется на том, что цвет отдельных зерен в поляризованном свете определя-

ется толщиной окисной пленки на поверхности зерна, которая зависит от кристаллографической ориентации этого зерна [2]. В источниках [3,4], приведена зависимость модуля упругости от кристаллографической ориентации отдельных зерен. Основываясь на данных приведенных в этих источниках, была сформулирована методика, которая в работе [1] была апробирована на алюминиевом сплаве АД1.

В данной работе приведены результаты электролитического травления сплава БрАЖ9-4 в рамках апробации методики определения кристаллографической ориентации в поляризованном свете на различных сплавах. Как и для сплава АД1, на поверхности сплава БрАЖ9-4 необходимо было получить ярко выраженную интерференционную картину, а также качественное изображение микроструктуры. Для этого необходимо было подобрать режимы травления.

В качестве электролита для алюминиевых сплавов можно применять раствор из плавиковой и борной кислот и дистиллированной воды. Однако преобладающим элементом в сплаве БрАЖ9-4 является медь. В [5] приведены типы электролитов и режимы травления, подходящие, как для меди и бронзы отдельно, так и универсальные режимы и электролиты для обоих типов сплавов. Одним из таких электролитов является раствор плавиковой кислоты.

Для определения наиболее подходящих режимов травления было подготовлено 2 образца сплава БрАЖ9-4, каждый из которых имел диаметр поверхности шлифа 20 мм. Электролитическое травление первого образца происходило по режимам, описанным в [5], а именно силе тока 1,2 А (из расчета плотности тока $0,4 \text{ А/см}^2$) и напряжении 20 В. Второй образец подвергался режимам травления в растворе плавиковой и борной кислот и дистиллированной воды, при режимах травления, как для АД1 т.е. при силе тока 1,7 А и напряжении 100 В.

Травления обоих образцов производилось с интервалами в 15 секунд, на каждом интервале поверхность образца фиксировалась при помощи фотоаппарата.

В ходе травления первый образец не претерпевал значительных изменений в наблюдаемой структуре, а при травлении свыше 45 секунд поверхность визуально не изменялась. Далее было принято решение прекратить травление, так как структура образца потемнела и дальнейшего изменения наблюдаемого изображения не происходило. Для травления второго образца достаточно было 1,5-2 минуты. В данном промежутке времени наблюдается наиболее ярковыраженная структура, границы зерен, а также визуальная различимость фаз. Свыше 2 минут структура также начала темнеть, как и для первого образца, но не так интенсивно.

По результатам двух экспериментов был сделан вывод, что ранее применяемые для алюминиевых сплавов режимы электролитического травления пригодны и для алюминий-железистых бронз. Предполагается, что это связано с высоким содержанием алюминия в сплаве БрАЖ9-4 (8-10 % алюминия).

При наблюдении поверхности образца в поляризованном свете, ранее

наблюдаемые на АД1 цвета не наблюдались, так же как и для сплава АК12 в работе [6], что связано с тем, что и БрАЖ9-4 имеет в своём составе вторичную фазу, которая выступает по границам зерен α -фазы, и, предположительно, препятствует образованию окисной пленки, необходимой для наблюдения ярковыраженной интерференционной картины.

Библиографический список

1. Воронин С.В, Чаплыгин К.К.. Методика определения кристаллографической ориентации зерен алюминиевого сплава АД1 в поляризованном свете. // Вестник московского авиационного института. 2018 Т.25 № 1 С. 202-208.

2 Киселева, С.А. Цветная металлография [Текст]: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии / С.А. Киселева, Г.А. Файцилевич - Москва - 1960 - 109 с.

3 Микляев, П.Г. Анизотропия механических свойств металлов [Текст]: 2-е изд., переработанное и дополненное / П.Г. Микляев, Я.Б.Фридман. – М.:Металлургия, - 1986. – 224 с.

4 Бадамшин, И.Х. От четырех к одному. Силы внутриаомного взаимодействия и прочность материалов [Текст]: монография. 2-е изд., переработанное и дополненное – М.: Издательский дом Академии естествознания, 2016. – 134 с.

5 Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов [Текст]: М:Металлургия 1988 -320 с.

6 Чаплыгин К.К. Исследование механических свойств дендритов α -твердого раствора в сплаве АК12 методом сканирующей зондовой микроскопии. // Сборник тезисов докладов XLIV международной молодежной конференции Гагаринские чтения 2018. 2018 Т.3, С. 361-362

УДК 621.778.1.03

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Федорова М.В., Устинова А.Г.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Филиппова М.В.

Сибирский государственный индустриальный университет?

г. Новокузнецк, e-mail: fedorova.online@gmail.com

В данной работе рассматривается эффективность применения поликристаллических волок из синтетических алмазов по сравнению с твердосплавными волоками. Поликристаллические волоки отличаются высокой степенью износостойкости, имеют низкое значение коррозионного износа и более длительный срок службы. Исследования проведенные на АО «ЕВРАЗ

ЗСМК» по замене твердосплавных волок показали, что применение поликристаллических фильер приведет к снижению затрат на волочильный инструмент, а также к уменьшению простоев волочильных станов в связи с уменьшением количества заправки волочильного инструмента и других подсобных операций.

Ключевые слова: волочение, поликристаллическая волока из синтетических алмазов, твердосплавная волока, износостойкость, деформация, проволока, волочильный стан.

На участке среднего волочения сталепрокатного производства АО ЕВРАЗ ЗСМК для получения стальной проволоки обыкновенного качества используют твердосплавные волоки ВК 6 производства Кировоградского завода твердых сплавов. Основным источником износа является деформация поверхности наиболее нагруженной зоны волоки в процессе волочения, что приводит к появлению кольца износа – радиальной канавки (рис. 1), что делает волочильный инструмент не пригодным для дальнейшего использования [1]. Данное обстоятельство объясняется несовершенством используемого твердосплавного волочильного инструмента.

Как показывает практика работоспособность волочильного инструмента определяется его стойкостью к разрушению. Поэтому материал для изготовления волок должен обладать высокими прочностными характеристиками при температурах эксплуатации; вязкостью, необходимой для предупреждения поломок и выкрашивания; сопротивлением термической и механической усталости при действии высоких нагрузок; сопротивлением абразивному износу; прокаливаемостью, обеспечивающей заданные механические свойства в результате термообработки; жаростойкостью; теплопроводностью, необходимой для уменьшения нагрева прочностью и твердостью, повышенным сопротивлением абразивному износу и уменьшенной склонностью к налипанию.

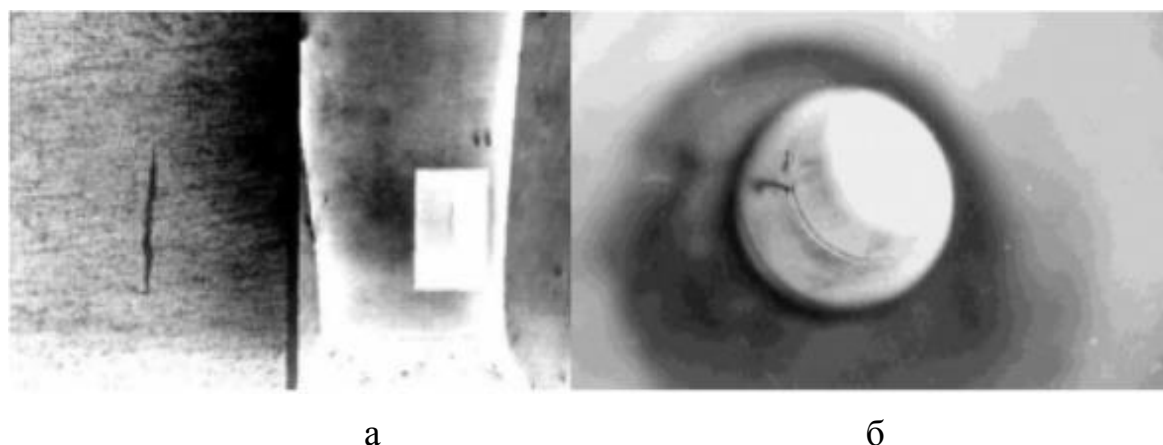


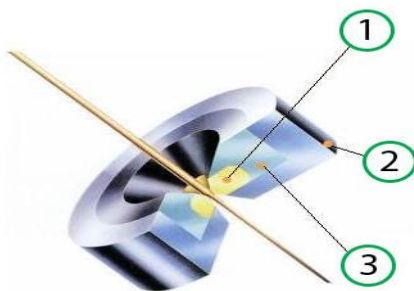
Рисунок 1 - Радиальная канавка износа по: а – разрезу волоки; б – виду рабочей зоны

Исходя из этих предпосылок на участке грубого волочения сталепрокатного производства ЕВРАЗ ЗСМК в августе – сентябре 2017 года, проводились испытания с применением поликристаллических волок из синтетических алмазов, производства ТД «Кристал ЛТД» в качестве волочильного инструмента. Алмазный волочильный инструмент диаметром 4,02 был установлен на чистовом блоке волочильного стана № 73. В процессе работы определяли количество остаточной смазки на поверхности проволоки и стойкость волочильного инструмента.

По данным испытаний выявлено, что стойкость алмазного волочильного инструмента составила 301,76 т/волоку, при стойкости волочильного инструмента используемого в сталепрокатном производстве на участке грубого волочения, которая составила 12,4 т/волоку. Следовательно, стойкость поликристаллической волоки в 24,3 раза выше чем стойкость твердосплавных волок. Данное обстоятельство приведет к снижению затрат на волочильный инструмент.

Фильтеры из синтетического поликристаллического алмаза состоят из миллионов кристаллов, которые за счет катализатора, высокого давления и высокой температуры имеют очень прочное сцепление. В настоящее время волоки из синтетических алмазов, на ряде предприятий, практически вытеснили волоки из карбида вольфрама, которые широко использовались для производства стальной проволоки. Волоки из синтетических алмазов заменили твердосплавные почти на всех операциях грубого, среднего и даже тонкого волочения.

Поликристаллические волоки из синтетических алмазов отличаются своей высокой степенью износостойкостью (рисунок 2), имеют низкое значение коррозионного износа более длительный срок службы, становятся все дешевле и используются все более широко. Благодаря этому появляется возможность производить проволоку, у которой параметр качества рабочей поверхности намного выше среднего.



- 1 - Поликристаллические алмазы; 2 - Нержавеющая сталь;
3 - Металлокерамический сплав из порошка

Рисунок 2 - Структура алмазной волоки

Волоки из синтетических алмазов могут использоваться даже при большой скорости волочения на многониточных, многоходовых волочиль-

ных машинах. При этом сохраняется качество выдаваемой продукции, а структура самого изделия не подвергается разрушению [2].

При применении поликристаллических волок, для улучшения работы необходимо дополнительно организовать принудительное охлаждение рабочего инструмента. Это возможно сделать за счет омывания рабочего инструмента водой.

В ходе проведенных работ можно сделать следующие выводы поликристаллические волокна:

- обладают высокой прочностью, которая позволяет исключить процесс растрескивания и фатального изменения структуры материала даже при высоких температурных и механических нагрузках;
- имеют большой срок службы без необходимости замены;
- простота технического обслуживания и установки на рабочую площадку совместимого оборудования;
- приемлемая стоимость при сохранении высокого качества изделия, что обусловлено грамотным, технологическим процессом изготовления детали и высоким качеством используемого сырья;
- по мере износа располировываются на больший диаметр;
- проволока получается гладкой, без царапин и точно выдержанной по диаметру;
- уменьшается простой машин из-за заправки волочильного инструмента и других подсобных операций.

В заключение отметим, данное исследование показывает целесообразность замены твердосплавных волок на поликристаллические волокна для производства проволоки на волочильных станах.

Библиографический список

1. Ковалевский В.Н., Сачава Д.Г. Повышение вязкости разрушения волок для волочения проволоки// Вестник БНТУ № 1. 2009, с. 22.
2. Тайвань Метиз Альянс [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.metiz.com.tw/tools_drawing.htm, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 621.73

МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ

Вахман С.А., Филиппова М.В.

Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Перетяцько В.Н.

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

В работе проведено исследование деформированного состояния металла при двухстадийной протяжке круглой заготовки на плоских бойках.

Исследования показали, что при первом обжиге круглой заготовки со степенью обжатия $\varepsilon = 14,7\%$ деформация распространяется на всю высоту поковки, при этом имеются зоны с низким значением величины интенсивности деформаций. После второго обжига заготовки со степенью обжатия $\varepsilon=22,7\%$, происходит накопление интенсивности деформаций по сечению заготовки, площадь зон с затрудненной деформацией уменьшается.

Для проверки адекватности компьютерного моделирования проведено физическое моделирование деформированного состояния металла.

Ключевые слова: Ковка, протяжка, деформированное состояние, обжатие, плоские бойки, многостадийная протяжка, компьютерное моделирование протяжки, физическое моделирование.

Введение

В настоящее время прокатные валки для черновых клетей сортовых станов изготавливаются, как правило, ковкой литых многогранных слитков на гидравлических прессах в плоских или комбинированных бойках [1]. Ковка прокатных валков предусматривает следующие операции: билетировку слитка, осадку, протяжку и ковку на размер поковки.

Разнообразие масс и размеров прокатных валков, а также использование различных типов кузнечных слитков, приводят к тому, что дляковки каждого типоразмера прокатного валка необходимо разрабатывать отдельную технологиюковки. Приковке прокатного валка основной операцией является протяжка заготовки после осадки билета, позволяющая получить из литого слитка, поковку высокого качества [2]. При этом протяжка должна обеспечивать соосность ступенчатых поковок [3], проникновение деформаций в осевую зону заготовки, устранение литой дендритной структуры, и создавать однородную деформированную структуру по всему поперечному сечению поковки. Однородная деформированная структура металла, возникающая в результате равномерного распределения деформаций по сечению поковки, обуславливает однородную зернистость макроструктуры металла, а, следовательно, однородность механических свойств, и их более высокий уровень по сравнению с литым металлом слитка [4,5].

Ранее авторами [6–7] и другими исследователями [8–9] рассматривалась одностадийная деформация круглой заготовки в плоских и комбинированных бойках. Однако анализ одностадийной деформации не дает полную картину протяжки заготовки, так как протяжка круглой заготовки – это многостадийный процесс и на качество поковки также влияет схема кантовок заготовки, от которой зависит перераспределение и накопление местных деформаций по сечению заготовки во времяковки [1].

В настоящее время для оценки напряженно-деформированного состояния металла и проработки осевой зоны заготовки применяют компьютерное моделирование с использованием метода конечных элементов. Однако работы по проверке адекватности компьютерного моделирования, особенно при

ковке крупногабаритных поковок за несколько переходов, отсутствуют.

Таким образом, исследование промежуточных стадий протяжки заготовки и проверка адекватности компьютерного моделирования, имеет большой практический интерес для понимания механизмов распределения и накопления деформаций по сечению протягиваемой заготовки и разработки оптимального технологического процесса протяжки заготовки.

Целью работы является исследование проработки осевой зоны поковки «прокатный валок» при двухстадийной протяжки круглой заготовки плоскими бойками.

Проведено исследование протяжки заготовки по схеме круг-квадрат-круг. Рассмотрены два первых обжима биллета с промежуточной кантовкой на 90° для определения величины интенсивности деформаций центральных слоев заготовки.

Методика исследования.

Для анализа проработки осевой зоны, зон интенсивной и затрудненной деформации, а так же количественной оценки величины деформации, проведено компьютерное моделирование процесса двухстадийной протяжки с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [10].

При моделировании принят реальный диаметр заготовки и деформирующих бойков в масштабе 1:1, исходя технологического процесса ковки поковок типа «прокатный валок». По технологии кузнечного цеха, 7 тонный слиток после биллетировки подвергается продольной осадке до диаметра 850 мм, и последующей протяжке в плоских бойках. Материала заготовки сталь 50, материала бойков сталь 5ХНМ. Ковочное оборудование – гидравлический прессе усилием 20 МН со скоростью перемещения траверсы 60 мм в секунду. Деформирующий инструмент – плоские бойки шириной 400 мм и комбинированные бойки. Температура заготовки составляет 1200°C , температура бойков 300°C .

Двухстадийная протяжка проводится за два обжима. В первом обжиме, круглая заготовка обжимается со степенью обжатия $\varepsilon = 14,7\%$, затем перед вторым обжимом заготовка кантуется на 90° и обжимается со степенью обжатия $\varepsilon = 22,7\%$. В качестве меры деформированного состояния принята скалярная величина интенсивность деформаций ε_i .

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2}.$$

В силу симметрии полей относительно вертикальных и горизонтальных осей, рассматривается одна четверть заготовки. После этого исследуется качественный характер распределения полей интенсивности деформаций ε_i по сечению поковки.

Для проверки адекватности компьютерного моделирования выполнено физическое моделирование деформированного состояния свинцовой заготовки при её двухстадийном обжатии в плоских бойках. Для эксперимен-

тального исследования деформированного состояния круглой свинцовой заготовки после первого и второго обжима использован метод координатной сетки. Обработку результатов измерения деформированной координатной сетки проведено по методике, описанной в работах [6–7].

На рисунке 1а приведена схема *первого обжима* осаженного биллета диаметром 850 мм на плоских бойках. Штрихпунктирной линией показано положение заготовки до её обжима. Оси Z_1 и X_1 являются осями симметрии. Цифрами вдоль осей обозначены точки, где замеряли значения интенсивности деформаций ε_i для построения диаграмм.

На рисунке 1б приведена схема *второго обжима* плоскими бойками после кантовки круглой заготовки на 90 градусов. Оси Z_2 и X_2 являются осями симметрии. После второго обжима ранее деформированной заготовки в плоских бойках замеры и исследование значений интенсивности деформаций ε_i проводятся вдоль осей Z_2 и X_2 , в соответствии со схемой.

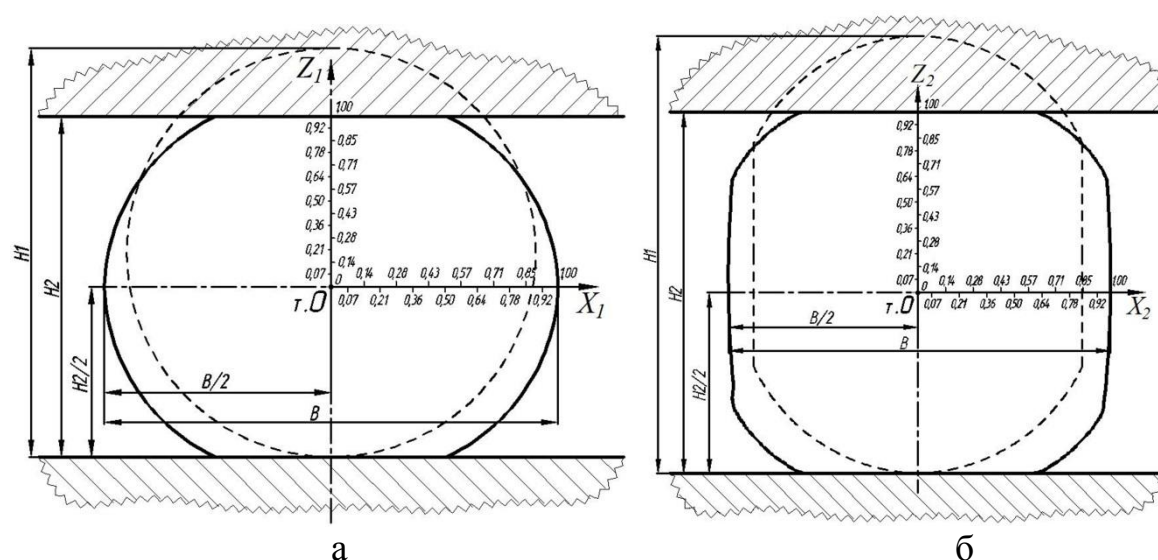


Рисунок 1 – Схема измерения значений интенсивности деформаций ε_i вдоль исследуемых осей при обжиге круглой заготовки в плоских бойках:
а – вдоль осей Z_1 и X_1 , после первого обжима; б – вдоль осей Z_2 и X_2 , после второго обжима

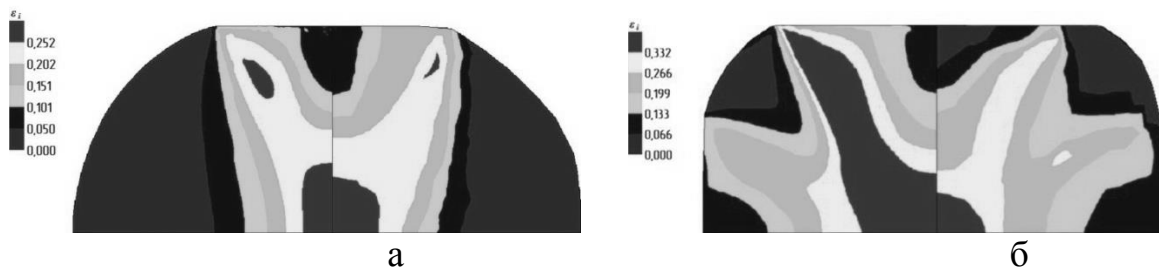
Результаты исследования

По результатам компьютерного моделирования *первого обжима* осаженного биллета диаметром 850 мм в плоских бойках со степенью обжатия $\varepsilon = 14,7\%$ построены поля распределения интенсивности деформаций по сечению заготовки, которые представлены на рисунке 2а (левая часть рисунка). При данной степени обжатия поле с максимальными значениями интенсивности деформаций изменяющимся в интервале $0,25 \div 0,29$ имеет пять участков (на рисунке видно два участка, т.к. для исследования берется одна четвертая заготовки). Участок поля, имеющий наибольшую площадь, распо-

лагается в осевой зоне заготовки, а остальные четыре участка, имеющие меньшую площадь, располагается ближе к краям заготовки, соприкасающиеся с бойками, но не достигают их. Второе, по величине значений поле интенсивности деформаций, изменяющееся в интервале $0,20 \div 0,25$, распространяется от краёв заготовки соприкасающихся с бойками в сторону вертикальной оси симметрии и горизонтальной оси симметрии, сужаясь в этом направлении и захватывая осевую зону заготовки, поверх поля имеющего максимальные значения интенсивности деформаций. Третье по величине поле со значениями интенсивности деформаций, изменяющимися в пределах $0,15 \div 0,20$, примыкает ко второму полю. Четвертое поле со значениями интенсивности деформаций в пределах $0,10 \div 0,15$, имеют такой же характер распределения по сечению заготовки, как и третье. Поле с минимальными значениями интенсивности деформаций равными $0 \div 0,05$ располагается за зоной действия бойков на заготовку. Максимальное значение интенсивности деформаций в центральной зоне заготовки после первого обжима составляет $0,30$.

По результатам компьютерного моделирования *второго обжима* заготовки в плоских бойках со степенью обжатия $\varepsilon = 22,7\%$ построены поля распределения интенсивности деформаций по сечению заготовки, которые представлены на рисунке 2б (левая часть рисунка). Из рисунка видно, что при данной степени обжатия поле интенсивности деформаций с максимальными значениями в интервале $0,33 \div 0,50$ от краёв заготовки, соприкасающихся с бойками, распространяется в направлении осевой зоны заготовки и захватывает её. Второе по величине значений поле интенсивности деформаций с интервалом $0,26 \div 0,33$, охватывает поле, имеющее максимальные значения интенсивность деформаций Третье поле со значением интенсивности деформаций $0,19 \div 0,26$, своим контуром описывает второе по величине значений поле. Так же оно распространяется в горизонтальном направлении от осевой зоны заготовки в сторону заготовки, которая не соприкасается с бойком. Четвертое по величине значений поле интенсивности деформаций с интервалом $0,13 \div 0,19$, своим контуром описывает третье поле. Пятое по величине значений поле интенсивности деформаций со значениями $0,06 \div 0,13$, располагается в середине плоскости соприкосновения заготовки с бойками и по свободным краям заготовки вдоль горизонтальной оси симметрии. Поля с наименьшими значениями интенсивности деформаций $0 \div 0,06$, находятся по краям заготовки не прилегающим к бойкам, и эти поля занимают наименьшую площадь сечения заготовки. Максимальное значение интенсивности деформаций в центральной зоне заготовки после первого и второго обжима составляет $0,60$.

Результаты физического моделирования *первого обжима* круглой заготовки в плоских бойках со степенью обжатия $\varepsilon = 14,7\%$ представлены в правой части на рисунке 2а. Можно отметить хорошее совпадение результатов физического и компьютерного моделирования. Погрешности компьютерного моделирования не превышают 5% .



а – при первом обжиге круглой заготовки в плоских бойках при степени обжатия $\varepsilon = 14,7\%$; б – при втором обжиге круглой заготовки в плоских бойках при степени обжатия $\varepsilon = 22,7\%$.

Рисунок 2 – Распределение полей интенсивности деформаций ε_i по сечению заготовок при компьютерном (слева) и физическом (справа) моделировании

Результатам физического моделирования *второго обжига* круглой заготовки в плоских бойках со степенью обжатия $\varepsilon = 22,7\%$ представлены в правой части на рисунке 2б. Можно отметить удовлетворительную сходимость результатов физического и компьютерного моделирования. Погрешности компьютерного моделирования не превышают 5%.

На рисунке 3а, показано распределение значений интенсивности деформаций ε_i вдоль вертикальной оси Z_I после *первого обжига* осаженного биллета диаметром 850 мм при компьютерном и физическом моделировании. Из диаграммы видно, что при данной степени обжатия наибольшие деформации сосредотачиваются в осевой зоне заготовки, и составляет 0,3.

На рисунке 3б, приведено распределение значений интенсивности деформаций ε_i вдоль горизонтальной оси X_I , после *первого обжига* заготовки при компьютерном и физическом моделировании. Из диаграммы видно, что при данной степени обжатия наибольшие деформации сосредотачиваются в осевой зоне заготовки, а минимальные величины в периферийных зонах заготовки.

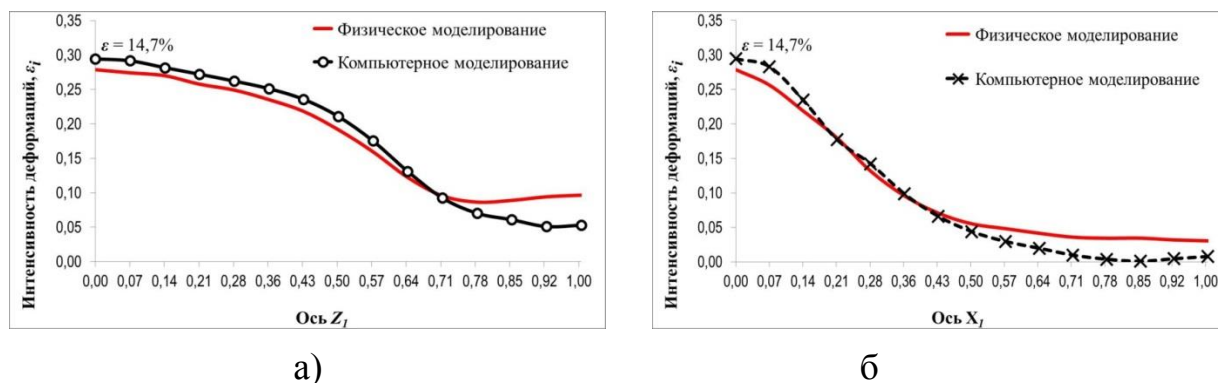


Рисунок 3 – Распределение интенсивности деформаций ε_i вдоль исследуемых осей при компьютерном и физическом моделировании первого обжига заготовки в плоских бойках при степени обжатия $\varepsilon = 14,7\%$: а – вдоль вертикальной оси Z_I ; б – вдоль горизонтальной оси X_I

Сравнивая поля интенсивность деформаций полученные в результате компьютерного и физического моделирования при *первом обжиге* заготовки можно отметить, что характер распределения полей интенсивности деформаций, площадей интенсивности деформаций, интенсивности деформаций с минимальными и максимальными значениями по сечению заготовки, при обоих видах моделирования схожи и находится в пределах допустимого отклонения.

По диаграмме, представленной на рисунке 4а, исследовалось распределение значений интенсивности деформаций вдоль вертикальной оси Z_2 после *второго обжига* заготовки при компьютерном и физическом моделировании при степени обжатия $\varepsilon=22,7\%$. Сравнивая распределение значений интенсивности деформаций, вдоль вертикальной оси Z_2 , полученное при физическом и компьютерном моделировании видно, что характер распределения кривых интенсивности деформаций при обоих видах моделирования подобен.

По диаграмме, представленной на рисунке 4б изучалось распределение значений интенсивность деформаций ε_i вдоль горизонтальной оси X_2 , после *второго обжига* заготовки при компьютерном и физическом моделировании при степени обжатия $\varepsilon = 22,7\%$.

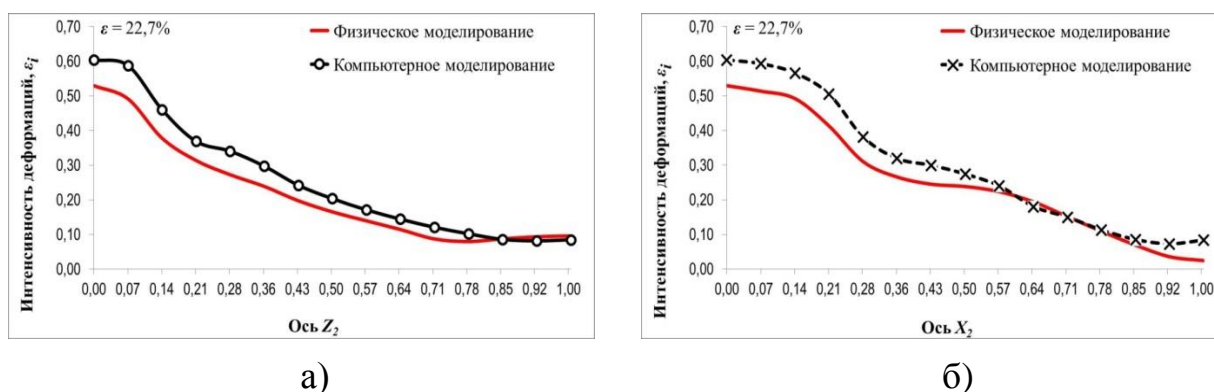


Рисунок 4 – Распределение интенсивности деформаций ε_i вдоль исследуемых осей при компьютерном и физическом моделировании второго обжига заготовки в плоских бойках при $\varepsilon= 22,7\%$:

а – вдоль вертикальной оси Z_2 ; б – вдоль горизонтальной оси X_2

Сравнивая распределение значений интенсивность деформаций вдоль горизонтальной оси X_2 , полученные при физическом и компьютерном моделировании видно, что характер их схож и подобен, что говорит об адекватности компьютерного моделирования.

Таким образом, сравнивая распределение полей интенсивности деформаций по сечению заготовки, полученное в результате компьютерного и физического моделирования первого и второго обжига круглой заготовки установлено, что они имеют качественное сходство по сечению заготовки. Все поля интенсивности деформаций при компьютерном моделировании совпадают по местоположению, близки по площади и величине значений интенсивности деформаций при физическом моделировании.

Выводы

1. Исследования показали, что при первом обжиге круглой заготовки со степенью обжатия $\varepsilon = 14,7\%$ деформация распространяется на всю высоту поковки, при этом имеются зоны с низким значением величины интенсивности деформаций. После второго обжига заготовки со степенью обжатия $\varepsilon = 22,7\%$, происходит накопление интенсивности деформаций по сечению заготовки, площадь зон с затрудненной деформацией уменьшается.

2. Максимальное значение интенсивности деформаций в центральной зоне заготовки после первого и после второго обжига составляет соответственно 0,30 и 0,60, что обеспечивает необходимую проработку центральной зоны поковки.

3. Сравнивая значения величин интенсивности деформаций по результатам компьютерного и физического моделирования, можно отметить, что компьютерное моделирование обеспечивает необходимую точность расчётов и адекватно описывает величину интенсивности деформаций при протяжке металла.

Библиографический список

1. Пименов Г.А. Особенностиковки крупных поковок / Г.А. Пименов, В.И. Залевский // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – № 10. – С. 4–6.

2. Охрименко Я.М. Возможность повышения качества поковок при протяжке / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин, А.И. Гринюк // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 11. – С. 8–9.

3. Прозоров Л.В. Уменьшение несоосности ступенчатых поковок при протяжке комбинированными бойками / Л.В. Прозоров, Н.П. Дененберг // Кузнечно-штамповочное производство. – 1984. – № 8. – С. 18–21.

4. Унксов Е.П. Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением / Е.П. Унксов. – Москва : Машгиз, 1955. – С. 59.

5. Ковка крупных поковок: результаты исследования технологических режимов / под ред. В.Н. Трубина, И.Я. Тарновского. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1962. – С. 224.

6. Peretyat'ko V.N. Broaching of blanks for forged rollers / V.N. Peretyatko, S.A. Vakhman, M.V. Filippova, A.B. Yur'ev // Steel in translation. – 2012. – Vol. 42. Issue 10. pp. 699 – 703.

7. Вахман С.А. Моделирование протяжки заготовок в плоских и комбинированных бойках // Современные научные исследования: инновации и опыт : XII международная научно-практич. конф. Вып. 5 (12), Екатеринбург. 2015. – С. 15 – 20.

8. Сгибнев С.А. Расчет очагов деформации при обжатии круглой заготовки плоскими бойками / С.А. Сгибнев, В.А. Тюрин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2000. – № 1. – С. 59.

9. Машеков С.А. Исследование распределения напряженно-деформированного состояния процесса протяжки круглой заготовки в комбинированных бойках / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев, А.М. Алшынова //

Вестник КазНТУ. – 2011. – №5 (87).

10. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер. – Москва : Мир, 1984. – 428 с.

УДК 621.791:624

РАЗРАБОТКА САМОФЛЮСУЮЩЕЙСЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА

Комаров А.А., Алимарданов П.Э., Смаилов Н.Д., Михно А.Р.
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Рассмотрена возможность изготовления самофлюсующихся порошковых проволок на основе шлака силикомарганца и железного порошка.

Экспериментальными исследованиями подобраны оптимальные режимы наплавки образцов, а также оценен их внешний вид.

Ключевые слова: наплавка, самофлюсующаяся порошковая проволока, шлак силикомарганца, образцы, дефекты.

В условия НПЦ «Сварочные процессы и технологии» СибГИУ разработаны различные порошковые проволоки [1-3].

В лабораторных условиях были изготовлены самофлюсующиеся порошковые проволоки на основе шлака силикомарганца с химическим составом, приведенным в таблице 1. и железного порошка.

Таблица 1 – Химический состав шлака силикомарганца.

Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	F	Na ₂ O	K ₂ O	S	P
6,91- 9,62	22,85- 31,70	46,46- 48,16	0,27- 0,81	6,48- 7,92	8,01- 8,43	0,28- 0,76	0,26- 0,36	0,6- 2	0,15- 0,17	0,01

Взвешивание порошкообразных материалов производилось с помощью электронных весов марки SHSHIMADZU модели AUX120. Взвешенные порошки пересыпались в смеситель для их равномерного перемешивания.

Для создания порошковой смеси (наполнителя) проволоки №1, использовали 150г основного элемента железного порошка (75% Fe) и 50г пыли шлака силикомарганца (25% SiMn).

Для порошковой проволоки №2, использовали 180 г основного элемента железного порошка (90% Fe) и 20 г пыли шлака силикомарганца (10% SiMn).

Изготовление самофлюсующейся порошковой проволоки производилось на волочильном стане для изготовления порошковой проволоки.

После изготовления самофлюсующейся порошковой проволоки проводилась наплавка на листовую сталь марки 09Г2С с помощью сварочного трактора АСАW-1250. Внешний вид наплавленных образцов и режимы наплавки представлены в таблице 2,3 и на рисунке 1,2.



Валик №1



Валик №2



Валик №3



Валик №4

Рисунок 1 – Внешний вид наплавленных образцов проволоки №1.

Таблица 2 – Режимы наплавки проволоки №1

Режимы наплавки				
№ валика	Сила тока	Напряжение	Скорость наплавки	Результат
1	500	30	18	Большое количество пор преимущественно в центре
2	500	30	18	Дефекты в виде пор
3	550	30	30	Дефекты в виде пор
4	600	28	32	Дефекты в виде пор



Валик №1



Валик №2



Валик №3



Валик №4

Рисунок 2 – Внешний вид наплавленных образцов проволоки №2

Таблица 3 – Режимы наплавки проволоки №2

№ вали- ка	Режимы наплавки			
	Сила то- ка	Напряже- ние	Скорость наплавки	Результат
1	600	28	32	Дефекты в виде пор
2	600	28	32	Дефекты в виде пор
3	500	30	18	Дефекты в виде пор
4	500	30	15	Дефекты в виде пор

Исходя из внешнего вида наплавленных образцов были выбраны ре-
жимы наплавки без пор и раковин.

Выводы:

1. Рассмотрена возможность изготовления порошковых проволок на
основе шлака силикомарганца и железного порошка.

2. Опробованы различные режимы наплавки образцов, оценен внешний
вид наплавленных образцов.

Библиографический список

1. Порошковая проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца
/ Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, Е. Е. Федотов, А. С. Непомнящих // Метал-
лургия: технологии, инновации, качество. Металлургия - 2017 : труды XX
Международной научно-практической конференции, 15-16 ноября 2017 г. –
Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – Ч. 1. - С. 336-339. –
URL: <http://library.sibsiu.ru>.

2. Гусев, А. И. Разработка новых порошковых проволок для наплавки.
Порошковая проволока для наплавки деталей, работающих в условиях удар-
но-абразивного износа / А. И. Гусев, Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев // Метал-
лургия XXI столетия глазами молодых: материалы IV Международной науч-
но-практической конференции молодых ученых и студентов: сборник докла-
дов, 23-24 мая 2018 г. – Донецк, 2018. – С. 296-299. –
URL: <http://library.sibsiu.ru..>

3. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковая
проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца / Н. А. Козырев, Р.
Е. Крюков, А. С. Непомнящих, А. А. Усольцев, М. В. Попова // Черная ме-
таллургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. –
2018. – № 9. - С. 101-106. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo

Гусев А.И., Крюков Р.Е.

Научный руководитель: д-р техн.наук, профессор Козырев Н.А.

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

Изучено влияние хрома и вольфрама на формирования структуры наплавленного слоя, выполнен химический анализ испытуемых образцов для аналитики усвоения легирующих элементов.

Ключевые слова: упрочнение, порошковая проволока, наплавка, образцы, износостойкость.

Основными порошковыми проволоками для износостойкой наплавки горношахтного оборудования в Российской Федерации являются проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo типа А и В по классификации МИС [1], причем для этих целей широко используются отечественные проволоки типа 40 ГМФР и 40ХЗГ2МФ, а так же импортные проволоки фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок ОК Tubrodur 15.52, ОК Tubrodur 58 O/G M, основанные на тех же принципах легирования.

В работах [2-6], проведенных в условиях ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» определялось влияние введение различных элементов в порошковую проволоку системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo на эксплуатационную стойкость полученного при наплавке слоя металла. В данной работе приводится изучение изменения концентрации различных элементов в разработанных проволоках в системе Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo на износ и твердость наплавленного металла.

Лабораторные исследования проводили по следующей схеме. Наплавку осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки на пластины из стали 09Г2С. Изготовление проволоки проводилось на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 6 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: порошок железа марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ1415-93, порошок высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ900А по ГОСТ 4757-91, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, порошок ферромолибдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759-91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721-79, порошок вольфрамовый ПВН ТУ 48-19-72-92. В состав ряда образцов про-

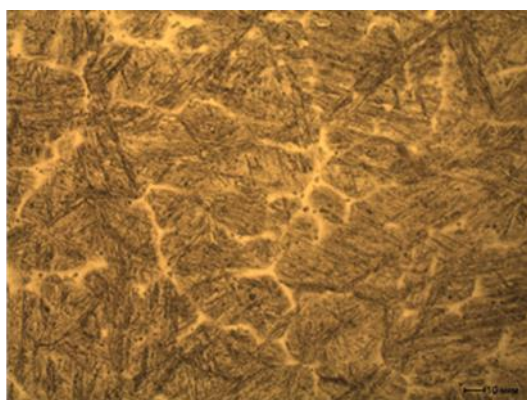
волоки взамен аморфного углерода вводилась пыль газоочистки алюминиевого производства, со следующим химическим составом, масс. %: $Al_2O_3 = 21-46$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4 - 6\%$; $CaO = 0,7- 2,3$; $SiO_2 = 0,5-2,5$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,3$; $C_{общ} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,10-0,18$.

Таблица 1 – Химический состав наплавленного металла

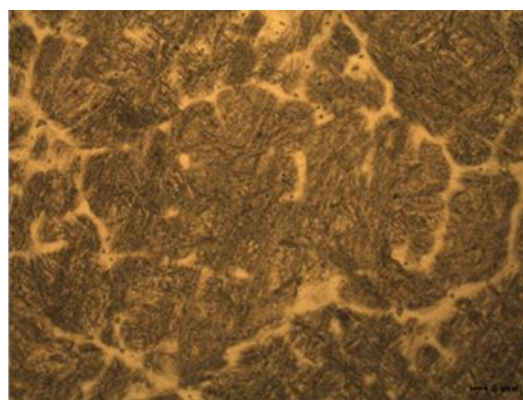
№ образца	C,%	Si,%	Mn,%	Cr,%	Mo,%	Ni,%	Co,%	Cu,%	W,%	V,%	S,%	P,%
26Г	0,14	0,87	1,48	5,36	0,56	0,29	0,3	0,05	0,025	0,005	0,04	0,02
27Г	0,18	0,88	1,46	5,51	0,62	0,3	0,59	0,05	6,56	0,001	0,02	0,02

Таблица 2 – Характеристики структуры, износ и твердости наплавленных образцов

№ образца	Структура	HRC	Износ, г/об
Г26	Мартенсит	43	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Г27	Мартенсит	38	$3,1 \cdot 10^{-5}$



Г26



Г27

Рисунок 1 – Микроструктура наплавленных слоев для промышленных испытаний с различным содержанием вольфрама: а, б – с 0,025 % W; в, г – 4,66 % W; а, в – $\times 100$; д, г – $\times 500$

Для оптимизации состава наплавленных слоев и проведения промышленных испытаний на заготовках в виде пластин были наплавлены многокомпонентные слои, химический состав которых приведен в таблице 1. Следует отметить, что основное отличие второго состава заключается в наличии вольфрама в количестве $\sim 6,5\%$ и несколько большем содержании углерода – $0,18$ против $0,14\%$ для первого состава. Полный химический состав для промышленных испытаний приведен в таблице 1. Микроструктура, полученных наплавленных опытных слоев, приведена на рисунке 1. Исследование микроструктуры наплавленного слоя первого состава показало наличие мартенситной структуры с прослойками феррита по бывшим границам зерен аустенита. Микроструктура наплавки второго состава отличается присутствием в основе мартенсита участков с феррито-перлитной структурой. Кроме того, по фер-

ритным зернам хорошо видны включения карбидов, содержащих железо, хром и вольфрам.

Отдельно следует остановиться на влиянии хрома. При сравнении первой и второй серий плавок определено, что повышение концентрации хрома в наплавляемом слое в три раза, позволяет увеличить твердость в среднем в 1,5 раза и снизить износ на 45 %.

Выводы

1. Разработаны новые, защищенные патентами РФ порошковые проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo для наплавки горношахтного оборудования.

2. Апробация на шахтах Кемеровской области защитных пластин шнеков очистного комбайна JOY4LS20, наплавленных разработанной порошковой проволокой, показало увеличение стойкости на 19,3%, по сравнению с аналогичными пластинами, наплавленными проволокой DRATEK. При этом наработка шнеков с наплавкой разработанной проволокой за период испытания составила 253 654 тонн угля, а с использованием пластин, наплавленных проволокой DRATEK, 204 698,7 тонн угля.

Библиографический список

1. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974 – 768с.

2. Influence of Filler Metals in Welding Wires on the Phase and Chemical Composition of Weld Metal/ N A Kozyrev, I V Osetkovskiy, O A Kozyreva, E A Zernin and D S Kartsev//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 125(2016) - pages 1-7: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions 26–28 November 2015, Yurga,Russia|doi:10.1088/1757-899X/125/1/01/012027.

3. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е./Изучение влияния кобальта на структуру и свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni - Mo-V металла // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. - Т.4.– № 2 . - С. 100-106.

4. Influence of the cobalt additive on the flux cored wire of system Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V/ I.V Osetkovskiy., N.A.Kozyrev, A.I.Gusev, O.A Kozyreva, R.A. Gizatulin, D.V. Valuev// Key engineering materials- 2017- Vol. 736, -pp 63doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.736.63.

5. Abrasive Wear Resistance Comparative Analysis of the Metal Surfaced by Flux Cored Wires Systems Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V and Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V / I.V. Osetkovskiy, N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov // Materials and processing Technology. Materials science forum, 2017, Vol. 906, pp. 1-7 ||doi:10.428/www/scientific.net/MSF.906.1.

6. Studying the Influence of Tungsten and Chromium Additives in Flux Cored Wire System Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co on Surfaced Metal Properties / I.V. Osetkovskiy, N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov // Materials and processing Technology. Materials science forum, 2017, Vol. 906, pp. 107-113 ||doi:10.428/www/sci-

entific.net/MSF.906.107.

7. Пат.2641590 МПК8 В23 К35/36 В 23 К35/36 Порошковая проволока/ Козырев Н.А., Гусев А.И., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В., Усольцев А.А., Козырева О.А.; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».- № 2016125085/02(039292), Заявл. 22.06.2016.

8. Пат. 2632505 РФ, МПК8 В23 К35/36 В 23Р6/00 Порошковая проволока/ Козырев Н.А., Осетковский И.В., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Гусев А.И., Козырева О.Е., Усольцев А.А.; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».- № 2016125086/02(039293), Заявл. 22.06.2016.

УДК 621.791:624

РАЗРАБОТКА САМОФЛЮСУЮЩЕЙСЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гусева Д.А., Азаренков И.А., Шамрай В.Р., Михно А.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Изучено использование самофлюсующейся порошковой проволоки для наплавки. В качестве материалов для изготовления порошковой проволоки использовали шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского металлургического завода и железный порошок.

Ключевые слова: проволока, флюсы, технология, наплавка, шлак силикомарганца, железный порошок, образцы, шлак, поры.

Порошковые проволоки широко используются для восстановления различных деталей. Широкое изучение получили порошковые проволоки, изготовленные с применением техногенных отходов металлургического производства [1-3].

В лабораторных условиях было изучено влияние введение флюса силикомарганца в составе порошковой проволоки на качество наплавки. В качестве материалов для изготовления порошковой проволоки были использованы шлак силикомарганца производства Западно – Сибирского электрометаллургического завода с химическим составом, мас. %: S 0,15-0,17 %, P 0,01 %, F 0,28-0,76%, FeO 0,27-0,81 %, CaO 22,85-31,70 %, SiO₂ 46,46-48,16 %, MnO 8,01-8,43%, MgO 6,48-7,92 %, Al₂O₃ 6,91-9,62%, Na₂O 0,26-0,36% K₂O до 0,6 2 %; железный порошок и стальная лента из Ст3.

Изготовление самофлюсующихся порошковых проволок проводилось путем смешения пыли шлака силикомарганца и железного порошка в количестве:

- 15% шлака силикомарганца и 85% железного порошка (проволока №1)

- 20% шлака силикомарганца и 80% железного порошка (проволока №2)

Перед изготовлением самофлюсующихся порошковых проволок все компоненты были взвешены с помощью лабораторных весов SHSHIMADZU AUX120, затем перемешаны с помощью лабораторного смесителя. После подготовки компонентов шихту проводили изготовление порошковых проволок на лабораторном станке.

После изготовления порошковых проволок проводилась наплавка образцов с помощью сварочного трактора ASAW – 1250 на наплавочные пластины из листовой стали 09Г2С. Режимы наплавки и внешний вид наплавленных образцов представлены в таблице 1,2 и рисунках 1,2.

Таблица 1– Режимы наплавки проволокой № 1

Режимы сварки					
№ валика	Маркировка	Сила тока	Напряжение	Скорость наплавки	Результат
1	1	500	30	19	Валик равномерный. Дефектов нет
2		500	30	20	Валик равномерный. Дефектов нет
3		500	30	19	Валик равномерный. Дефектов нет
4		500	30	18	Валик равномерный. Дефектов нет



Образец валика №1



Образец валика №2



Образец валика №3



Образец валика №4

Рисунок 1 – Внешний вид наплавленных образцов проволокой №1

Таблица 2 – Режимы наплавки проволокой № 2

Режимы сварки					
№ валика	Маркировка	Сила тока	Напряжение	Скорость наплавки	Результат
5	2	600	28	32	Валик цельный, без дефектов
6		600	28	32	Валик цельный, незначительное кол-во пор
7		500	30	18	Валик цельный, без дефектов
8		500	30	15	Дефектов нет



Образец валика №5



Образец валика №6



Образец валика №7



Образец валика №8

Рисунок 2 – Внешний вид наплавленных образцов проволокой №2

Выводы:

1. Показана принципиальная возможность применения в составе шихты самофлюсующейся порошковой проволоки порошка шлака силикомарганца.
2. Исходя из внешнего вида наплавленных образцов определено, что состав проволоки №1 является более оптимальным чем состав проволоки №2.

Библиографический список

1. Наплавка порошковой проволокой деталей металлургического оборудования : учеб. пособие / Н.А. Козырев, Г.Н. Вострецов, Р.Е. Крюков, Д.А. Титов; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 180 с.
2. Порошковая проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, Е. Е. Федотов, А. С. Непомнящих // Металлургия: технологии, инновации, качество. Металлургия - 2017 : труды XX Международной научно-практической конференции, 15-16 ноября 2017 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – Ч. 1. - С. 336-339. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
3. Разработка порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки силикомарганца / А. С. Непомнящих, А. Д. Свистунов, Д. Е. Белов, Д. Е. Симонов ; науч. рук. Н. А. Козырев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2 : Естественные и технические науки.– С. 210-213. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ

Мамедов Р.О.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,
канд. техн. наук Лубяной Д.А.**

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

Литейное производство является заготовительной базой машиностроения. Качество литья зависит от многих параметров, в том числе дефекты в отливках образуются как по вине формы, так и металла. В статье рассматриваются причины возникновения дефектов и механизм их образования в зависимости от свойств формовочных смесей и готовой формы. Даны рекомендации по устранению дефектов в стальных отливках.

Ключевые слова: качество, сталь, формовочная смесь, форма, дефекты, состав, свойства.

В литейном производстве в условиях механизированного и автоматизированного производства наиболее широко используется единая песчано-глинистая формовочная смесь, которая готовится из отработанной подготовленной формовочной смеси с добавками свежих материалов.

На свойства такой смеси и, соответственно, качество получаемых отливок большое влияние оказывает качество подготовки оборотной смеси для повторного использования.

Песчано-глинистые формовочные смеси имеют наибольшее распространение в литейном производстве при изготовлении деталей различной массы и конфигурации. Перед применением исходные формовочные материалы должны проходить подготовку [1]: пески сушат, просеивают, очищая от мусора, комков, посторонних крупных частиц и прочих примесей; глину сушат, дробят, размалывают. Сушка глины необходима для удаления избыточной влаги, находящейся в свободном состоянии, что упрощает последующие операции по подготовке глин к использованию.

Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют на наружные (песчаные раковины, перекося, недолив и др.) и внутренние (усадочные и газовые раковины, горячие и холодные трещины и др.) [2,3,4].

Основным видом брака при получении стальных отливок являются газовые раковины и газовая пористость. Газовые раковины – это пустоты в теле отливки, имеющие чистую, гладкую, неокисленную или с небольшими цветами побежалости поверхность. Газовые раковины как всякая несплошность отливки снижают ее прочность и поэтому являются недопустимым дефектом отливки. Отливки, имеющие газовую пористость, обычно бракуют.

Данный вид брака составляет примерно половину, а иногда и больше всех дефектов. Одним из важнейших факторов, которые оказывают влияние на качество стальной отливки, является состав формовочной смеси [5].

При заливке металла происходит разложение газотворных веществ формы с выделением паров и газов. Увеличение объема газов в порах формовочного материала вызывает повышение в них газового давления. Поры в формовочном материале не являются изолированными, поэтому при избыточном давлении выделяющиеся газы удаляются через форму в атмосферу. Таким образом, в форме, залитой металлом, наряду с тепловым режимом устанавливается также определенный газовый режим. В свою очередь, процессы газовыделения и газоотвода зависят от газотворности и газопроницаемости формовочных смесей.

Газовый режим формы сильно влияет на качество отливки, в частности, на возможность возникновения ужимин, пригара, вскипа и на образование газовых раковин.

Газовые раковины и пористость в отливках можно уменьшить только при соблюдении строгой технологической дисциплины на всех этапах изготовления отливки – от приготовления жидкого металла до заливки формы и затвердевания отливки. Меры по борьбе с газовыми дефектами в отливках разделяют на:

1. Меры, предупреждающие насыщение сплава газами в процессе плавки. Большое значение имеет подготовка качественных шихтовых материалов, например 1% ржавчины в стальной шихте вносит в плавильный агрегат около 2,5 м³ газов на 1 т жидкого металла [5]. Поэтому шихтовые материалы перед плавкой рекомендуется тщательно очищать от ржавчины, масла, влаги.

2. Меры, улучшающие качество формы. Главное внимание обращают на соблюдение направленного газового потока от отливки в форму. Большое значение имеет вывод газов через стенки формы и знаки стержней. Для предупреждения образования газовых раковин в отливках необходимо принимать следующие меры:

- а) увеличивать газопроницаемость формы и стержня;
- б) снижать влажность формовочной смеси;
- в) увеличивать газопроницаемость формовочной и стержневой смеси;
- г) использовать формовочные и стержневые смеси с минимальной газотворной способностью;
- д) подсушивать формы.

В период заливки, затвердевания и охлаждения металл отдает теплоту форме конвекцией, излучением и посредством теплопроводности. Чем дольше протекает металл по определенному участку формы и находится в ней в жидком состоянии, тем сильнее прогревается поверхность формы и тем медленнее остывает отливка. Вследствие этих процессов на поверхности отливки образуется пригар – трудноотделимый от поверхности отливки слой из металла, его окислов и частиц формовочной смеси. Пригар ухудшает по-

верхность отливки, увеличивает трудоемкость ее очистки и резко снижает стойкость инструмента при механической обработке.

Пригар на отливках можно устранить:

- 1) снижением температуры заливки металла;
- 2) выбором формовочной смеси надлежащей зернистости и уплотнением рабочей поверхности формы;
- 3) припыливанием (при литье чугуна) поверхности формы каменноугольной пылью;
- 4) окрашивание (при литье стали) поверхности форм и стержней противопригарными покрытиями.

Противопригарные покрытия являются наиболее эффективными средствами борьбы с пригаром. Их наносят на поверхность форм и стержней, тем самым создавая буферный защитный слой с заданными физико-химическими свойствам. От умения выбора и правильного применения покрытий в значительной степени зависит качество поверхности получаемых отливок, а в конечном итоге товарный вид и конкурентоспособность готовых литых изделий [6].

Нанесение противопригарных покрытий является важной технологической операцией изготовления форм (стержней), поскольку от качества создаваемого защитного слоя в значительной степени зависит качество отливок.

Традиционными методами, широко используемыми в литейных цехах, является окраска кистью и пневматическим распылением [7].

На формы (стержни) для тонкостенных отливок массой до 250 кг обычно наносят один слой покрытия. При производстве отливок большей массы применяют двухразовую окраску. В случае двухразовой окраски с применением одного состава противопригарной композиции для нанесения первого слоя используют суспензию с более низкой плотностью, чем для второго.

Так для предупреждения образования дефектов в стальных отливках на машиностроительном предприятии ООО “Завод Гидромаш” были разработаны меры по предотвращению их образования. Формовка осуществлялась «по – сырому». Зерновой состав песка: 016; 02 и 0315.

Ввелся контроль поступающих в литейный цех материалов. Проводился постоянный контроль влажности формовочной смеси (не менее 5,0% и не более 6,0% и для летнего периода влажность смесей повысить на 0,5%). Для предотвращения таких дефектов как ужимина, песчаная раковина и др. плотность набивки при формовке составляла:

- 1) Для нижней полуформы: для мелких отливок 50-65 ед (до 100 кг) и для средних отливок 60-80 ед (от 100 до 1000 кг).
- 2) Для верхней полуформы: для мелких отливок 47-62 ед (до 100 кг) и для средних отливок 57-76 ед (от 100 до 1000 кг).

Плотность набивки замеряли твердомером модели 04412А ТУ2.043.0224973-007-91.

Для предотвращения образования пригара готовые полуформы и

стержни ровным слоем окрашивались противопригарным покрытием Циркофлюид 1219Б ТУ2312-874-5577. Данное покрытие представляет собой самовысыхающее высоковязкое противопригарное покрытие светлосерого цвета на основе силиката циркония и изопропанола. Отливки менее 250 кг окрашивались в один слой. Отливки более 250 кг имели двухразовую окраску. При создании двух или более слоев покрытия каждый последующий слой наносился после отверждения предыдущего.

Для облегчения выхода газов и предотвращения выдавливания нижней полуформы готовилась постель (слой газопроницаемого материала). Холодильники, жеребейки и арматура устанавливалась очищенная от ржавчины. Для предупреждения брака по перекоосу при заливке формы, сборку верхней и нижней полуформы осуществляли два формовщика. Время простаивания собранных форм без стержней составляла не более 24 часа, со стержнями из смеси на жидком стекле не более 8 часов, после чего форма разбиралась и подсушивалась.

Реализация данных мер по предотвращению дефектов в стальных отливках позволила достичь приемлемого качества литья с минимальным образованием дефектов (рисунок 1) [8].

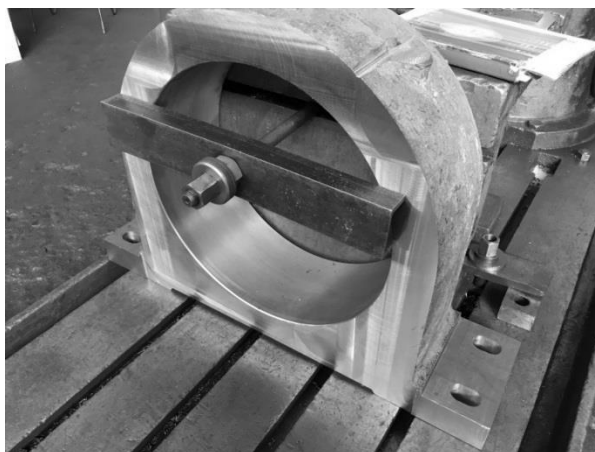


Рисунок 1 – Отливка корпуса подшипника без видимых дефектов

Библиографический список

1. Кидалов, Н. А. Технология изготовления формовочных смесей на основе водно-глинистых суспензий с добавлением углещелочного реагента / Н. А. Кидалов, Н.А. Осипова, А.С. Князева // Заготовительные производства в машиностроении. – 2015. - №3. – С. 3 - 6.

2. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством/Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А.// Литейное производство. 1992. № 4. С. 26-27.

3. Князев С.В., Усольцев А.А., Чичков В.И., Шихов Е.А. Контроль и управление производством отливок по критерию их качества//Теория и практика литейных процессов: труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию кафедры литейного производства СибГИУ/Редкол.: Се-

лянин И.Ф., Деев В.Б. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. С.153-158.

4. Князев С. В., Антипенко В. И. Информационно-диагностическая модель для управления технологическими процессами сталелитейного цеха//Изв. вузов. Черная металлургия. -1986. -№ 12. -С. 82-85.

5. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. М., «Машиностроение», 1974, 472 с.

6. Болдин А.Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные и стержневые смеси и покрытия: справ. / А.Н. Болдин и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.

7. Голотенко О.Н. Формовочные материалы: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2004. – 164 с.: ил. 25, табл.56, библиогр. 14 назв.

8. Мамедов Р.О., Лубяной Д.А., Боков В.Л., Князев С.В. Исследование процессов выплавки стали с термовременной обработкой в малой дуговой сталеплавильной печи// Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: материалы II международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Э. И. Забнева. 2018. С. 40-42.

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РАФИНИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО И СВОЙСТВА ОТЛИВОК

Мамедов Р.О.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,
канд. техн. наук Лубяной Д.А.**

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

Проблема повышения качества металлопродукции в значительной степени зависит от содержания в ней примесей, газов, неметаллических включений. Рафинирование железосодержащих расплавов приводит к повышению физико-химических, технологических, эксплуатационных и других свойств металлов и сплавов.

Ключевые слова: качество, рафинирование, свойства, вибрация, ультразвук, продувка, структура.

Современная теория литейных процессов изучает явления, происходящие в сплаве при формировании отливки и влияние внешних воздействий на кристаллизующийся расплав, методов рафинирования литейных сплавов, а также рассматривает связи между составом сплава и его свойствами. При решении проблемы повышения качества литых заготовок решающее значение приобретает знание механизмов литейных процессов и умение ими управлять.

Удаление растворенных примесей из расплавов, как правило, является задачей металлургического передела. Однако в некоторых случаях подобные процессы приходится проводить и в литейном производстве. Эффективность рафинирования кристаллизующихся расплавов от газов и неметаллических включений зависит среди других причин от скорости удаления примесей, т.к. увеличение вязкости расплава при его затвердевании ухудшает возможность очищения расплава от примесей. Процесс рафинирования стали включает в себя целый комплекс операций. Операции рафинирования обычно сопровождаются различными внешними воздействиями на расплав. К традиционным воздействиям относятся: вакуумирование, продувка инертными газами, обработка синтетическими шлаками, ультразвуковая обработка и т.д.. В случае необходимости применяют комбинированные методы обработки, включающие в себя сразу несколько способов рафинирования стали, например раскисление, модифицирование и/или удаление неметаллических включений. При формировании отливок протекают следующие процессы: перемешивание металла в каналах литниковых систем, развитие турбулентного и конвективного движения металла в форме, переохлаждение расплава, зарождение и рост кристаллов, диффузия примесей, формирование новых фаз и неметаллических включений, усадка сплава и ряд других, которые в обычных условиях затвердевания развиваются только в поле гравитационных сил и протекают без влияния на них других воздействий. Одним из способов повышения качества литых изделий является внешнее воздействие на кристаллизующийся расплав. Изучение и создание эффективных технологий формообразования, связанных с интенсификацией процессов теплообмена и массопереноса в затвердевающих сплавах имеет большое значение для повышения качества литых изделий [1, 2, 3].

Воздействие вибрации и ультразвука на кристаллизующиеся отливки аналогично воздействию от ультрадисперсных включений (УДВ) и порошков (УДП). Упругие колебания способствуют образованию областей повышенной плотности и разряжения ионов расплава. В области с повышенной плотностью стекаются свободные электроны из областей с пониженной плотностью положительного заряда, выравнивая химический потенциал электронов по объему жидкого металла. В областях с повышенной плотностью ионов и электронов возникают устойчивые зародыши твердой фазы. Изучено, что при воздействии вибрации и ультразвука дополнительно действует фактор перемешивания расплава. Перемешивание приводит к обламыванию фронтальных дендритов, выравнивает температуру и концентрацию по всему объему расплава, кристаллизация идет по объемному варианту при температуре ниже равновесного ликвидуса с образованием мелкого зерна в конечном продукте [4,5,9,10].

Балакиным Ю.А. проработано, что воздействие на расплав вибрации также приводит к успешному удалению из расплавов металлов газов и неметаллических включений [1,6].

Рассмотрим другой способ влияния рафинирования на расплав – продувкой расплава инертными газами. Было исследовано, что продувка азотом благоприятно сказалась на микроструктуре чугуна. Размер и распределение графита в чугуне (рисунок 1) значительно зависит от времени продувки [7, 8].



×100

а

б

в

Рисунок 1 – Микроструктура образцов чугуна изложниц с различным временем продувки азотом: а – 7,5 мин; б – 13 мин; в – 15 мин.

Как видно из рисунка 1, времени менее 15 мин явно недостаточно для эффективного удаления крупного спелистого графита. Для получения чугуна с благоприятной формой графита рекомендовано продувать чугун не менее 15 мин, что повышает их стойкость. Также увеличение времени продувки с 10 до 15 мин позволяет увеличить степень усвоения ферросилиция на 7-10%.

Реализация исследованных технологий позволяет:

1) Снижать пористость, получать измельченную структуру, получать повышенную плотность при воздействии вибрации и ультразвука на кристаллизующиеся отливки.

2) Повысить более чем на 10% стойкость изложниц и поддонов, отлитых из чугуна, продутого азотом. Прочностные свойства чугуна после данной обработки повышаются до уровня 130..170 Мпа (без продувки 91..105 МПа).

Библиографический список

1. Математическое моделирование влияния вибрации на рафинирование расплавов металлов / Ю.А. Балакин, М.И. Гладков, Х.Б. Юнусов, С.Л. Захаров / Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2015. №4. С. 51-58.

2. Производство стальных отливок: Учебник для вузов / Козлов Л.Я., Колокольцев В.М., Вдовин К.Н. и др. / Под ред. Л.Я. Козлова. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.

3. Основы рафинирования современных литейных сплавов [Электронный ресурс]: метод. указ. / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост.: А.А. Усольцев, С.В. Князев, Н.А. Козырев – Электрон. дан. (1 файл). – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2018.

4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. – М.: Мир, 1974. – 472с.

5. Усольцев А.А., Князев С.В., Куценко А.И., Долгополов А.Е., Мамедов Р.О. Влияние вибрации на структуру и плотность алюминиевых сплавов: Ч. 2/Сиб. гос. индустр. ун-т; под ред. Е.В. Протопопова. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. С. 55-57.

6. Балакин Ю.А. Разработка технологии обработки литейных инструментальных сталей вибрацией и модифицированием с целью повышения качества отливок: дисс. канд. технич. наук. М., 1995. 191 с.

7. Мамедов Р.О., Лубяной Д.А., Боков В.Л., Князев С.В. Исследование процессов выплавки стали с термовременной обработкой в малой дуговой сталеплавильной печи// Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: материалы II международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Э. И. Забнева. 2018. С. 40-42.

8. Эффективность применения термовременной обработки и пульсирующей продувки для рафинирования железоуглеродистых расплавов/ Д.А. Лубяной, С.В. Лубяная, О.И. Саблина / Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. №4 (57). С. 103-107.

9. Влияние осцилляций Фриделя в электронном газе и волн плотности при воздействии на металлический расплав вибрации и ультразвука / И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, В.Б. Деев, А.А. Куценко, О.Г. Приходько / Литейщик России. 2012. №10. С. 30 – 31.

10. Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Деев В.Б., Модзелевская О.Г., Куценко А.А. Физико-химический анализ модифицирующей способности барий-стронциевого карбоната БСК-2 при изготовлении чугунного литья. Известия Высших Учебных Заведений. Черная металлургия. 2015;58(10):749-755. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2015-10-749-755>.

УДК 621.762.04: [624.567.1:669]

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОРОКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА

Белов Д.Е., Симонова Д.Е., Михно А.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

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

Изучена возможность изготовления порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки производства феррохрома в качестве восстанавливаемого материала и в качестве восстановителей: пыль газоочистки алюминиевого производства, кремния и порошка алюминия. Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца. Подобран режим наплавки.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, образцы, неметаллические включения, микроструктура, твердость.

В данной работе рассмотрена возможность изготовления порошковых проволок на основе пыли газоочистки алюминиевого производства, порошков кремния и алюминия (в качестве восстановителя) и пыли газоочистки производства феррохрома (в качестве восстанавливаемого компонента - оксида хрома).

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях изготовлены образцы порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства, порошков кремния и алюминия.

В качестве восстанавливаемого вещества использовали пыль газоочистки феррохрома с химическим составом, мас. % $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 22,5$; $\text{SiO}_2 = 15,5$; $\text{CaO} = 0,4$; $\text{MgO} = 31,1$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,4$; $\text{FeO} = 6,0$; $\text{C} = 6,2$; $\text{S} = 1,2$, в качестве восстановителя использовали порошки: кремния КР-1 по ГОСТ 2169-69, мас. %: $\text{Si} = 98,00$; $\text{Fe} = 0,7$; $\text{Al} = 0,7$, $\text{Ca} = 0,6\%$; алюминия ПАП-1 по ГОСТ 5494-9, мас. % $\text{Fe} = 0,5$; $\text{Si} = 0,4$; $\text{Cu} = 0,05$; $\text{Mn} = 0,01$; а также пыль газоочистки алюминиевого производства, мас. %: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 21-46,23$; $\text{F} = 18-27$; $\text{Na}_2\text{O} = 8-15$; $\text{K}_2\text{O} = 0,4-6$; $\text{CaO} = 0,7-2,3$; $\text{SiO}_2 = 0,5-2,48$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,1-3,27$; Собщ = 12,5-30,2; $\text{MnO} = 0,07-0,9$; $\text{MgO} = 0,06-0,9$; $\text{S} = 0,09-0,19$; $\text{P} = 0,1-0,18$ в качестве углеродосодержащего материала.

Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силико-марганца с химическим составом: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,91-9,62\%$, $\text{CaO} = 22,85-31,70\%$, $\text{SiO}_2 = 46,46-48,16\%$, $\text{FeO} = 0,27-0,81\%$, $\text{MgO} = 6,48-7,92\%$, $\text{MnO} = 8,01-8,43\%$, $\text{F} = 0,28-0,76\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 0,26-0,36\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0,62\%$, $\text{S} = 0,15-0,17\%$, $\text{P} = 0,01\%$, с использованием сварочного трактора АСАW-1250 на стальные пластины толщиной 10 мм размером 100x500 мм

В ходе экспериментов удовлетворительное качество наплавляемого валика было получено при следующих режимах наплавки: для проволок с добавлением пыли газоочистки производства алюминия (углерода) - сила тока 620А, напряжение 32В, скорость сварки 28м/ч; для проволок с использованием кремния - сила тока 620А, напряжение 32 В, скорость наплавки 25м/ч; для проволок с алюминием - сила тока 550А, напряжение 28, скорость наплавки 12м/ч.

В таблице 1 приведены компонентные составы, в таблице 2 параметры исследуемых проволок.

Химический состав наплавленного металла и полученных шлаковых корок определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость наплавленных слоев измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Износ образцов производили на машине 2070 СМТ-1.

Проведенные исследования показали, что извлечение хрома связано не только с восстановлением оксида хрома из хромосодержащего флюса, за

счет содержащегося в порошковой проволоке восстановителя, но и от коэффициента заполнения порошковой проволоки (рисунок 1).

Таблица 1 – Компонентный состав порошковых проволок

№	Восстановитель	Концентрация пыли газоочистки феррофрома, %	Концентрация восстановителя, %
50	пыль газоочистки производства алюминия (углерод)	79,18	20,82
51		71,73	28,27
52		65,53	34,47
53		55,9	44,1
54	порошок кремния КР-1	88,88	11,12
55		84,25	15,75
56		80	20
57		72,73	27,27
58	порошок алюминия ПАП-1	92,42	7,78
59		89,13	10,87
60		85,91	14,09
61		72,73	27,27

Таблица 2 - Параметры порошковых проволок

№ образца	Масса порошка	Масса проволоки и порошка;	Коэффициент заполнения, %	Усвоение хрома, %
50	6,2	25,6	24	85,2
51	7,1	24,5	29	99,3
52	5,1	22,6	23	93,9
53	2,2	24,3	9	38,9
54	2,2	23,5	10	91,0
55	6,8	24,7	28	51,3
56	3,1	23,4	14	71,3
57	6,6	24,6	27	65,0
58	4,3	24,5	17	28,3
59	3,2	25,5	13	98,3
60	3,0	20,5	15	40,1
61	3,5	25,5	14	98,3

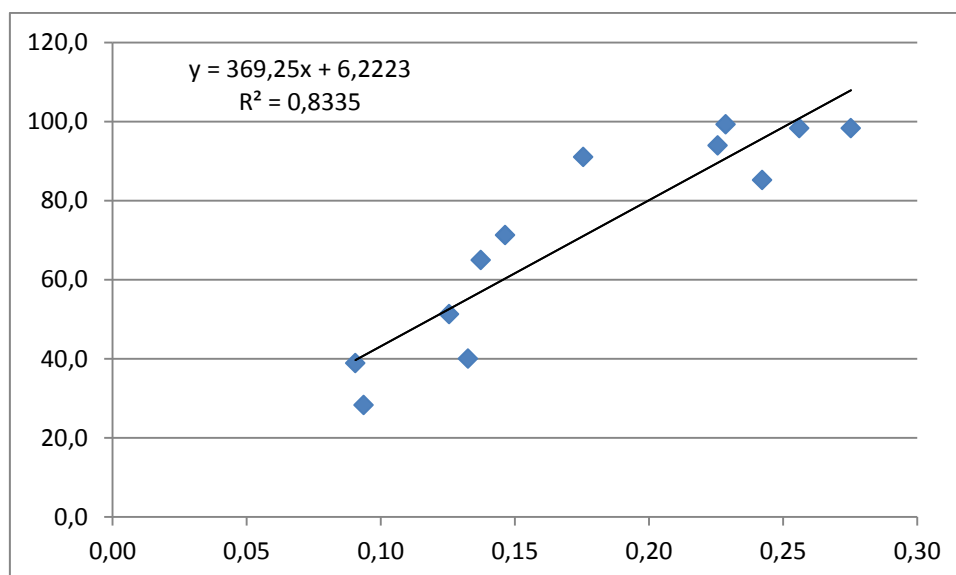


Рисунок 1 – Зависимость усвоения хрома от коэффициента заполнения порошковой проволоки

Библиографический список

1. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А., Соколов П.Д. / Повышение качества наплавленного слоя прокатных валков за счет оптимизации состава порошковых проволок// Сварочное производство. – 2017. - № 7. – С. 29-34.
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.

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ Порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома

Белов Д.Е., Симонова Д.Е., Михно А.Р.

Научный руководитель: д-р техн.наук, профессор Козырев Н.А.

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

Изучена возможность изготовления порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки производства феррохрома в качестве восстанавливаемого материала и в качестве восстановителей: пыль газоочистки алюминиевого производства. Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца. Подобран режим наплавки.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, образцы, неметаллические включения, микроструктура, твердость.

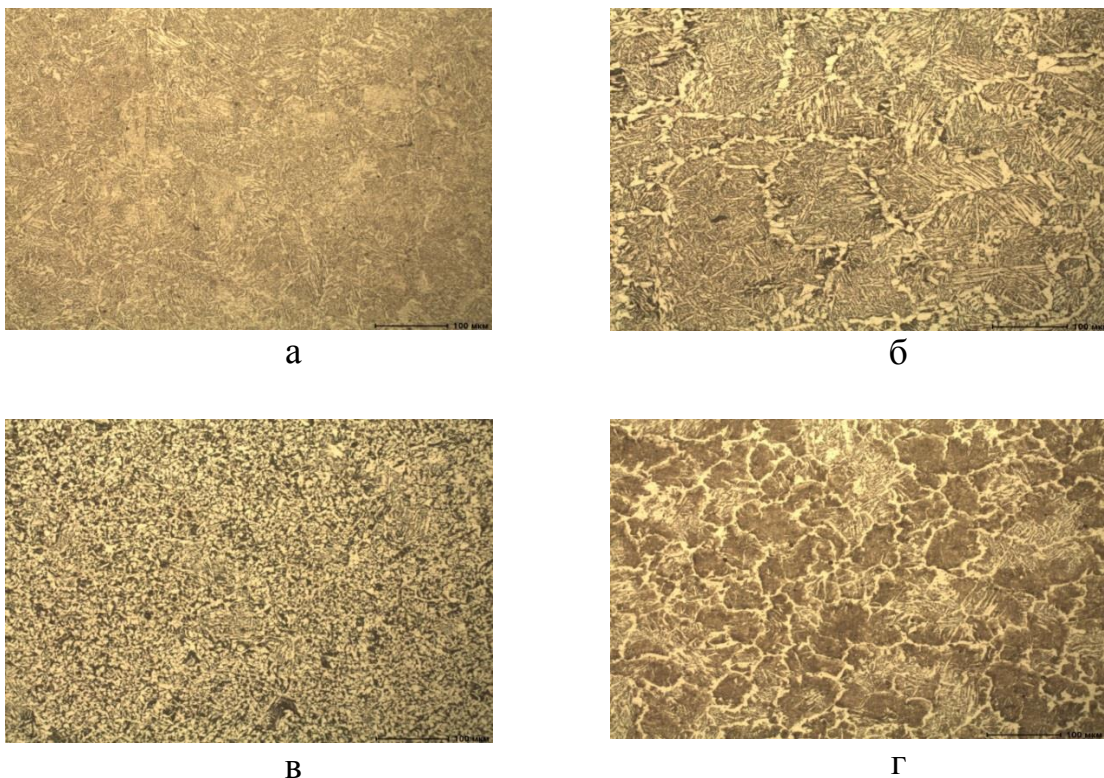
В данной работе рассмотрена возможность изготовления порошковых проволок на основе пыли газоочистки алюминиевого производства (в качестве восстановителя) и пыли газоочистки производства феррохрома (в качестве восстанавливаемого компонента - оксида хрома).

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях изготовлены образцы порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства.

В качестве восстанавливаемого вещества использовали пыль газоочистки феррохрома с химическим составом, мас. % $Cr_2O_3 = 22,5$; $SiO_2 = 15,5$; $CaO = 0,4$; $MgO = 31,1$; $Al_2O_3 = 5,4$; $FeO_2 = 6,0$; $C = 6,2$; $S = 1,2$, в качестве восстановителя использовали пыль газоочистки алюминиевого производства, мас. %: $Al_2O_3 = 21-46,23$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4-6$; $CaO = 0,7-2,3$; $SiO_2 = 0,5-2,48$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$; $C_{общ} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,1-0,18$ в качестве углеродосодержащего материала. Наплавку проводили на пластины из стали толщиной 10 мм размером 100x500 мм.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного слоя металла

№ образца	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	Ti
50	0,12	0,43	1,1	0,05	0,43	0,064	0,057	0,006	0,006	0,006	0,005
51	0,17	0,57	1,35	0,09	0,48	0,07	0,05	0,01	0,004	0,004	0,004
52	0,2	0,5	1	0,09	0,42	0,07	0,05	0,01	0,004	0,01	0,004
53	0,26	0,6	1,17	0,10	0,37	0,07	0,06	0,01	0,01	0,01	0,004



а- образец 50, б- образец 51, в- образец 52, г- образец 53

Рисунок 1 - Микроструктура наплавленного металла в зависимости от содержания восстановителя (углерода) в порошковой проволоке, $\times 200$

Установлено, что с увеличением в порошковой проволоке концентрации углеродсодержащего вещества в пересчете на общий углерод, содержание углерода в наплавленном слое возрастает от 0,12 до 0,26 %. При этом количество хрома изменяется в наплавленном слое от 0,37 до 0,48 %. Изменение структуры наплавленного слоя соотносится с увеличением в нем содержания углерода. Прежде всего, уменьшается объемная доля свободного феррита, расположенного по границам первичных зерен аустенита. При максимальном содержании углерода в структуре свободный феррит практически отсутствует, и структура слоя представляет собой мелкоигльчатый мартенсит (размер 8-15 мкм) с участками игльчатого троостита. Структура слоя, наплавленного опытной порошковой проволокой с концентрацией углерода 44,1 %, обеспечивает максимальную твердость металла 174 НВ.

Можно констатировать, что для наплавленных образцов, изготовленных с использованием опытных порошковых проволок с пылью газоочистки алюминиевого производства, характерна мартенситно - трооститная структура с выделением свободного феррита по границам первичных зерен аустенита. Максимальный размер мартенситных игл может достигать 25 мкм, а прослойки феррита, имеющие морфологию видманштетта, – 25-30 мкм.

Вывод:

В ходе экспериментов были исследованы влияния состава порошковой проволоки на свойства наплавленного слоя стальных образцов установлено:

анализ микроструктуры наплавленных слоев позволяет рекомендовать для получения износостойких покрытий на стальных изделиях опытные порошковые проволоки, в состав которых входит порошкообразный углеродный восстановитель (пыль газоочистки алюминиевого производства)

Библиографический список:

1. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А., Соколов П.Д. / Повышение качества наплавленного слоя прокатных валков за счет оптимизации состава порошковых проволок // Сварочное производство. – 2017. - № 7. – С. 29-34.

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.

УДК 625.143.48

ОБРАЗОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Шевченко Р.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: shefn1200@mail.ru*

В статье представлены исследования неметаллических включений присутствующих в сварном соединении образцов из рельсовой стали. Химический состав включений, выявленных по месту сварного шва показал, что основными их составляющими являются оксиды кремния, марганца и характерны при образовании высокотемпературной окалины. Химический состав неметаллического включения, выявленного в металле, вне зоны шва, типичен для включений, образующихся при выплавке и свидетельствует о шлаковом характере его происхождения.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, железнодорожные рельсы, неметаллические включения, структура металла шва.

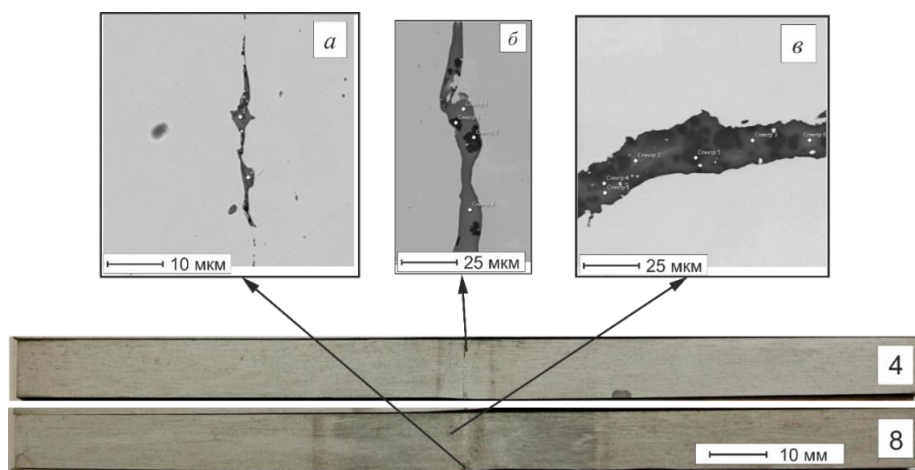
Качество сварных швов рельсового металла зависит от многих факторов [1]. Проведенные исследования [2] по изучению влияния режимов сварки с

последующей изотермической выдержкой образцов из рельсовой стали, производимой путем пропускания импульсов переменного электрического тока после сварки, на качественные показатели сварного стыка показали, что у полученных сварных стыков наблюдаются низкие пластические свойства вне зависимости от наличия закалочных структур в металле шва и зоне термического влияния (ЗТВ). Наиболее вероятно, что снижение пластических свойств металла шва в данном случае происходит по причине несплошностей металла сварного соединения. В результате недостаточного при электроконтактной сварке газообразования возможно возникновение неметаллических включений, которые впоследствии должны в идеале выдавливаться в грат при осадке и удаляться вместе с графом. По данным работы [3] образование неметаллических включений в металле шва возможно при присутствии их в свариваемом рельсовом металле, причем в сталях, загрязненных примесями, вероятность образования дефектов по линии сварки выше, чем в чистых сталях.

В настоящей работе проведено исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали. Для сварки в лабораторных условиях производили вырезку образцов 90×30×10 мм из головки рельсов стали марки Э76ХФ. В дальнейшем осуществляли контактную стыковую сварку на машине МС-2008. Далее образцы разрезали перпендикулярно сварному шву на две части электроэрозионным способом на электроэрозионном проволочно-вырезном станке с ЧПУ струйного типа ДК7732 М11. Макроструктуру сварных стыков изучали после фрезерования и глубокого травления в 50 %-ном водном растворе соляной кислоты. Химический состав всех выявленных включений определяли на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3.

Макроструктура металла сварных стыков представлена на рисунке 1. На макротемплетах сварных стыков в средней части наблюдается сварной шов в виде светлой полоски и зоны термического влияния по обе стороны от него. В зоне сварного соединения выявлены шлаковые включения в виде темнотравящихся полосок и точек (показано стрелками). При просмотре нетравленных шлифов в зоне шва образцов выявлены однотипные, расположенные в вертикальном направлении светлые неметаллические включения силикатного характера шириной до 35 мкм (рисунок 1, а, б).

При исследовании образца 8 выявлена строчка силикатного включения протяженностью 1,51 мм, расположенная в зоне деформации образовавшейся при осадке (рисунок 1, в). Результаты количественного анализа включений образцов представлены в таблице. Химический состав представлен в отдельных указанных точках с названием «Спектр» и соответствующим номером измерения. В таблице эти точки обозначены номером измерения на соответствующем рисунке.



a, б – неметаллическое включение в сварном шве; *в* – в ЗТВ
 Рисунок 1 – Неметаллические включения образцов 4 и 8

Анализ химического состава включений показал, что основными составляющими включений, расположенных по месту шва, являются оксиды кремния и марганца, что характерно при образовании высокотемпературной окалины. Кроме основных оксидов, в составе включений в меньшем количестве (по мере снижения концентрации) присутствуют оксиды алюминия (на уровне 1–2 %), железа, титана, хрома.

Таблица – Химический состав неметаллических включений, содержание элемента в точке, %

Элемент	рисунок 1, <i>a</i>		рисунок 1, <i>б</i>				рисунок 1, <i>в</i>					
	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
O	61,1	60,9	65,8	66,4	60,6	60,6	61,0	60,9	60,8	57,0	57,0	61,0
Al	1,03	1,7	0,23	-	2,2	2,5	8,5	8,7	8,0	27,9	28,0	8,1
Si	21,0	20,1	31,3	32,7	18,7	18,6	17,5	17,1	17,5	-	-	17,0
S	0,2	0,2	-	-	0,3	0,2	-	0,2	-	-	-	0,1
Ca	0,1	0,1	-	-	-	-	1,3	1,2	1,1	-	-	1,2
Na	-	-	-	-	-	-	1,7	2,1	1,7	-	-	1,5
Mg	-	-	-	-	0,3	0,3	5,1	5,6	6,7	13,9	14,0	6,1
Ti	0,2	0,3	0,1	0,1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,1	0,1	1,2
Cr	0,3	0,3	-	-	0,4	0,3	-	-	-	-	-	-
Mn	14,9	14,9	0,6	0,3	16,0	16,0	2,8	2,2	2,4	0,8	0,8	2,7
Fe	1,3	1,4	2,0	0,5	0,8	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
Zr	-	-	-	-	-	-	0,6	0,5	0,5	-	-	0,5
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Состав неметаллического включения, выявленного вне зоны шва, типичен для состава неметаллических включений, образующихся в металле при выплавке. Основными соединениями являются оксиды кремния, алюми-

ния, магния. По мере снижения концентрации во включении наблюдаются соединения марганца, натрия, кальция, титана и циркония. Приведенный химический состав включения свидетельствует о шлаковом характере происхождения выявленного неметаллического включения, образовавшегося при разливке.

Выводы: Химический состав включений, выявленных по месту сварного шва, показал, что основными их составляющими являются оксиды кремния, марганца, что характерно при образовании высокотемпературной окалины. Химический состав неметаллического включения, выявленного в металле вне зоны шва, типичен для включений, образующихся при выплавке, и свидетельствует о шлаковом характере его происхождения.

Библиографический список

1. Multi-factor regression analysis of the process of rails contact welding on K1000 machine / R. A. Shevchenko, N. A. Kozыrev, R. E. Kryukov, A. O. Patrushev, A. A. Usoltsev // Metallurgy 2017. IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 411 (2018) 012088| doi:10.1088/1757-899X/411/1/012088.

2. Е.В. Протопопов, Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, Р.А. Шевченко, А.А. Усольцев. Новая технология сварки железнодорожных рельсов // Сб. Трудов XV Международного конгресса сталеплавателей. Москва–Тула, 15-19 октября 2018 г. – М: МОО «Ассоциация сталеплавателей», 2018. С. 296 – 300.

2. Кучук-Яценко С. И., Лебедев В. К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением: монография / С. И. Кучук-Яценко; – Киев: Наукова думка, 1976. – 216 с.

УДК 621.762.04:[624.567.1:669]

РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Патрушев А.О., Шевченко Р.А.

Научный руководитель: д-р техн.наук, профессор Козырев Н.А.

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

Проведены замеры величин удельного электросопротивления свариваемого материала. Построены регрессионные модели.

Ключевые слова: сварка оплавлением, рельсы, химический состав, удельное электросопротивление, контактно стыковая сварка.

Удельное электросопротивление является необходимым параметром, определяющим качество сварки [1-2]. Этот параметр играет ключевую роль

в определении количества выделившегося тепла. Знание количества выделившегося тепла определяет как структуру сварного шва, так и возможные образования дефектов, которые влияют на качество сварного соединения.

Для исследования зависимости удельного электрического сопротивления, были отобраны 7 образцов различного химического состава. Размеры образцов - 90×30×10 мм. В таблице 1 представлен химический состав образцов использованных при измерении удельного электрического сопротивления рельсовой стали Э76ХФ.

Таблица 1 - Химический состав образцов

№ образца	Химический состав рельсовой стали				
	C	Mn	Si	Cr	Ni
1	0,91	0,81	0,43	0,32	0,15
2	0,74	0,84	0,26	0,07	0,07
3	0,78	0,86	0,56	0,44	0,07
4	0,87	0,79	0,54	0,3	0,08
5	0,74	0,79	0,55	0,38	0,16
6	0,76	0,77	0,53	0,37	0,07
7	0,76	0,77	0,53	0,37	0,07

Образцы нагревались в печи и на воздухе с замером температуры. Замер образцов проводился по методике, описанной в работе [1]. Температура фиксировалась с помощью тепловизора.

Сопротивление, полученное в ходе исследования, было переведено по формуле (1) в удельное электросопротивление и представлено в таблице 2.

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (1)$$

В таблице 2 представлены расчётные значения температуры и удельно электросопротивления.

Таблица 2 – Зависимость электросопротивления от температуры образцов

№	Наименование значения	Значение									
1	T, °C	581	525	492	459	404	354	301	261	241	
	ρ , мКОМ · мм	0,519	0,498	0,458	0,437	0,395	0,356	0,322	0,299	0,286	
2	T, °C	532	490	432	334	280	243				
	ρ , мКОМ · мм	0,483	0,442	0,397	0,323	0,297	0,277				
3	T, °C	527	438	377	330	282	241				
	ρ , мКОМ · мм	0,494	0,427	0,386	0,349	0,326	0,299				
4	T, °C	649	576	515	465	428	386	341	299	256	240
	ρ , мКОМ · мм	0,58	0,540	0,473	0,452	0,416	0,386	0,346	0,336	0,307	0,292

Продолжение таблицы 2

№	Наименование значения	Значение									
5	T, °C	512	490	443	403	373	336	298	259	235	
	ρ , мКОМ · мм	0,507	0,48	0,44	0,4	0,38	0,36	0,337	0,311	0,302	
6	T, °C	606	540	490	440	390	370	294	253		
	ρ , мКОМ · мм	0,6	0,5	0,467	0,433	0,391	0,377	0,335	0,311		
7	T, °C	610	537	530	518	505	425	420	410	404	402
	ρ , мКОМ · мм	0,556	0,485	0,475	0,451	0,461	0,408	0,403	0,397	0,392	0,392
	T, °C	352	347	290	285	282	260	254	235		
	ρ , мКОМ · мм	0,362	0,341	0,325	0,305	0,319	0,304	0,3	0,286		

По результатам исследования, построена регрессионная модель удельного электрического сопротивления .

$$\rho = 0,0171 - 0,0172 \cdot C + 0,0648 \cdot Mn + 0,125 \cdot Si - 0,038 \cdot Cr + 0,1016 \cdot Ni + 0,0007 \cdot T$$

(ошибка аппроксимации 1,96 %, $R^2=0,98$)

По данной модели, был построен график, на котором изображено наглядное представление роста удельного электрического сопротивления от температуры различно химического состава. Минимум и максимум удельного электросопротивления определён исходя из допустимых интервалов химического состава, взятого из ГОСТ 51685-2013.

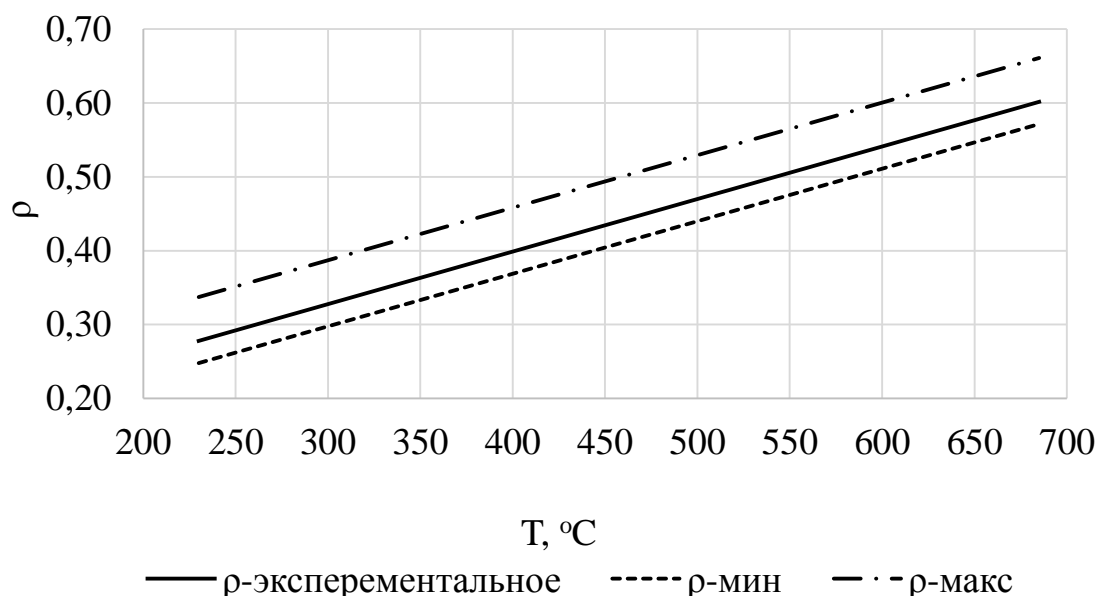


Рисунок 1 – Изображение зависимости роста удельного электрического сопротивления от температуры рельсовой стали Э76ХФ

Вывод:

1. Получен массив данных удельного электросопротивления рельсовой стали Э76ХФ на основании которого построена регрессионная статистическая модель.
2. Проведена графическая обработка массива данных удельного электросопротивления.

Библиографический список

1. Методика определения электрического сопротивления рельсовой стали / В. А. Кузнецов, Р. А. Шевченко, А. А. Усольцев, Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. – Москва; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 40. - С. 111-117.
2. Статистическая модель управления процессами контактной сварки рельсов / Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, А. О. Патрушев, П. Е. Шишкин // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 1 (19). - С. 4-8.

УДК 625.143.48

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛЮМОТЕРМИТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ

Тосик В.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

В данной работе исследовался характер протекания термитной смеси от содержания в термитной смеси алюминия. Материальный баланс термитного восстановления железа позволил установить количество безвозвратных потерь и количество термитного железа. Тепловой баланс термитного восстановления железа позволил установить количество металлического наполнителя в термитной смеси для увеличения выхода жидких продуктов термитной реакции (стали).

Ключевые слова: алюмотермитная сварка, технология, рельсы.

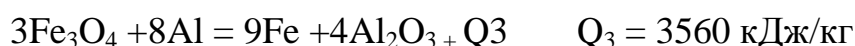
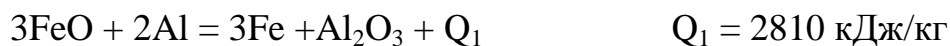
Развитие железных дорог невозможно без создания высокоскоростных магистралей. Для решения этой задачи выдвигаются новые требования к верхнему строению пути. Основные из них это ликвидация стыков рельсов на всем протяжении пути, включая стрелочные переводы. Алюминотермитная сварка рельсов для этих целей оказалась наиболее эффективным, надежным и универсальным способом соединения рельсов. История рождения технологии алюминотермитной сварки уходит в далекий 1865 г., когда русский ученый Н.Н. Бекетов открыл процесс восстановления чистого железа из

его окиси при помощи алюминия с выделением большого количества тепла. В начале XX в. русским инженером М. Карасевым на основе этого открытия был изобретен способ бесстыкового соединения рельсов при прокладке железнодорожных путей.

Для сварки рельсов применяется железоалюминиевый термит, представляющий собой механическую смесь окислов железа (главным образом, закиси-окиси) и алюминиевого порошка [1-3]. Источником кислорода в термите является окисел, а источником тепла (горючим) металл, входящий в смесь в чистом виде. В качестве окислов в термитных смесях используют железную окалину, а в качестве горючих металлов алюминий, магний. Кроме того, в термит можно вводить легирующие элементы для улучшения механических свойств термитного металла и механический наполнитель железную обсежку для увеличения выхода жидких продуктов термитной реакции (стали). Наибольшее распространение получили алюминиевые термиты, содержащие 20–25 % алюминиевого порошка и 75–80 % окалины.

Железная окалина, используемая в термите, является сложным химическим соединением, состоящим из нескольких окислов: от окиси железа Fe_2O_3 плотностью $5,1 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 1556°C до закиси железа FeO плотностью $5,7 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 1420°C . Химический состав порошка железной окалины после смешивания трех фракций должен быть следующим: $\text{Fe} > 68,6 \%$; $\text{Mn} = 0,3 - 0,6 \%$; $\text{Si} = 0,4 - 0,45 \%$; прочие примеси $\leq 0,30 \%$; $\text{O}_2 \leq 28,65 \%$; $\leq 14 \%$ FeO .

В результате анализа существующих технологий алюмотермии установлено, что количество выделяемого тепла при протекании реакции восстановления железа зависит от состава оксида железа [4.].



где Fe — термитное железо; Al_2O_3 — шлак; Q — выделенное тепло.

В процессе термитной реакции происходит выгорание ряда компонентов углерода до 30 %, кремния до 20 %, марганца до 80 %. Для увеличения содержания этих элементов в термитную смесь (шихту) вводят в измельченном виде добавки: ферромарганец с содержанием марганца 76–80 %, ферросилиций с содержанием кремния 40–80%, углерод в виде графитового порошка и гранулированную малоуглеродистую сталь. Могут быть внесены и такие элементы, как ферромolibден, ферротитан, феррованадий.

При сгорании алюминиевый термит может развивать температуру до 3000°C .

На тепловой эффект оказывает влияние гранулометрический состав, степень уплотнения и равномерность перемешивания литейного компонента. Плотность термита составляет $3,2 - 3,4 \text{ г/см}^3$. Размеры частиц компонентов

лежат в пределах: алюминий — 0,1...1 мм; железная окалина — 0,05...1 мм; стальной наполнитель — около 1 мм; лигатура — 0,25...0,6 мм [5].

В данной работе исследовался характер протекания термитной смеси в зависимости от содержания в термитной смеси алюминия и самого состава термитной смеси. При этом определялся материальный и тепловой баланс термитной реакции. В зависимости от условий протекания термитной реакции количество выделяемого термитного железа и количество безвозвратных потерь получается разным, в том числе угар элементов. Термитная смесь предварительно взвешивалась, далее помещалась в специальный графитовый тигель и поджигалась. Продукты реакции после горения термитной смеси повторно взвешивались, далее происходило отделение шлака от полученного термитного железа, которое тоже взвешивалось.

Материальный баланс термитного восстановления железа позволил установить количество безвозвратных потерь при алюмотермитной реакции. Тепловой баланс термитного восстановления железа позволил определить количество металлического наполнителя в термитной смеси для увеличения выхода жидких продуктов термитной реакции (стали).

Библиографический список

4. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов / Н. А. Козырев, Р.А. Шевченко, А.А. Усольцев, Р. Е. Крюков, С.В. Князев // Черная металлургия. 2018. № 2 (1418). с. 62-69.

5. Разработка и совершенствование технологии сварки рельсов для высокоскоростного движения /Протопопов Е.В., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2018. № 21. С. 135-142.

6. Термические способы соединения стальных изделий с использованием флюсов / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков // Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : СибГИУ, 2016. – 105 с.: Издательский центр СибГИУ, 2016 – 105с.

7. Расчет шихты для выплавки ферросплавов / О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, Ю.Е. Романенко // Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : СибГИУ, 2007. – 252 с.: Издательский центр СибГИУ, 2017. – Ч. 1. - С. 336-339. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

8. Автоматизация экспериментальных исследований / Чиченов Н.А. // Учебное пособие для вузов, М.: Металлургия, 1983. – 265 с.

ЦИКЛЫ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Александрова О.А.

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Михайличенко Т.А.

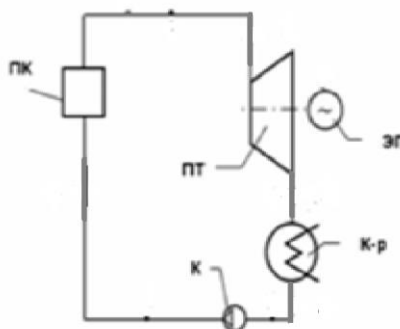
*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: oleska.alexandrova@yandex.ru*

Основу энергетики России составляют тепловые электростанции (ТЭС). Они производят 68% (2018г.) всей электрической энергии. Тепловые схемы ТЭС непрерывно совершенствуются с целью повышения коэффициента полезного действия (КПД) и снижения удельного расхода топлива. Цель работы - проследить эволюцию идеального термодинамического цикла, в процессе которой родились современные установки ТЭС.

Ключевые слова: паротурбинные установки, пар, температура, цикл, давление, КПД.

Паротурбинная установка - это тепловой агрегат, который используется для преобразования потенциальной энергии перегретого пара в механическую энергию вращения ротора турбины. Паротурбинная установка состоит из турбоагрегата, котла и вспомогательного оборудования [1].

В парогенераторе генерируется пар заданной температуры и давления. В турбине происходит процесс расширения пара, его давление и температура понижаются, а созданная паром на лопатках турбины работа передаётся на электрогенератор. Отработавший пар охлаждается в конденсаторе, где он может частично превращаться в воду. Для того, чтобы вновь подать рабочее тело, пароводяную смесь, в парогенератор, его нужно сжать в компрессоре (рисунок 1).

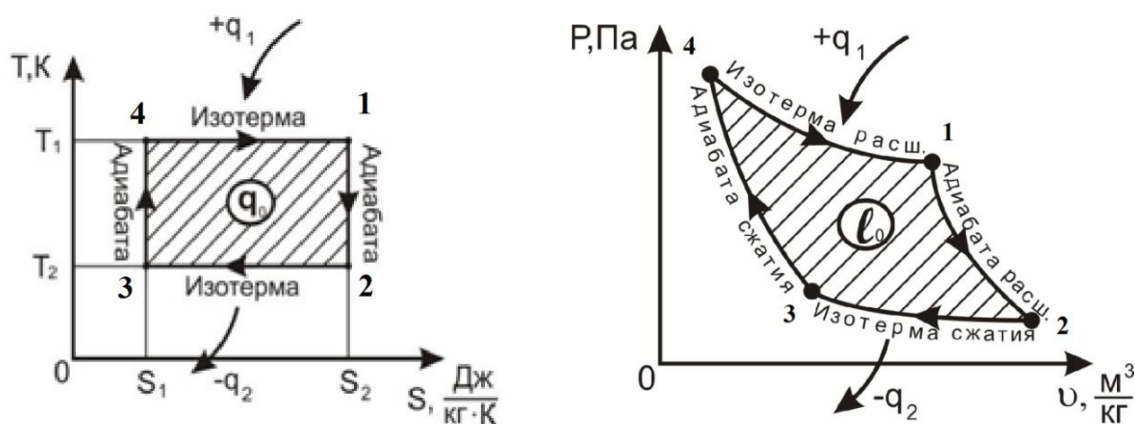


ПТ- паровая турбина; ЭГ – электрогенератор; К-р – конденсатор;
К – компрессор; ПК – паровой котёл

Рисунок 1 - Схема простейшей паротурбинной установки

Совершенство паротурбинной установки зависит, главным образом, от тепловой экономичности ее термодинамического цикла, который определяется КПД. Высшим термическим КПД в заданном интервале температур ха-

характеризуется цикл Карно, который теоретически наиболее просто реализуется в области влажного пара. Рассмотрим цикл Карно в TS- и PV- диаграммах (рисунок 2).



1-2 – адиабатическое расширение; 2-3 – изотермическое сжатие;
3-4 – адиабатическое сжатие; 4-1 – изобарно изотермическое расширение

Рисунок 2 - TS и PV диаграммы цикла Карно

Процесс подвода тепла q_1 осуществляется при изотерме T_1 в парогенераторе, процесс отвода тепла q_2 при изотерме T_2 в конденсаторе, в турбине происходит процесс адиабатического расширения пара, а в компрессоре его адиабатическое сжатие.

Для цикла Карно термический КПД выражается через максимальную и минимальную температуру цикла по формуле (1).

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (1)$$

Увеличить КПД цикла можно было бы за счёт снижения температуры T_2 , но она зависит от температурного уровня охлаждающей среды, и ниже его, естественно, быть не может. Казалось бы, можно повысить температуру до критического уровня (рисунок 3), однако при этом работа цикла будет стремиться к нулю.

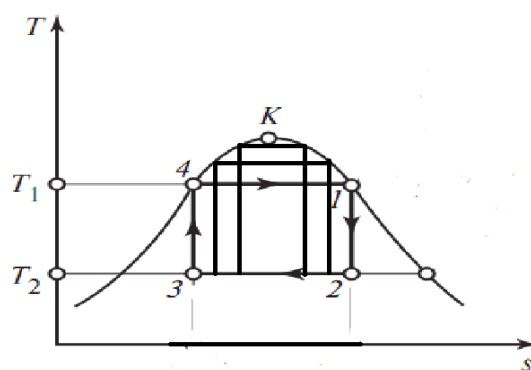


Рисунок 3 - TS и диаграмма с повышением температуры

Практически цикл Карно невыполним по следующей причине. В точке 4, где заканчивается сжатие по изотерме 2-3 (конденсация), состояние пара соответствует влажному пару некоторой степени сухости x . Так как удельный объем пара очень велик при низких температурах, то для последующего сжатия его по адиабате 3-4 требуется паровой компрессор очень больших размеров и значительных затрат работы. Вот почему в паросиловых установках получил применение несколько видоизмененный цикл, предложенный Ренкиным [2].

Если сконденсировать пар полностью, то вместо компрессора можно применить компактный циркуляционный насос, насос повышает давление воды до давления в парогенераторе (рисунок 4).

Вода, поступающая в котёл, в объёме которого поддерживается постоянное давление, нагревается за счёт теплоты, получаемой при сжигании топлива в топке, и достигает температуры насыщения при заданном давлении. При последующем подводе теплоты получается сухой насыщенный пар (процесс 5-1). Пар направляется в турбину, где происходит процесс 1-2 адиабатического расширения. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, в котором охлаждающей водой от пара отбирается некоторое количество теплоты, пар конденсируется (процесс 2-3) и превращается в воду (конденсат) с параметрами состояния в точке 3. Затем конденсат насосом возвращается в котёл (точка 4). Обычно при анализе таких циклов вода принимается в качестве несжимаемого тела, поэтому процесс 3-4 подачи воды насосом принимается изохорным (рисунок 5).

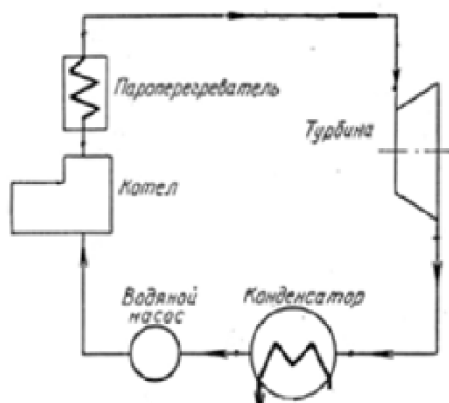


Рисунок 4 - Схема ПТУ с вводом насоса и пароперегревателя

Изотерма отвода тепла в этом случае пойдёт дальше, чем в цикле Карно, до полной конденсации пара. Изобары p_1 и p_2 в области жидкости практически совпадают с левой ветвью пограничной кривой, поэтому в дальнейшем левая ветвь пограничной кривой обозначаться не будет (рисунок 5). Подвод тепла будет осуществляться иначе. Сначала вода нагревается до температуры кипения, и лишь затем начинается генерация пара. Полученный таким образом цикл называется идеальным циклом Ренкина.

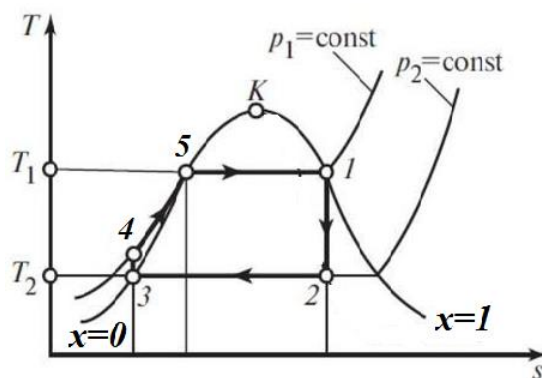


Рисунок 5 – TS- диаграмма цикла Ренкина

Средняя температура подвода тепла в цикле Ренкина ниже максимальной температуры цикла Карно, и КПД цикла Ренкина в заданном интервале температур соответственно меньше. Каким же способом можно увеличить КПД цикла Ренкина, приблизив его к КПД цикла Карно?

Достигается это следующим образом:

Использование высокой температуры пара, достигающей 830К, и соответствующего этой температуре оптимального давления пара 23,5 МПа. Дальнейшее повышение температуры ограничено не только условиями прочности материалов, но и началом термической диссоциации воды, приводящей к появлению в теплоносителе атомарных кислорода и водорода, вызывающих коррозию и охрупчивание сталей.

Применение оптимального по технико-экономическим показателям конечного давления пара в паротурбинной установке 3-4 кПа. Уменьшение вакуума в конденсаторе приводит к росту термического КПД паротурбинной установки. Например, снижение давления от 4 до 3 кПа соответствует росту КПД примерно на 2%. В тоже время необходимое для снижения давления в конденсаторе увеличение кратности циркуляции или снижение температуры приводит к росту поверхности конденсатора, мощности системы охлаждения. Поэтому оптимальное давление в конденсаторе находится в результате технико-экономического анализа.

Использование промежуточного перегрева пара повышает термическую экономичность цикла и уменьшает конечную влажность пара в последних ступенях паровой турбины. Температура промежуточного перегрева пара обычно принимается равной температуре перегрева пара, а давление промежуточного перегрева - 0,15-0,25 давления пара.

Применение регенеративного подогрева питательной воды котла паром из отборов паротурбинной установки уменьшает расход пара и безвозвратные потери теплоты в конденсаторе.

Использование оптимальных схем отпуска теплоты на теплофикацию [2].

Библиографический список

1. Теплотехника/ М.М. Хазен, Г.А. Матвеев, М.Е. Грицевский,

Ф.П.Казакевич/ Под ред. Г.А. Матвеева. – Москва : Высшая школа, 1981. - 480 с.

2. Архаров А. М. , Исаев С. И. , Кожинов И. А. и др. Под общ.ред. Крутова В. И. Теплотехника: Учебник для студентов и вузов. –Москва : Машиностроение, 1986. – 432 с.

УДК 528.7

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Артеева Т.Е., Цыганенко Н.Д.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Земенков Ю.Д.

Тюменский индустриальный университет,

г. Тюмень, e-mail: arteevatea@gmail.com, tsyganenkond@gmail.com

Оценка дефектов, вызванных появлением коррозии, становится серьезной проблемой при диагностике трубопроводов с целью определения его состояния. Использование статистической модели для прогнозирования развития коррозии, зависящей от времени, для нефте- и газопроводов с использованием искусственной нейронной сети в качестве альтернативы существующему методу и оценки ее адекватности без применения методов корректировки данных.

Эта модель сформирована на основе параметров дефектов, взятых из поточных данных контроля и количественно оценённых статистическим анализом.

Разработанная модель даёт прогноз глубины коррозии и длины дефекта, также можно использовать для расчета скорости коррозии и развития коррозии.

Ключевые слова: нейросеть, нефтепровод, газопровод, трубопровод, коррозия, прогнозирование.

По трубопроводным сетям ежедневно транспортируют и распределяют огромное количество нефти и газа по всему миру. Трубопроводы считаются самым безопасным способом перекачки нефти и газа из-за их ограниченного количества отказов. Однако трубопроводы подвержены износу и коррозии. Поэтому важно, чтобы диагностика трубопроводов была максимально достоверной для оптимизации их работы и снижения их. В последнее время было разработано множество моделей для прогнозирования эксплуатационного состояния трубопровода. Тем не менее, большинство этих моделей использовали только характеристики коррозии для оценки состояния трубопроводов. В этой статье представлена разработка моделей, которые оценивают и прогнозируют состояние нефте- и газопроводов на основе нескольких факторов, помимо коррозии. Модели были разработаны с использованием

метода искусственной нейронной сети (ANN). Модели смогли успешно предсказать условия трубопровода со средним процентным значением достоверности выше 97% применительно к набору данных проверки. Ожидается, что эти модели помогут оперативному персоналу оценивать и прогнозировать состояние эксплуатируемых нефте- и газопроводов и, следовательно, верно расставлять приоритеты планирования их диагностики и ремонта.

Согласно отчету об отказе трубопровода, одной из главных причин разрушения в нефте- и газопроводах является коррозия. Коррозия, другими словами, это потеря металла вследствие химического или электрохимического процесса [1]. Подобно другим факторам из-за которых происходит разрушение трубопровода, коррозия также может вызвать утечку нефти и газа, а также разрыв трубопровода. Это может произойти с любой из внутренних или внешних поверхностей трубопровода, материалов основания, сварных швов и других зон. Коррозия, вызванная ухудшением окружающей среды (включая сульфаты, кислоту и ультрафиолетовое излучение), также может появляться на не стальных трубопроводах, даже если они обладают хорошими антикоррозионными свойствами. Степень износа трубопроводов значительно варьируется, от пары лет после строительства до десятилетий; этот различный уровень ухудшения обусловлен различными местными условиями и временными различиями.

Экспериментальные исследования, в большинстве своем, отличаются от теоретической своей простоты, они часто дороги и требуют много времени. В качестве альтернативы моделирование является полезным и мощным инструментом для улучшения нашего понимания процесса коррозии. Он также помогает инженерам-строителям и специалистам по коррозии, предсказывая срок службы морского трубопровода в данной среде. Несколько моделей для прогнозирования.

Выделяют три формы признанной коррозии, которые можно использовать для оценки вероятности появления коррозии [2]: атмосферная коррозия, внутренняя коррозия и коррозия блуждающими токами. Таблица 1 показывает процент определения вероятности коррозии, который оценивается по числовым шкалам от 1 до 4.

Таблица 1 - Статистическая вероятность появления коррозии (в процентах, в баллах)

Фактор	Процент, %	Балл, ед.
Коррозия, вызванная блуждающими токами	70	0,7~2,8
Внутренняя коррозия	20	0,2~0,8
Атмосферная коррозия	10	0,1~0,4

Недавнее исследование показало, что около 36% отказов в морских трубопроводах были связаны с (локальной) коррозией в сварных швах. Известно, что наиболее серьезной формой является точечная коррозия, и что она хуже для зоны термического влияния (ЗТВ), чем для зоны сварки или основного металла. Это связано с характером его образования в процессе сварки, когда между металлом сварного шва и основным металлом наблюдается значительный кратковременный температурный градиент, за которым следует довольно быстрое охлаждение [2].

Целью исследования было прогнозирование скорости коррозии с использованием ANN-моделирования. Данные, использованные для разработки модели на этапах обучения и тестирования, были собраны из литературы. Модели ANN создают корреляцию между входом и выходом цели с помощью скрытых нейронов в скрытых слоях. Всего из экспериментов было доступно 42 набора данных, которые были случайным образом разделены на 30 обучающих и 12 тестовых наборов. Семью входными параметрами, рассмотренными в настоящей работе, были температура, ингибитор, скорость, скорость потока, число Рейнольдса, массовое напряжение сдвига и число Шервуда, а на выходе была скорость коррозии. Наборы данных и их описательная статистика перечислены в таблицах 2 и 3 соответственно. Для разработки модели были использованы нейронные сети с обратным распространением. Была получена среднеквадратичная ошибка 0,000036 и средняя средняя ошибка 0,028848 после 15000 итераций. Архитектура состояла из 2 скрытых слоев, каждый из которых состоял из 6 скрытых нейронов (7-6-6-1), скорость обучения 0,3 и срок импульса 0,6.

Плотность потока измерялась при различных температурах и при разных скоростях в присутствии ингибитора коррозии. Тем не менее, плотность тока была значительно ниже, чем в реальных условиях. В условиях текучести ингибиторы лучше прикрепляются к поверхности стенки, обеспечивая хорошую защиту от коррозии, особенно при комнатной температуре. Однако при 50 и 70 °С, особенно при 5000 об / мин, было отмечено увеличение плотности потока, и это связано с частичным удалением пленки ингибитора, образованной на поверхности металла. Было обнаружено, что ингибитор оставался на металлической поверхности в течение нескольких часов, но по мере увеличения скорости вращения он отрывался от поверхности, оставляя активные участки, увеличивая восприимчивость к локальным типам коррозии. Существовала незначительная разница в кривых плотности тока при разных скоростях вращения. Как только скорость вращения увеличилась, значение коррозии немного увеличилось, достигнув наивысшего значения при 3000 об/мин, но оно снова уменьшилось с дальнейшим увеличением скорости вращения до 5000 об/мин.

Таблица 2 - Экспериментальные результаты и результаты моделирования коррозии, смоделированные ANN

№	Темпе- ра тура	Инги- би тор	Ско- рость	Ско- рость пото- ка	Re	Напр. сдвига	Sher woo d	CR	Train/ test
1.	20	0	0	0	0	0	0	0.644017	Train
2.	20	0	500	0.52	9950	1.40	464	0.802894	Train
3.	20	0	1000	1.05	20000	4.55	753	0.858647	Train
4.	20	0	2000	2.09	40100	14.8	1220	0.996315	test
5.	20	0	3000	3.14	60100	29.5	1620	1.216025	Train
6.	20	0	4000	4.19	80200	48.0	1980	1.425702	test
7.	20	0	5000	5.24	10000	70.2	2330	1.579880	Train
8.	50	0	0	0	0	0	0	1.745996	Train
9.	50	0	500	0.52	9950	1.40	464	1.932178	test
10.	50	0	1000	1.05	20000	4.55	753	2.140585	Train
11.	50	0	2000	2.09	40100	14.8	1220	2.122805	Train
12.	50	0	3000	3.14	60100	29.5	1620	2.353564	test
13.	50	0	4000	4.19	80200	48.0	1980	0.306066	Train
14.	50	0	5000	5.24	10000	70.2	2330	2.339975	Train
15.	50	0	0	0	0	0	0	1.019048	test
16.	70	0	500	0.52	9950	1.40	464	1.131951	Train
17.	70	0	1000	1.05	20000	4.55	753	1.114044	Train
18.	70	0	2000	2.09	40100	14.8	1220	1.009777	test
19.	70	0	3000	3.14	60100	29.5	1620	0.910336	Train
20.	70	0	4000	4.19	80200	48.0	1980	1.157859	Train
21.	70	0	5000	5.24	10000	70.2	2330	1.712214	Train
22.	20	1	0	0	0	0	0	0.006731	test
23.	20	1	500	0.52	9950	1.40	464	0.008255	Train
24.	20	1	1000	1.05	20000	4.55	753	0.011938	Train
25.	20	1	2000	2.09	40100	14.8	1220	0.012954	Train
26.	20	1	3000	3.14	60100	29.5	1620	0.011938	Train
27.	20	1	4000	4.19	80200	48.0	1980	0.012065	test
28.	20	1	5000	5.24	10000	70.2	2330	0.017272	Train
29.	50	1	0	0	0	0	0	0.042672	Train
30.	50	1	500	0.52	9950	1.40	464	0.034925	test
31.	50	1	1000	1.05	20000	4.55	753	0.093599	Train
32.	50	1	2000	2.09	40100	14.8	1220	0.116332	Train
33.	50	1	3000	3.14	60100	29.5	1620	0.126492	Train
34.	50	1	4000	4.19	80200	48.0	1980	0.119771	test
35.	50	1	5000	5.24	10000	70.2	2330	0.189484	Train
36.	70	1	0	0	0	0	0	0.112141	Train
37.	70	1	500	0.52	9950	1.40	464	0.083693	test
38.	70	1	1000	1.05	20000	4.55	753	0.060198	Train
39.	70	1	2000	2.09	40100	14.8	1220	0.062357	Train
40.	70	1	3000	3.14	60100	29.5	1620	0.194691	test
41.	70	1	4000	4.19	80200	48.0	1980	0.158877	Train
42.	70	1	5000	5.24	10000	70.2	2330	0.138938	Train

Таблица 2 - Описательная статистика данных, используемых для моделирования

Ввод/вывод	Min	Max	Mean	SD
Температура	20	70	46.6700	35.36000
Ингибитор	0	1	0.50000	0.710000
Скорость	0	5000	2214.28	3535.530
Скорость пото-	0	5.24	2.32000	3.710000
Re	0	100000	44335.7	70710.68
Напр. сдвига	0	70.2	24.0600	49.64000
Sherwood	0	2330	1195.30	1647.560
Уровень корро-	0.006731	2.353564	0.76980	0.360000

Была разработана нейронная сеть для прогнозирования развития коррозии в трубопроводах из углеродистой стали X65. Различные агрессивные температуры и скорости вращения принимаются во внимание как для «закрытых», так и для реальных условий. Полученные данные показали довольно высокое соответствие результатов моделирования и экспериментальных данных и, также было подтверждено, что это эффективный подход для прогнозирования развития коррозии в трубопроводе.

Библиографический список

1. Азаренков Н.А., Литовченко С.В., Неклюдов И.М., Стоев П.И. Коррозия и защита металлов. Часть 1. Химическая коррозия металлов. Учебное пособие. – Харьков: ХНУ, 2007, 187 с.
2. Сенин А.В., Тепляков Ю.Н., Винник Д.А. Коррозия и защита металлов. Учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013, 28 с.

УДК 502.174:662.613.52

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Дьяченко Е.В., Мигель Д.О.

Научный руководитель канд.техн.наук, доцент Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail:qwerty210295@gmail.com*

В статье проведен анализ различных газоочистителей и оценка влияния выбросов на окружающую среду.

Ключевые слова: газоочистка, очистители, окружающая среда, промышленные предприятия, зола, шлак, дымовые выбросы.

Деятельность практически всех промышленных предприятий связана с выбросом в помещения и в атмосферу различных веществ, которые наносят большой вред окружающей среде. В воздух могут попадать аэрозольные ча-

стицы в виде пыли, дыма, тумана, а также газы, пары, различные виды микроорганизмов и радиоактивные компоненты.

В наше время очистка воздуха имеет большое значение в санитарно-гигиеническом плане, в вопросах экологического и экономического значения, и почти для всех промышленных производств очистка является, пожалуй, главным мероприятием по защите воздуха от вредных веществ и примесей, мероприятием, способствующим очистке газовых смесей перед их выбросом.

Что же такое очистка газов? Это, прежде всего, очистка газовой смеси от различных примесей перед выбросом их в атмосферу. Это делается для соблюдения санитарных условий в регионах рядом с промышленным объектом, для подготовки газов к их дальнейшему применению в качестве химического сырья или топлива. Сами же примеси используются в качестве ценных продуктов.

Очистка газов делится на: очистку от взвешенных частиц в виде пыли, тумана, очистку газов от примесей в парообразном и газообразном состояниях, которые нежелательны при их дальнейшем использовании или выбросе.

Процесс, представляющий собой улавливание вредных веществ в промышленных газовых выбросах, подразделяется на промышленную очистку газов для утилизации их выбросов и возврата в производство отделенного от газа безвредного продукта, а также на санитарную очистку газовых выбросов от остаточного содержания в них вредных веществ, обеспечивая тем самым высокое качество воздуха. Выбор конструкции оборудования для газоочистки и технологии применяемой очистки осуществляется в зависимости от характера производственного процесса, состава отработанных газов, необходимой степени очистки и пр.

Основной поток загрязнений исходит от производителей и потребителей энергии, главным образом, связанных с использованием органического топлива.

Рациональное размещение предприятий предусматривает максимально возможное удаление промышленных объектов с загрязнителями воздуха от населенных зон, создание вокруг них санитарно-защитных зон, учет рельефа местности и преобладающего направления ветра при размещении источников загрязнений и жилых зон по отношению друг к другу.

В частности, промышленное предприятие необходимо располагать по отношению к жилому массиву с учетом направления ветра на возвышенных, хорошо продуваемых местах.

Основными параметрами систем очистки воздуха (газа) являются эффективность и гидравлическое сопротивление.

Эффективность определяет концентрацию вредной примеси на выходе из аппарата, а гидравлическое сопротивление - затраты энергии на пропуск очищаемых газов через аппараты. Чем выше эффективность и меньше гидравлическое сопротивление, тем лучше.

Номенклатура существующих газоочистных аппаратов значительна, а их технические возможности позволяют обеспечивать высокие степени очистки отходящих газов практически по всем веществам.

Аэрозоли воздушных выбросов промышленных предприятий характеризуются большим разнообразием дисперсного состава и других физико-химических свойств. В связи с этим разработаны различные методы очистки и типы пылеуловителей - аппаратов, предназначенных для очистки выбросов от пыли (и других аэрозолей).

Методы очистки промышленных газовых выбросов от пыли можно разделить на две группы:

- улавливание пыли «сухим» способом,
- улавливание пыли «мокрым» способом.

Сухие механические обеспыливающие аппараты. К таким аппаратам относятся пылеосадительные камеры, циклоны, пористые фильтры. Применение того или иного аппарата обуславливается свойствами и группой дисперсности пыли:

I - очень крупнодисперсная пыль, $d_{50} > 140$ мкм,

II - крупнодисперсная пыль, $d_{50} = 40 - 140$ мкм,

III - среднедисперсная пыль, $d_{50} = 10 - 40$ мкм,

IV - мелкодисперсная пыль, $d_{50} = 1 - 10$ мкм,

V - очень мелкодисперсная пыль, $d_{50} < 1$ мкм,

где d_{50} - среднее значение эффективного диаметра 50 частиц пыли.

Пылеосадительные камеры и циклоны большой пропускной способности применяют для улавливания пыли первой и второй групп (крупнодисперсной), тканевые фильтры - для улавливания пыли третьей и четвертой групп (средне- и мелкодисперсной), электрофильтры эффективны для улавливания пыли пятой группы (очень мелкодисперсной).

Мокрые пылеулавливающие аппараты работают по принципу улавливания частиц пыли поверхностью или объемом жидкости (воды). Эти аппараты характеризуются высокой степенью очистки от мелкодисперсной пыли. С их помощью можно очищать от пыли горячие и взрывоопасные газы. Эффективность работы аппаратов мокрой очистки зависит от смачиваемости пыли, площади соприкосновения запыленного потока газа с поверхностью жидкости. Если пыль плохо смачивается водой, то в воду добавляют поверхностно активные вещества (ПАВ). Для увеличения поверхности контакта в аппараты мокрой очистки вводят специальные насадки из материалов, инертных по отношению к воде и загрязнениям (в промывных башнях) или воду распыляют при помощи форсунок (форсуночные скрубберы).

Промывную воду и запыленный газовый поток подают в колонну противотоком. По мере продвижения газового потока снизу вверх колонны пыль захватывается водной поверхностью, вода загрязняется твердыми частицами, растворимыми веществами и в виде шлама выводится из нижней части колонны.

В форсуночных скрубберах запыленный газовый поток подается через патрубок в нижней части скруббера и направляется на зеркало воды, где отделяются наиболее крупные частицы пыли. Далее газовый поток, содержащий мелкодисперсную пыль, распределяется по всему сечению аппарата,

поднимается вверх навстречу потоку капель воды, подаваемых через форсуночные пояса. По мере продвижения газового потока снизу вверх аппарата пыль захватывается каплями воды, опускается в нижнюю часть аппарата и выводится в виде шлама.

К недостаткам мокрых пылеулавливающих аппаратов относятся: образование шлама, требующего дополнительных специальных систем для его переработки; вынос в атмосферу водяных паров; повышенная коррозия аппаратов и газоходов; ухудшение условий рассеивания загрязнений через заводские трубы.

В меньших масштабах применяются термические методы сжигания (или дожигания) горючих загрязнений, способ химического взаимодействия примесей с сухими поглотителями и окисление примесей озоном.

Наиболее надежным и самым экономичным способом охраны биосферы от вредных газовых выбросов является переход к безотходному производству, или к безотходным технологиям. Термин «безотходная технология» впервые предложен академиком Н.Н. Семеновым. Под ним подразумевается создание оптимальных технологических систем с замкнутыми материальными и энергетическими потоками. Такое производство не должно иметь сточных вод, вредных выбросов в атмосферу и твердых отходов и не должно потреблять воду из природных водоемов.

Конечно же, понятие «безотходное производство» имеет несколько условный характер; это идеальная модель производства, так как в реальных условиях нельзя полностью ликвидировать отходы и избавиться от влияния производства на окружающую среду. Более точные системы следует называть малоотходными, дающими минимальные выбросы, при которых ущерб природным экосистемам будет минимален.

Разработка и внедрение принципиально новых технологических процессов и систем, работающих по замкнутому циклу, позволяющих исключить образование отходов, является основным направлением технического прогресса.

Библиографический список

1. Автономов А.Б. Мировая энергетика: состояние, масштабы, перспективы, устойчивость развития, проблемы экологии, ценовая динамика топливно-энергетических ресурсов / А.Б.Автономов // Электрические станции. – 2002. – №5. – 2000, с. 55.

2. Арустамов Э.А. Безопасность жизнедеятельности / Э.А.Арустамов. – Москва : Дашков и К, 2009. – 452 с.

3. Бароненко В.А., Рапопорт Л.А. Экология / В.А. Бароненко, Л.А. Рапопорт. – Москва : Альфа, 2006. – 478с.

4. Пешнин А.Г. Экологическая, оценка экономической эффективности использования возобновляющихся источников энергии // Диссертация к.т.н., Москва, 2002. – 227 с.

5. Электрофильтр.РУ [Электронный ресурс] : сайт – Режим доступа: <http://www.elektrofiltr.ru>, свободный (дата обращения: 15.04.2019).

6. «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» ; введ. 2018-01-01. – Взамен «Методики расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86) ; введ. 1987-01-01.

УДК: 621.1.016

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Красильников В.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

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

Рассмотрена работа паросиловой установки и предложено техническое решение, которое обеспечивает повышение электрической мощности и тепловой экономичности модернизируемой теплоэлектроцентрали с открытой теплофикационной системой.

Ключевые слова: паросиловая установка, теплоэлектроцентраль, паровые турбины, повышение мощности и тепловой экономичности.

Современный мир невозможно представить без энергии, она буквально окружает нас во всех сферах жизнедеятельности. Разнообразие видов энергии впечатляет, а способов ее получения действительно великое множество. В ходе эволюции науки и техники приходит понимание того, что существующие технологии, как правило, недостаточно эффективны и требуют улучшения. Одним из таких важных теплоэнергетических объектов является паросиловая установка (ПСУ).

Паросиловая установка - установка, преобразующая тепло сжигаемого топлива в механическую энергию с помощью пара, механическую энергию в электрическую энергию - с помощью генераторов электрического тока. Работа ПСУ- основа теплофикации России.

Принципиальная схема ПСУ, приведенная на рисунке 1, представляет собой один паровой котел и один паровой двигатель, или же группу паровых котлов и несколько паровых двигателей.

Также она включает вспомогательные механизмы и приборы, регулирующие и направляющие ее работу (конденсатор, пароперегреватель и др.).

Паросиловые установки вырабатывают достаточное количество пара, и часть его направляется на технологические цели: отопление, сушку. Помимо основного применения на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) паросиловые уста-

новки работают также на судах и на железнодорожном транспорте.

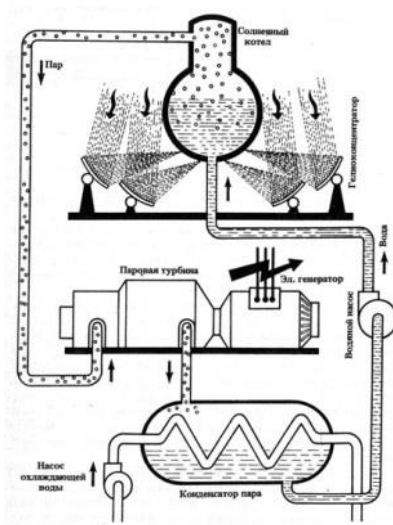


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПСУ

Паросиловая установка с дополнительными паровыми турбинами относится к области энергетики и может быть использована на теплоэлектростанциях для совместного производства электрической и тепловой энергии. Авторами данного технического решения (патент № 2261337) являются: Пешков Л.И, Шелудько Л.П, Никишин В.А, Рыжинский И.Н. [1].

Наиболее близкой по технической сущности является теплоэлектростанция с открытой теплофикационной системой, содержащая котлоагрегат, главный паропровод, теплофикационную паровую турбину с регенеративными и теплофикационными отборами пара, электрогенератор, регенеративные подогреватели низкого и высокого давления, деаэратор высокого давления, питательный насос высокого давления, закрытую теплофикационную систему с сетевыми подогревателями, трубопроводами обратной и прямой сетевой воды. Котельный агрегат связан главным паропроводом высокого давления с теплофикационной паровой турбиной, ротор которой соединен валом с ротором электрогенератора. Регенеративные отборы пара теплофикационной паровой турбины соединены паропроводами с регенеративными подогревателями, а ее теплофикационные отборы - с сетевыми подогревателями открытой теплофикационной системы, подключенными на входе к трубопроводу обратной, а на выходе к трубопроводу прямой сетевой воды теплосети [2].

Данные паротурбинные теплоэлектростанции имеют сравнительно невысокую экономичность. Поэтому имеется острая необходимость модернизации этих теплоэлектростанций с повышением их тепловой и экономической эффективности, но из-за низкой термодинамической эффективности паротурбинных циклов невозможна их модернизация и повышение экономичности.

Задачей предлагаемого технического решения является создание парогазовой теплоэлектростанции с открытой теплофикационной системой,

позволяющей обеспечить эффективную модернизацию базовых паротурбинных теплоэлектроцентралей с повышением их мощности и экономичности при существенно сниженных затратах.

Поставленная цель достигается за счет того, что теплоэлектроцентраль с открытой теплофикационной системой, содержащая котлоагрегат, главный паропровод, теплофикационную паровую турбину с теплофикационным отбором пара, деаэратор высокого давления, питательный насос высокого давления, открытую теплофикационную систему с сетевыми подогревателями, трубопроводами обратной и прямой сетевой воды, дополнительно снабжена блоком парогазотурбинной установки с камерой дожигания низкого давления; блоком утилизации тепла парогазовой смеси, содержащим котел-утилизатор с парогенератором высокого и дополнительным парогенератором низкого давления; оросительным устройством, газоохладителем-конденсатором; блоком использования сепарированной воды, который трубопроводом питательной воды низкого давления через установку умягчения и деаэратор связан с входом парогенератора низкого давления котла-утилизатора; оросительное устройство связано трубопроводом с установкой умягчения сырой воды базовой теплоэлектроцентрали; в свою очередь вход парогенератора высокого давления котла-утилизатора связан трубопроводом парогазовой смеси с выходом парогазовой турбинной установки; парогенератор низкого давления котла-утилизатора соединен паропроводом низкого давления с дополнительной камерой дожигания парогазотурбинной установки; блок использования сепарированной воды соединен трубопроводом умягченной и деаэрированной питательной воды низкого давления с блоком утилизации тепла парогазовой смеси и трубопроводом умягченной, подогретой и деаэрированной подпиточной воды с открытой теплофикационной системой базовой теплоэлектроцентрали; парогенератор высокого давления соединен трубопроводами питательной воды высокого давления и пара высокого давления с базовой теплоэлектроцентралью.

Использование дополнительной камеры сгорания низкого давления парогазотурбинной установки, размещение ее между газовой турбиной высокого давления и силовой газовой турбиной и впрыск в нее пара низкого давления от дополнительного парогенератора низкого давления котла-утилизатора позволяют увеличить мощность парогазотурбинной установки, увеличить расход и температуру парогазовой смеси на входе в котел-утилизатор. За счет этого в парогенераторе вырабатывается пар высокого давления, подаваемый в базовую теплоэлектроцентраль, что позволяет модернизировать эту теплоэлектроцентраль с повышением ее мощности и экономичности [3].

При этом температура парогазовой смеси за силовой парогазовой турбиной низкого давления перед котлом-утилизатором обеспечивает возможность генерации в нем перегретого пара высокого давления с параметрами, стандартными для существующих теплофикационных паровых турбин. Это

позволяет расширять генерируемый пар высокого давления в типовых теплофикационных паровых турбинах модернизируемой теплоэлектроцентрали, в которые также подают и расширяют в них пар высокого давления, вырабатываемый котельными агрегатами этой паротурбинной теплоэлектроцентрали.

Использование для генерации пара высокого давления питательной воды, подготовленной в базовой паротурбинной теплоэлектроцентрали, позволяет сократить затраты на подготовку качественной питательной воды [4].

Использование умягченной в установке умягчения сырой воды базовой паротурбинной установки оросительной воды для конденсации пара из парогазовой смеси блока утилизации тепла парогазовой смеси, и подача большей части сепарированной воды после ее деаэрации для подпитки теплосети открытой теплофикационной системы базовой теплоэлектроцентрали позволяет дополнительно повысить ее экономичность.

Использование для генерации пара низкого давления умягченной и деаэрированной сепарированной воды позволяет удешевить установку для подготовки питательной воды низкого давления.

В предлагаемой теплоэлектроцентрали можно использовать турбокомпрессоры существующих газотурбинных установок с разрезным валом, что позволяет существенно снизить затраты на создание подобных установок.

При сохранении неизменной мощности теплофикационных паровых турбин сокращается паропроизводительность и расход топлива на котельные агрегаты, повышается тепловая экономичность модернизируемой паротурбинной теплоэлектроцентрали.

Предлагаемая компоновка теплоэлектроцентрали с открытой теплофикационной системой имеет преимущества перед известными аналогами и может служить основой модернизации базовых теплоэлектроцентралей с открытой теплофикационной системой.

Библиографический список

1. Патентный поиск в РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2261337>, свободный. (дата обращения: 07.03.2019).
2. Шарапов В.И. Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. – Москва : Энергоатомиздат, 1996. – 176 с.
3. Кудинов А.А., Калмыков М.В. Повышение эффективности работы котельных установок // Третья Российская научно-техническая конференция. Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности. – Ульяновск, 2001. – С. 265 – 269.
4. Шарапов В.И., Макарова Е.В. Деаэрация добавочной питательной воды котлов ТЭЦ // Проблемы энергетики. Известия вузов. – 2002. – № 9. – 10. – С. 31– 42.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Карбач Ю.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: julika1111@mail.ru*

На данный момент одной из актуальных проблем топливно-энергетического комплекса России является совершенствование топливно-энергетического баланса. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть переход на водоугольное топливо. Внедрение данного топлива может служить основой эффективной замены дорогостоящих дефицитных экологически чистых природных энергоносителей (природного газа и нефти) на многих ТЭЦ и ГРЭС с минимальными капитальными затратами и с сохранением на требуемом уровне вредных выбросов в атмосферу.

Ключевые слова: водоугольное топливо (ВУТ), энергетика, Кемеровская область.

Водоугольное топливо (ВУТ) — это жидкое топливо, которое получается путем смешивания 60-70% тонко измельченного угля и 29-39% воды. Еще один процент приходится на пластификаторы, которые не позволяют суспензии расслаиваться на составляющие компоненты и поддерживают ее однородность.

Водоугольное топливо имеет следующие характеристики:

- реологические (вязкость, напряжение смещения);
- седиментационные (сохранение однородности в статических и динамических условиях);
- топливные (энергетический потенциал, полнота выгорания органических соединений)

ВУТ обладает следующими свойствами:

- температура воспламенения – 800-850°C;
- температура горения – 950-1150°C;
- теплотворная способность – 3700-4700 ккал.
- степень сгорания углерода более 99 %

ВУТ обладает всеми технологическими свойствами жидкого топлива: транспортируется в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, в танкерах и наливных судах, хранится в закрытых резервуарах; сохраняет свои свойства при длительном хранении и транспортировании; взрыво- и пожаробезопасно.

На базе разработок Института горючих ископаемых АН СССР в 80-х годах прошлого столетия был построен промышленный продуктопровод, по

которому смесь угля с водой доставлялась на Новосибирскую ТЭЦ-5 из города Белово. В ходе испытаний в течение 1989-1993 годов было доставлено более 350 тыс. тонн ВУТ, затем проект был свернут из-за сложившегося в стране экономического кризиса.

В России была изобретена технология, позволяющая сжигать ВУТ без предварительного обезвоживания и использующая для приготовления горючей смеси не уголь, а отходы его добычи и обогащения.

Первым опытом именно промышленного внедрения такого топлива является строительство в 2007 году цеха приготовления ВУТ в Мурманской области и модернизация мазутной котельной одного из предприятий ЖКХ для использования ВУТ. В цехе приготовления ВУТ в Мурманской области были установлены вибромельницы ВМ-400, продемонстрировавшие энергозатраты около 55 кВт.ч/т (с учетом рециркуляции продукта). Специалисты ЗАО «Амальтеа» на базе анализа энергозатрат оборудования для помола подготовили другое решение по приготовлению ВУТ. Базой его являются гидроударные устройства мокрого помола (ГУУМП). Уже подтверждено, что на приготовление 1 т ВУТ в ГУУМП энергозатраты не превышают 8-10 кВт.ч, что в 3-4 раза ниже, по сравнению с аналогичными затратами на современных вибромельницах и кавитаторах КаВУТ. При подготовке ВУТ не использовались пластификаторы или иные добавки. Полученные образцы ВУТ и жидкие продукты пиролиза были испытаны при сжигании на водогрейном котле КВр-0,93К с предтопком. В ходе работ было зафиксировано стабильное горение ВУТ на основе древесного угля как с топливом подсветки, так и автономно, без топлива подсветки с высоким КПД, до 89 %. Результаты проведенных экспериментов показали, что технология получения ВУТ, разработанная «Амальтеа-Сервис», позволяет обеспечить переработку мелкодисперсного древесного угля. Сжигание мелкодисперсного угля в виде ВУТ позволяет достичь нормированных экологических показателей по выбросам СО, NOx. Сжигание жидкого топлива осуществлялось с применением форсунки ГМГ 1,5. Замеренные выбросы СО и NO и пыли при сжигании жидких продуктов пиролиза соответствуют нормативным требованиям при сжигании печных топлив [1].

Новокузнецкая компания «Сибэкотехника», напротив, сосредоточилась на использовании ВУТ в качестве нового самостоятельного топлива, сконцентрировав усилия на технологиях приготовления, локальной транспортировки и автоматизированного сжигания ВУТ. Они создали новые, дешевые и эффективные реагенты-пластификаторы и добились успехов в снижении энергоемкости приготовления ВУТ. «Сибэкотехника» разработала автоматизированный экспресс-метод определения состава углей для ВУТ. Компания готовит испытательный стенд, позволяющий подбирать и сертифицировать сорта водно-угольного топлива в зависимости от свойств используемых углей (угли разных бассейнов и пластов бывают различными по зольности, наличию серы, тяжелых металлов, что требует корректировки на уровне со-

става пластификатора). Проведены испытания работы на ВУТ для больших котлов с паропроизводительностью в 50 и 250 тонн пара в час.

«Сибэкотехника» модернизировала имеющуюся котельную на шахте «Тырганская» в городе Прокопьевске для работы на ВУТ всех ее паровых котлов (КЕ-10/14). Угольная компания «Южжубасс-уголь» собирается модернизировать имеющиеся на центральных обогатительных фабриках (ЦОФ) «Абашевская» и «Кузнецкая» котельные и построить новую котельную с утилизацией вырабатываемого пара в электрическую энергию с суммарной мощностью 25 МВт. Такая электрическая мощность покрывает потребности ЦОФ, а сравнительная оценка применительно к ЖКХ этой утилизированной из пара котлов электрической мощности сопоставима с потреблением электроэнергии 25 тыс. отдельных домов (квартир) или примерно 75 тыс. жителей при среднем потреблении. Разработки применены и на заводе горношахтного оборудования в городе Белово Кемеровской области, а также на новосибирском предприятии «Хлеб», представитель которого заявил, что за первые 20 дней работы котельной на ВУТ, заменившем мазут, предприятие сэкономило миллион рублей. На данный момент разрабатывается проект для перевода на ВУТ котла типа «Стерлинг» на предприятии «Центральная ТЭЦ» города Новокузнецка.

Специалистами «Экотехника» и Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики проведены опытно-промышленные испытания производства агломерата при сжигании аглошихты водоугольным топливом совместно с мазутом в эксплуатационном режиме работы машины. По теплотворной способности: ВУТ 48 % и мазут 52 %, расход мазута снижен на 63 %, достигнуто общее снижение удельного расхода топлива на 4,5 %. В таблице 1 представлены результаты сжигания.

Таблица 1 – Результаты сжигания

Производительность, тонн агломерата/час	70-80
Расход мазута, кг/ч	260-280
Расход ВУТ, м ³ /ч	0,6-0,7
Температура в горне, °С	1120
Содержание СО в уходящих газах, мг/м ³	7000
Содержание NO _x в уходящих газах, мг/м ³	56
Содержание SO ₂ в уходящих газах, мг/м ³	1900

«Экотехника», имеющего опыт приготовления и сжигания ВУТ в котельных шахт «Тырганская», «Инская», Мысковского спецгормолзавода, Беловской ГРЭС и ТЭЦ-5 г. Новосибирск, технической дирекцией ОАО УК «Кузнецкуголь» принято решение о строительстве цеха подготовки водоугольного топлива на базе технологического комплекса ликвидируемой шахты «Зыряновская», производительностью 160 тысяч тонн ВУТ в год. В расположенной рядом котельной шахты «Кушеяковская» один из котлов КЕ-10/14С будет переоборудован для сжигания ВУТ. Сырье для приготовления

водоугольного топлива будет поступать с ЦОФ «Абашевская», расположенной в двух километрах от цеха подготовки ВУТ. Обогащительные фабрики ОАО УК «Кузнецкуголь» – ЦОФ «Кузнецкая» и ЦОФ «Абашевская» характеризуются многотоннажным выходом шламов и других отходов углеобогащения. Годовой объем переработки рядовых углей только на ЦОФ «Абашевская» составляет 3100-3400 тысяч тонн. При этом выход шлама после пресс-фильтров составляет более 100 тысяч тонн в год, из которых примерно 50 тысяч тонн складывается в отстойники и отвалы и практически не используется. На начало 2001 года в отстойниках и отвалах скопилось около 3 миллионов тонн шламов. Низшая теплота сгорания шламов при влажности 20-25 % – 3000-4000 ккал/кг. Фактически в отвалах находятся и ежедневно пополняются запасы добытого угля, которые не находят применения в настоящее время. В то же время фабрика несет убытки в виде платежей за загрязнение окружающей среды и вследствие необходимости использования концентрата в качестве топлива для котельной (8-9 тысяч тонн концентрата в год). По энергетическому потенциалу поток кусковых углесодержащих отходов и шламов превышает имеющиеся нужды в теплоте собственных предприятий и находящихся поблизости потребителей. Замена угля отходами углеобогащения экономически выгодна и перспективна. Потребителями этого вида топлива могут быть промышленные и коммунально-бытовые котельные и другие теплогенерирующие установки, использующие в качестве топлива дорогие и дефицитные марки углей, а также жидкое топливо. ВУТ может быть использовано в топках различных типов, в том числе для слоевого, факельного и факельно-слоевого сжигания как при полном переводе установки на сжигание ВУТ, так и при частичной замене твердого, жидкого или пылеугольного топлива. На графике 1 видна разница в стоимости топливной составляющей при производстве 1 Гкал тепловой энергии.



График 1 - Стоимость топливной составляющей при производстве 1 Гкал тепловой энергии

Были проведены испытания и рассмотрены результаты работы по определению концентрации вредных веществ в отходящих газах при стандо-

вых и опытно–промышленных испытаниях сжигания суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) в теплогенерирующих установках малой мощности. Содержание серы в кузбасских каменных углях незначительно. При сжигании партий ВУТ из этих углей практически не образуется двуокись серы SO_2 . Содержание СО при стабилизированном режиме горения топлива во всех опытах невысокое, в 1,5–3,0 раза меньше нормативных значений [1]. Во всех случаях содержание СО в газовых выбросах снижается с ростом температуры в топке вследствие уменьшения химического недожога. Содержание NO_x также существенно ниже нормативного значения [2]. С ростом температуры содержание NO_x пропорционально увеличивается, что соответствует представлениям об образовании соединений азота при горении. Можно утверждать, что сравнительно низкие значения вредных веществ, полученные при сжигании ВУТ, обусловлены: – относительно невысокими значениями температуры горения топлива в вихревой камере; – длительным временем нахождения (и, соответственно, полным выгоранием) частиц распыленного ВУТ в зоне горения. Полученные удельные выбросы вредных веществ при сжигании ВУС в специализированных энергоустановках существенно ниже, чем в традиционных для АПК установках со слоевой топкой.

Достоинства водоугольного топлива:

экологические:

- экологически безопасное на всех стадиях производства, транспортирования и использования;
- позволяет в 1,5-3,5 раза снизить вредные выбросы в атмосферу (пыли, оксидов азота, бензапирена, двуокиси серы);
- позволяет эффективно использовать образующуюся при сжигании летучую золу.

технологические:

- подобно жидкому топливу и при переводе теплогенерирующих установок на сжигание ВУТ не требует существенных изменений конструкции агрегатов;
- позволяет легко механизировать и автоматизировать процессы приема, подачи и сжигания топлива;
- разработанная новая технология вихревого сжигания при температуре 950-1050 °С позволяет достичь эффективности использования топлива свыше 97 % (при слоевом сжигании угля указанная величина не превышает 60 %);
- разработаны 4 системы зажигания водоугольного топлива: с применением плазмотрона, природного газа, жидкого и твердого топлив.

экономические:

- снижает стоимость 1 ВУТ (в 2-3 и более раз);
- на 15-30 % снижаются эксплуатационные затраты при хранении, транспортировании и сжигании;
- обеспечивает снижение в 3 раза капитальных затрат при переводе ТЭЦ и ГРЭС со сжигания природного газа и мазута на водоугольное топливо;
- окупаемость затрат при внедрении ВУТ составляет 1-2,5 года.

Библиографический список

1. Мурко, В.И. Результаты промышленного опробования технологического комплекса по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива/ В.И. Мурко, В.И. Федяев, Стариков А.П. и др. // Сибирский уголь. 2008.- № 1.- С. 38–39.

2. Журавлева Н.В., Мурко В.И., Федяев В.И. и др. Экологические аспекты вихревой технологии сжигания суспензионного угольного топлива. // Экология и промышленность России. 2009.- № 1.- С. 21–24.

3. Водугольное топливо [Электронный ресурс] / ООО «Амальтеа». – Режим доступа: www.vodougol.ru.

УДК 669.162

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РОССИИ

Шестопалов Н.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Стерлигов В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nikita1995-02@mail.ru*

Дефицит энергоресурсов - одна из реальностей современной России. От того, насколько динамично развивается и устойчиво функционирует топливно-энергетический комплекс, насколько быстро осваиваются новые и эффективно эксплуатируются действующие нефтегазовые месторождения, зависит в конечном итоге экономический рост и благополучие населения страны.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, экономичность, Россия.

Энергосбережение — это комплекс мер по реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), при существующем полезном эффекте от их использования и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии (закон РФ «Об энергосбережении») [1].

Цель энергосбережения как деятельности по повышению энергоэффективности понятна из самого определения [2]:

- повышение энергоэффективности всех отраслей, во всех поселениях, а также в стране в целом.

Особенно необходимо направить все силы на:

- повышение энергоэффективности зданий, жилых зданий;
- повышение энергоэффективности производства;
- повышение энергоэффективности оборудования.

Основные принципы политики энергосбережения в РФ включают:

- приоритет эффективного использования топливно-энергетических ресурсов;
- осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергоресурсов;
- обязательность учета производимых, получаемых или расходуемых энергоресурсов;
- включение в государственные стандарты на оборудование, материалы и конструкции, транспортные средства показателей энергоэффективности;
- разработка государственных и межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения и их финансирование;
- приведение нормативных документов в соответствии с требованием снижения энергоёмкости материального производства, сферы услуг и быта;
- создание системы финансово-экономических механизмов, обеспечивающих экономическую заинтересованность производителей и пользователей в эффективном использовании ТЭР, вовлечение в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также в инвестировании средств в энергосберегающие мероприятия;
- осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;
- сертификацию топливно-энергопотребляющего, энергосберегающего и диагностического оборудования, материалов, конструкций, транспортных средств, а также энергоресурсов;
- создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования ТЭР;
- реализация демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;
- информационное обеспечения деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;
- обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии;
- создание других экономических, информационных, организационных условий для реализации принципов энергосбережения.

Проблемы энергосбережения относятся к актуальнейшим проблемам глобальной постиндустриальной экономики. Для России они являются особенно важными потому, что расход энергии на единицу валового внутреннего продукта в стране в среднем на 30% выше, чем в остальных индустриально развитых странах. Из стран, входящих в десятку крупнейших потребителей энергии в мире, ни одна не потребляет больше энергии на единицу ВВП, чем Россия.

Объем неэффективного использования энергии в России сегодня равен

годовому потреблению первичной энергии во Франции.

Россия является одним из лидеров мировой энергетики и крупнейшим участником международных энергетических рынков. В экономике России топливно-энергетический комплекс (ТЭК) и экспорт его продуктов занимают уникальное положение, и их динамика прямо влияет на устойчивость национальной экономики.

Проблемы энергетической обеспеченности мировой экономики в основе своей связаны с уровнем технического развития и прогрессом технологий производства товаров, оказания услуг, характером транспорта, образом жизни людей на планете. Но более семи миллиардов жителей Земли разделены не только и не столько по континентам, сколько по уровню образования, производительности труда и благосостояния (ВВП на душу населения), по структуре национальной экономики, по социальной структуре и образу жизни. Это разделение непременно должно учитываться при анализе энергоснабжения мировой экономики как единой системы.

Взаимодействие системы энергетического обеспечения мировой экономики с «большой» системой мирового хозяйства может сыграть существенную роль в будущем развитии, особенно в условиях глобализации и обострения глобальных проблем, включая проблему защиты климата. Еще четыре десятилетия назад рост потребления энергии примерно вровень с ростом производства (ВВП) считался не только нормальным, но естественным элементом развития. Дешевизна нефти и многих иных – доступных, т.е. не связанных с высокими издержками производства, – источников энергии, отсутствие забот об обеспечении доступности ресурсов в долгосрочном периоде и о сохранении климата сформировали к началу 1970-х годов весьма расточительную модель мирового энергопотребления, которая с тех пор претерпела существенные изменения.

Фундаментальными факторами изменения ситуации в последние десятилетия стали: существенный рост относительных цен на энергоносители (особенно импортные); психологические шоки (Чернобыль и Фукусима) и иные проблемы, связанные с ядерной энергетикой; озабоченность многих стран проблемами энергобезопасности (особенно физической доступности энергии); наконец, необходимость сохранения климата планеты.

Высокие цены и факторы энергетической политики включили традиционный механизм решения проблем – технологический, т.е. фактор повышения эффективности на стороне потребления и способов производства энергии [3]. В этот процесс в 1990–2000-х годах добавился еще один фактор огромного исторического и экономического значения – индустриализация значительной части развивающегося мира (особенно Китая). И в результате сложного, противоречивого воздействия спроса и цен, технологического прогресса и мер экономической политики человечество внезапно (для многих) оказалось в периоде трансформации всей мировой энергетики. Разумеется, необратимость инвестиций в долгосрочные дорогостоящие энергетиче-

ские активы замедляет все эти процессы, но поток изобретений, коммерчески рентабельных инвестиций в новые технологии становится совершенно очевидным.

Таблица 1 – Динамика потребления первичной энергии и ВВП, среднегодовые темпы прироста, 1986–2012 гг., %

Страна, регион мира	ВВП (ППС)				Потребление первичной энергии			
	1986- 2002 гг.	2003- 2008 гг.	2009 г.	2010- 2012 гг.	1986- 2002 гг.	2003- 2008 гг.	2009 г.	2010- 2012 гг.
Мир	3,1	4,3	-0,8	4,0	1,7	3,0	-1,1	3,3
ОЭСР	2,8	2,3	-3,8	2,1	1,6	0,6	-4,8	0,5
США	3,1	2,2	-3,5	2,3	1,6	0,2	-4,9	0,0
ЕС-27	2,4	2,3	-4,3	1,1	0,5	0,4	-5,8	-0,2
Япония	2,2	1,4	-5,5	1,9	1,9	0,2	-8,2	0,0
Страны вне ОЭСР	3,6	7,4	3,2	6,4	2,0	5,7	2,4	5,7
Бразилия	2,3	4,2	-0,3	3,7	3,2	4,0	-0,4	5,3
Россия*	-2,5	7,1	-7,8	4,0	-1,5	1,4	-5,2	2,3
Индия	5,5	8,0	8,5	6,9	5,1	6,2	8,4	5,2
Китай	9,5	11,3	9,2	9,2	4,2	10,6	6,7	9,2
Эластичность потребления первичной энергии по ВВП								
Мир					0,56	0,69	1,35	0,83
ОЭСР					0,55	0,28	1,26	0,27
Страны вне ОЭСР					0,55	0,77	0,77	0,90

* – для России экономический рост рассчитан с 1990 г.

За последние 150 лет энергетика мира выросла в 35 раз и прошла три этапа развития так, что длительность этапов последовательно уменьшалась (70, 50 и 30 лет). На рисунке 1 видно как удваивались цены топлива, замедлялся рост энергопотребления (в 4,8, 4,2 и 1,6 раза), а в конце каждого этапа наблюдался кризисный спад спроса на энергию. Текущее замедление глобального энергопотребления может сигнализировать о том, что мировая энергетика находится в очередной переходной точке. Анализ полученных в Прогнозе результатов укрепляет мнение о наступлении следующего (четвертого) этапа развития мировой энергетике, характеризующегося умеренным ростом энергопотребления.

Существует государственная программа энергосбережения и повышения энергоэффективности на период до 2020 года [4].

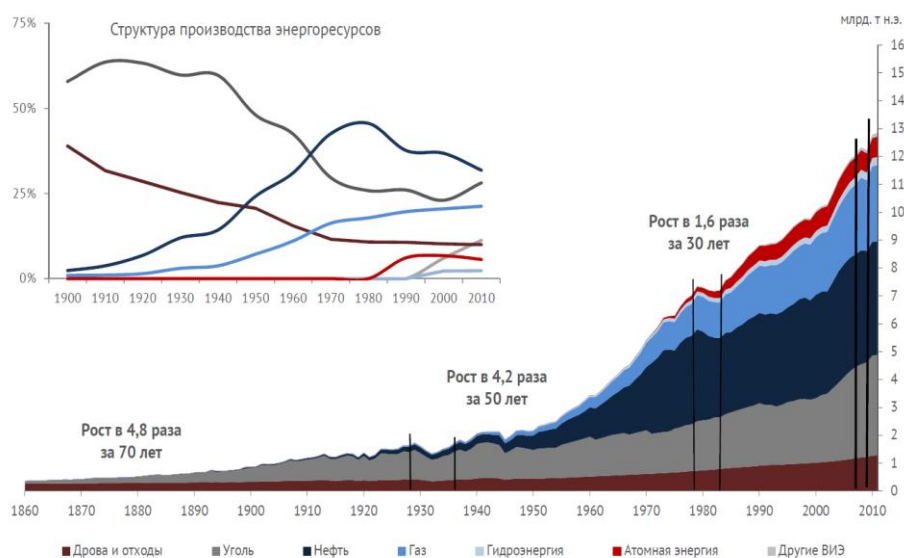


Рисунок 1 - Этапы развития мировой энергетики

Цель Программы - рациональное использование топливно-энергетических ресурсов за счет реализации энергосберегающих мероприятий, повышения энергетической эффективности в секторах экономики и субъектах Российской Федерации и снижения энергоемкости ВВП.

Основной задачей Программы является обеспечение устойчивого процесса повышения эффективности энергопотребления в секторах российской экономики, в том числе за счет:

- запуска механизмов стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности в различных сферах экономики РФ;
- реализации типовых энергосберегающих проектов, активизирующих деятельность хозяйствующих субъектов и населения по реализации потенциала энергосбережения.
- сохранение и расширение потенциала экспорта энергоресурсов и доходной части бюджета за счёт сокращения неэффективного потребления энергии на внутреннем рынке;
- снижение объёмов выбросов парниковых газов.

Библиографический список

1. Федеральный Закон Российской Федерации «Об энергосбережении» от 03.04.96 №28 (с изм., внесенными ФЗ от 08.05.2010 №83-ФЗ) // Российская газета. - № 3181. - 2003.
2. Комолов Д.А. Энергоэффективность / Д.А. Комолов // Экономика и ТЭК сегодня. - 2008. - №11. - С.35-45.
3. Энергоэффективность в России: скрытый резерв // Отчет Всемирного Банка. - М.: ЦЭНЭФ, 2009. - 166 с.
4. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. - М.: Приор, 2003. - С.26.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
РЕЖИМОВ РАЗОГРЕВА НА ЭНЕРГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТЕНДОВ ТЕПЛОЙ ПОДГОТОВКИ
ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

Григорьев А.В., Запольская Е.М.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Темлянец М.В.

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

В статье представлены результаты исследования с применением математической модели влияния температурных режимов разогрева, отличающихся скоростью разогрева футеровки на тепловую эффективность и экономичность работы стендов, отапливаемых газовой горелкой.

Ключевые слова: стенды разогрева, футеровка, тепловая эффективность.

Высокотемпературный разогрев футеровок перед приемом расплава стали является одним из наиболее важных технологических этапов тепловой обработки сталеразливочных ковшей. Нагрев футеровок до 1100 – 1200 °С обеспечивает снижение скорости охлаждения расплава стали и термические напряжения в футеровке, вызванные резким ее нагревом от жидкого металла, способствует повышению стойкости и срока службы кладки. По данным [1] повышение температуры разогрева футеровки с 900 до 1200 °С приводит к снижению расхода электроэнергии на установке ковш-печь на 10 % и увеличению стойкости футеровки на 3 – 5 %. Результаты исследований, проведенных авторами работы [2] показывают, что для ковшей емкостью 30т повышение температуры футеровки на каждые 100 °С позволяет снизить температуру выпуска металла из дуговой сталеплавильной печи на 11 °С, что соответствует экономии 4 кВт·ч электроэнергии на 1 т жидкой стали.

Стенды высокотемпературного разогрева футеровок ковшей, отапливаемые газом, имеют различные конструкции и характеризуются различными параметрами тепловой эффективности [3 – 5]. Актуальной является научно-практическая задача повышения энерготехнологической и тепловой эффективности стендов, представляющая определенный интерес с точки зрения экономии энергетических ресурсов и снижения затрат на производство стали.

Температурные режимы разогрева футеровок имеют ряд ограничений на различные параметры, вызванные теплофизическими и физико-химическими свойствами разогреваемого материала, конструктивными особенностями стенда и тепловой мощностью горелочного устройства. В частности максимальная скорость разогрева футеровки, как правило, лимитирована допустимыми скоростями разогрева огнеупора из условий трещинообразования от температурных или фазовых напряжений, и тепловой мощностью стенда.

В данной работе проведено исследование влияния температурного ре-

жима разогрева футеровки на тепловую эффективность стенда. Для исследований использована математическая модель [6, 7]. В качестве исходных данных принимали конструкцию футеровки, соответствующую сталеразливочным ковшам емкостью 90, 350 и 480-т [8]. Рабочий слой выполнен из алюмопериклазоуглеродистого огнеупора [9]. Химический состав природного газа, используемого для отопления стенда, следующий: 91,50 % CH₄; 3,07 % C₂H₆; 1,73 % C₃H₈; 0,9 % C₄H₁₀; 2,34 % N₂; 0,45 % CO₂; 0,01 % O₂. В рассматриваемой конструкции стенда имеется зазор 250 мм между крышкой и ковшом. Подогрев воздуха отсутствует. При проведении многовариантных расчетов использовали режим разогрева с постоянной скоростью ϑ 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150 и 200 °C/ч (температура среды изменялась по линейному закону) соответственно продолжительность τ разогрева 40, 30, 24, 20, 15, 12, 8 и 6 ч, конечная температура нагрева поверхности футеровки 1200 °C.

В таблице 1 и на рисунках 1 и 2 представлены результаты исследований.

Таблица 1 – Показатели тепловой работы стендов при различных режимах разогрева футеровок

$E, т$	$\vartheta, \text{°C/ч}$	$\tau, \text{ч}$	$t_{\text{ср}}, \text{°C}$	$t_{\text{р-а}}, \text{°C}$	$t_{\text{кож}}, \text{°C}$	$Q, \text{м}^3$	$B_{\text{max}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$B_{\text{уд}}, \text{кг у.т/т}$	КПД, %	$q_{\text{акк}}, \%$	$q_d, \%$	$q_{\text{теп}}, \%$
90	30	40	1239	1110	341	3655	207	51,8	29,4	28,9	40,5	11,0
90	40	30	1245	1088	326	3111	226	44,1	33,7	33,2	40,9	8,4
90	50	24	1257	1066	309	2799	247	39,6	36,7	36,1	41,4	6,5
90	60	20	1268	1038	290	2564	267	36,3	38,9	38,3	41,9	5,1
90	80	15	1290	991	256	2299	312	32,6	41,3	40,7	43,3	3,3
90	100	12	1310	971	224	2132	362	30,2	42,3	41,8	44,4	2,2
90	150	8	1355	851	163	1905	496	27	42,5	42	47,4	1,0
90	200	6	1394	776	123	1776	634	25,2	41,6	41,2	49,8	0,5
350	30	40	1234	1071	201	7546	354	27,5	41,4	40,6	39	5,2
350	40	30	1245	1030	180	6726	409	24,5	44,6	43,7	39,5	3,3
350	50	24	1257	995	161	6274	470	22,9	46,1	45,3	40,3	2,3
350	60	20	1268	960	142	5937	532	21,6	46,9	46,1	41,1	1,5
350	80	15	1290	896	111	5474	652	19,9	47,3	46,6	42,6	0,8
350	100	12	1310	838	87	5140	782	18,7	47,1	46,5	43,8	0,4
350	150	8	1355	724	53	4604	1102	16,8	45,8	45,3	46,5	0,1
350	200	6	1394	639	38	4277	1427	15,6	44,3	43,9	48,7	0
480	30	40	1240	1018	180	10270	461	27,3	44,6	43,8	39,1	3,9
480	40	30	1255	969	157	9364	541	24,9	46,6	45,8	40,1	2,4
480	50	24	1263	918	134	8639	636	22,9	47,7	47	40,8	1,5
480	60	20	1276	875	114	8185	728	21,7	48	47,4	41,6	1
480	80	15	1300	799	85	7529	899	20	47,9	47,3	43,2	0,5
480	100	12	1310	734	65	7027	1074	18,7	47,4	46,9	44,4	0,2
480	150	8	1362	608	39	6193	1488	16,4	46	45,5	46,9	0,1
480	200	6	1397	519	29	5690	1889	15,1	44,5	44,1	48,9	0

Примечание. $t_{\text{ср}}, t_{\text{р-а}}, t_{\text{кож}}$ – температуры греющей среды, на стыке рабочего и арматурного слоев, кожуха ковша, Q – объем природного газа, затраченного на разогрев, B_{max} – максимальный расход топлива за период разогрева, $B_{\text{уд}}$ – удельный расход условного топлива на тонну стали [8], КПД – тепловой коэффициент полезного действия стенда, $q_{\text{акк}}$ – статья теплового баланса, тепло аккумулированное кладкой, q_d – статья теплового баланса, тепло, уходящее с дымом, $q_{\text{теп}}$ – статья теплового баланса, тепло, теряемое теплопроводностью через футеровку в окружающую среду.

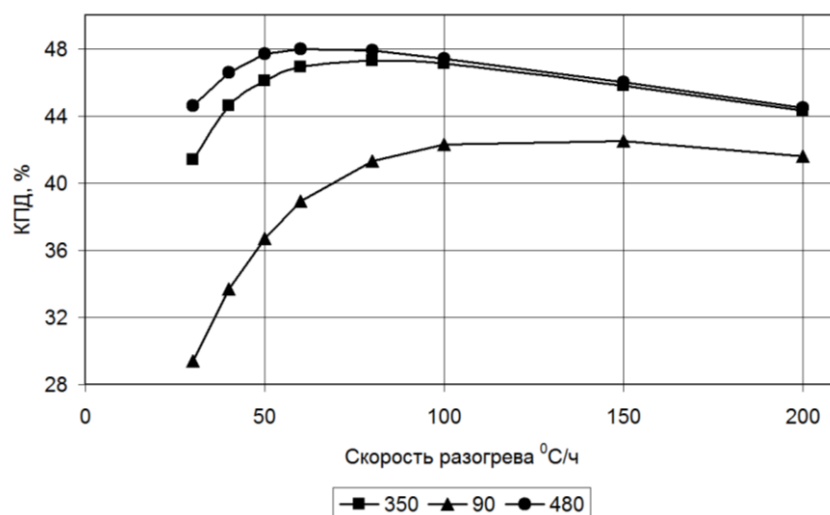


Рисунок 1 – Зависимость КПД стенда от скорости разогрева

Анализ результатов, представленных в таблице и на рисунках показывает наличие характерной зависимости КПД от скорости разогрева, которая имеет экстремальный характер. Причем для ковшей различной емкости экстремум имеет различное значение. При увеличении скорости разогрева от 30 до 80...150 (в зависимости от емкости ковша) (рисунок 1) наблюдается участок роста КПД, далее при более высоких скоростях разогрева наступает участок, характеризующийся снижением КПД. Такой характер влияния объясняется особенностями процессов внешнего и внутреннего теплообмена. При медленном и продолжительном разогреве температура среды значительно ниже, чем при скоростном форсированном. В частности при разогреве со скоростью 30 °C/ч в течении 40 ч температура среды не превышает 1240 °C, а при скорости 200 °C/ч и времени всего 6 ч для достижения необходимой температуры поверхности футеровки необходимо иметь в конце разогрева температуру среды 1397 °C. Рост скорости разогрева приводит к ухудшению прогрева кладки и меньшим значениям температур кожуха, а соответственно и потерям тепла теплопроводностью в окружающую среду, в то время как рост температуры греющей среды приводит к монотонному росту потерь тепла с уходящим дымом (рисунок 2). Таким образом, рост тепла аккумулированного кладкой сопровождается ростом потерь тепла через футеровку. Соответственно взаимное влияние рассмотренных статей предопределяет установленный характер влияния скорости разогрева на КПД.

Рассмотренные параметры разогрева исследованы в теоретическом плане. На практике они имеют целый ряд ограничений (в таблице возможные параметры выделены жирным шрифтом), например по условиям отсутствия трещинообразования скорость разогрева алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров не должна превышать порядка 60 – 100 °C/ч, при первом разогреве футеровки температура на стыке рабочего и арматурного слоя не менее 800 °C, температура кожуха не менее 100 и не более 400 °C, расходы топлива горелочных устройств стендов обычно не превышают 500 м³/ч [3].

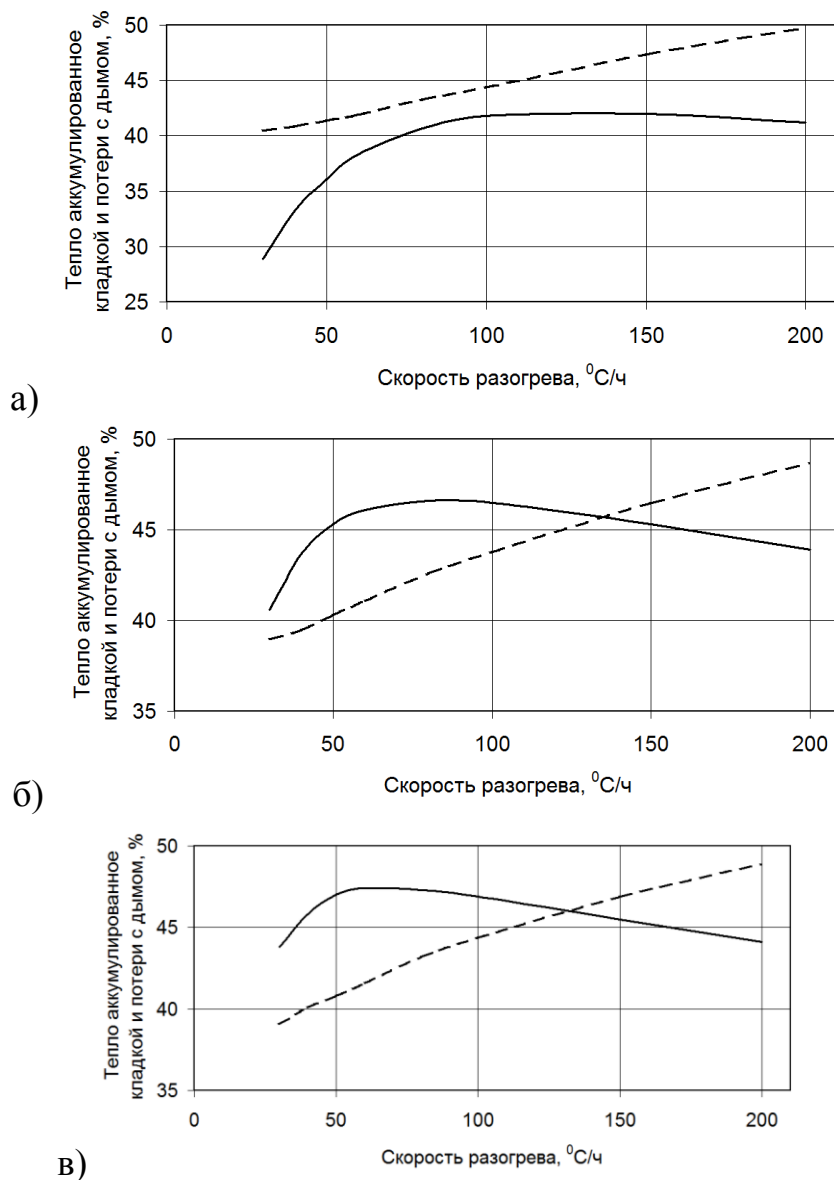


Рисунок 2 – Зависимости статей теплового баланса тепла аккумулированного футеровкой (сплошная линия) и потерь тепла с дымом (пунктирная) от скорости разогрева футеровок для ковшей емкостью 90т (а), 350т (б) и 480т (в)

Библиографический список

1. Энергосбережение при сушке и нагреве футеровки сталеразливочных ковшей / Строганов К.В., Попов С.К., Абакин Д.А. // Промышленная теплоэнергетика. 2014. № 1. С. 7 – 10.
2. Совершенствование теплового режима эксплуатации сталеразливочных ковшей / Краснянский М.В., Кац Я.Л. // Электротеплотехника. 2016. № 4. С. 2–10.
3. Анализ основных направлений повышения энерготехнологической эффективности стенов высокотемпературного разогрева футеровок стале-

разливочных ковшей / Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е. // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2013. № 15. С. 128-134.

4. Исследование эффективности использования кислорода при отоплении стенов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей / Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е., Матвеев М.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 6. С. 3-7.

5. Повышение энерготехнологической эффективности стенов высокотемпературного разогрева футеровок металлургических ковшей / Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Стерлигов В.В., Темлянцева Е.Н., Дегтярь В.А. // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2014. № 33. С. 38-44.

6. Разработка детерминированной математической модели процессов теплообмена при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей / Запольская Е.М., Феоктистов А.В., Темлянцев М.В., Бухмиров В.В., Бушуев Е.Н. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. № 1. С. 25-33.

7. Разработка математической модели тепловой работы стенов разогрева футеровок сталеразливочных ковшей / Матвеев М.В., Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Костюченко К.Е. // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2013. № 31. С. 31-44.

8. Влияние геометрических размеров и емкости сталеразливочных ковшей на тепловую эффективность стенов высокотемпературного разогрева / Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013. № 2 (4). С. 28-32.

9. High-temperature decarburization of alumina-periclase-carbon ladle refractories / Protopopov E.V., Temlyantsev M.V., Zapolskaya E.M., Maksakova K.E., Degtyar V.A. // Steel in Translation. 2014. T. 44. № 12. С. 879-882.

УДК 669.162

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Шестопалов Н.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Стерлигов В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nikita1995-02@mail.ru*

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из приоритетных задач в развитии российской экономики. Существенная роль в решении проблемы энергосбережения принадлежит высокоэффективной промышленной тепловой изоляции.

Ключевые слова: энергосбережение, эффективность, теплоизоляция, трубы, трубопровод.

Использование теплоизоляционных материалов позволяет уменьшить толщину и массу стен и других ограждающих конструкций, снизить расход основных конструктивных материалов, уменьшить транспортные расходы и соответственно снизить стоимость строительства. Наряду с этим при сокращении потерь тепла отапливаемыми зданиями уменьшается расход топлива. Многие теплоизоляционные материалы вследствие высокой пористости обладают способностью поглощать звуки, что позволяет употреблять их также в качестве акустических материалов для борьбы с шумом. [1].

Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования определяет техническую возможность и экономическую эффективность реализации технологических процессов и широко применяется в энергетике, ЖКХ, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности.

В энергетике объектами тепловой изоляции являются паровые котлы, паровые и газовые турбины, теплообменники, баки-аккумуляторы горячей воды, дымовые трубы.

В промышленности тепловой изоляции подлежат вертикальные и горизонтальные технологические аппараты, насосы, теплообменники, резервуары для хранения воды, нефти и нефтепродуктов. Особенно высокие требования предъявляются к эффективности тепловой изоляции низкотемпературного и криогенного оборудования.

Тепловая изоляция обеспечивает возможность проведения технологических процессов при заданных параметрах, позволяет создать безопасные условия труда на производстве, снижает потери легко испаряющихся нефтепродуктов в резервуарах, дает возможность хранить сжиженные и природные газы в изотермических хранилищах.

При монтаже и в процессе эксплуатации теплоизоляционные конструкции подвергаются температурным, влажностным, механическим, в том числе вибрационным, воздействиям, которые определяют перечень предъявляемых к ним требований.

К основным требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам и конструкциям, относят следующие:

- теплотехническая эффективность;
- эксплуатационная надежность и долговечность;
- пожарная и экологическая безопасность.

Основными показателями, характеризующими физико-технические и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являются: плотность, теплопроводность, температуростойкость, сжимаемость и упругость (для мягких материалов), прочность на сжатие при 10 % деформации (для жестких и полужестких материалов), вибростойкость, формостабиль-

ность, горючесть, водостойкость и стойкость к воздействию химически агрессивных сред, содержание органических веществ и биостойкость.

Теплотехническая эффективность конструкций промышленной тепловой изоляции определяется в первую очередь коэффициентом теплопроводности теплоизоляционного материала, который определяет требуемую толщину теплоизоляционного слоя, а следовательно, и нагрузки на изолируемый объект, конструктивные и монтажные характеристики конструкции. Расчетные значения коэффициента теплопроводности принимаются с учетом его зависимости от температуры, степени уплотнения теплоизоляционных материалов в конструкции, шовности конструкции, наличия крепежных деталей. При выборе теплоизоляционного материала учитывают: температуростойкость теплоизоляционных материалов, возможную линейную усадку, потери прочности и массы, степень выгорания связующего при нагреве, прочностные и деформационные характеристики изолируемого объекта, допустимые нагрузки на опоры и изолируемые поверхности и другие влияющие факторы.

Долговечность теплоизоляционных конструкций зависит от их конструктивных особенностей и условий эксплуатации, включающих месторасположение изолируемого объекта, режим работы оборудования, степень агрессивности окружающей среды, интенсивность механических воздействий. Срок службы теплоизоляционного материала и теплоизоляционной конструкции в целом в значительной степени определяется качеством защитного покрытия.

Требования пожарной безопасности определяются нормами технологического проектирования конкретных отраслей промышленности с учетом положений СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». Для таких отраслей промышленности, как газовая, нефтехимическая, химическая, производство минеральных удобрений, ведомственные нормы допускают применение только негорючих и трудногорючих материалов (группы НГ и Г1 при испытаниях по ГОСТ 30244-94) в составе теплоизоляционных конструкций. При выборе материалов учитываются не только показатели горючести теплоизоляционного слоя и защитного покрытия, но и поведение теплоизоляционной конструкции в условиях пожара в целом. Пожароопасность теплоизоляционных конструкций наряду с другими факторами зависит от температуростойкости защитного покрытия, его механической прочности в условиях огневого воздействия.

Санитарно-гигиенические требования особенно важны при проектировании объектов с технологическими процессами, требующими высокой чистоты, например, в микробиологии, радиоэлектронике, фармацевтической промышленности. В этих условиях применяются материалы или конструкции, не допускающие загрязнения воздуха в помещениях.

В современных условиях необходимым фактором экономически эффективного функционирования промышленных предприятий, а также предприятий, снабжающих теплом различных потребителей и в первую очередь

ЖКХ, является рациональное использование тепловой энергии. Определяющая роль в снижении тепловых потерь при транспорте теплоносителя принадлежит тепловой изоляции.

По приближенным оценкам повышение теплозащитных свойств теплоизоляционных конструкций промышленных сооружений, оборудования и трубопроводов, систем централизованного теплоснабжения и ограждений зданий в состоянии обеспечить экономию энергоресурсов в объеме более 20 млн. т у.т.

От качества теплоизоляционной конструкции теплопровода зависят значения тепловых потерь и его долговечность, так как эта конструкция одновременно защищает наружную поверхность трубы от коррозии.

В связи с этим становится актуальной проблема расчета потерь теплоты при транспорте теплоносителя с учетом влияющих факторов, а также определение наиболее эффективной конструкции тепло и хладопроводов, которая обеспечивает экономически обоснованные потери тепла и холода.

На сегодняшний день определение потерь тепла при транспорте теплоносителя является важной задачей, как для самих производителей тепловой энергии, так и ее потребителей, так как получаемые результаты влияют на конечную величину тарифа на тепловую энергию. Знание величины тепловых потерь позволяет также правильно выбирать мощности основного и вспомогательного оборудования ЦТП и, в конечном счете, источника тепловой энергии.

Величина тепловых потерь при транспорте теплоносителя может стать решающим фактором при выборе структуры системы теплоснабжения с возможной ее децентрализацией, выбором температурного графика тепловой сети и др.

Критерием оптимизации является минимум суммы затрат на покупку материала тепловой изоляции и покрывного материала, которые растут с увеличением толщины изоляции, и издержек на тепловые потери, которые, соответственно, уменьшаются с ростом толщины изоляции (рисунок 1).

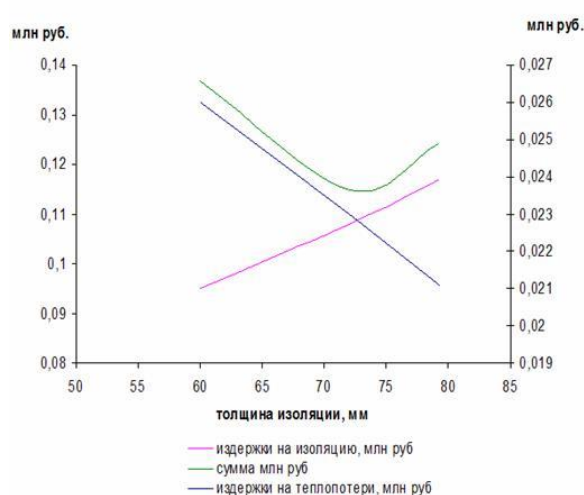


Рисунок 1 Принцип оптимизации толщины изоляции

На величину оптимальной толщины теплоизоляции влияют такие факторы, как температура теплоносителя, диаметр трубопровода, коэффициент теп-

лопроводности теплоизоляционного материала и его изменение в процессе эксплуатации, скорость ветра (при надземной прокладке), температура окружающей среды, а также срок эксплуатации трубопровода. Изменение теплофизических свойств теплоизоляции (в сторону увеличения коэффициента теплопроводности) характеризуется константой работоспособности материала [8].

Исключительно большое влияние на определение оптимальной толщины тепловой изоляции оказывает принадлежность источника теплоты и, соответственно, стоимость отпускаемой теплоты для потребителя. В случае стороннего источника величина экономии рассчитывается с учетом стоимости единицы тепла. Если же источник тепла принадлежит данной организации, ведущей работы по замене тепловой изоляции трубопроводов различного назначения или проектированию новых тепловых сетей, расчеты проводятся с учетом стоимости сэкономленного топлива. С учетом того, что топливная составляющая в себестоимости Гкал тепла находится в пределах 10-30%, принадлежность источника тепла может оказать большое влияние на выбор оптимальной толщины изоляции.

В качестве примера на рисунке 2 представлена зависимость оптимальной толщины изоляции от температуры теплоносителя для различных материалов при надземной прокладке трубопровода.

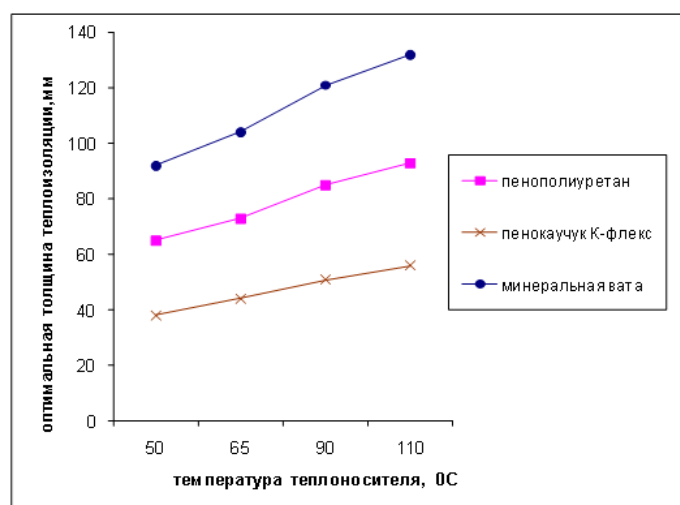


Рисунок 2 Зависимость оптимальной толщины изоляции от температуры теплоносителя (надземная прокладка)

Как видно из рисунка, с увеличением температуры теплоносителя и коэффициента теплопроводности изоляционного материала, оптимальная толщина тепловой изоляции увеличивается.

Также большое влияние на величину оптимальной толщины теплоизоляции оказывают исходные условия решаемой задачи, а именно стоимость теплоизоляции. Так, например, стоимость предизолированных труб в пенополиуретановой теплоизоляции будет существенно отличаться от стоимости скорлуп ППУ. Таким образом, будет различаться и оптимальная толщина теплоизоляции. Интерес представляет сравнение толщин тепловой изоляции,

рассчитанных по нормам СНиП и определенные с использованием оптимизационных расчетов.

Библиографический список

1. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Липовских В.М., Кашинский В.И. Тепловая изоляция промышленных трубопроводов//Энергоснабжение, №3,2000.

2. Горяйнов К.Э., Горяйнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 1982. - 376 с.

УДК 669.046:536.7

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ РАЗОГРЕВЕ

Григорьев А. В., Запольская Е.М.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Темлянец М.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, e-mail: LENA.BUKMEKER@mail.ru

В работе с применением детерминированной математической модели проведен анализ динамики показателей теплового состояния футеровки сталеразливочного ковша в процессе тепловой обработки на стенде.

Ключевые слова: сталеразливочный ковш, футеровка, высокотемпературный разогрев, детерминированная математическая модель.

В настоящее время на металлургических предприятиях для высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей перед приемом расплава в основном применяют стенды, отапливаемые газом, как правило природным. В соответствии с классификационными признаками стенды высокотемпературного разогрева представляют собой тепловые аппараты. От тепловой эффективности стенда в определенной степени зависит экономичность его работы и себестоимость производимой стали. В связи с этим решение проблемы повышения тепловой эффективности стендов является актуальной задачей, имеющей важное практическое значение.

Мировые тенденции повышения тепловой эффективности показывают, что конструкции стендов в основном развиваются в направлении снижения различного вида потерь тепла (с уходящими продуктами сгорания; теплопроводностью через стенку, дно, крышку; с выбиваниями и излучением через технологические отверстия), применения эффективных горелочных устройств, обеспечивающих полное сжигание топлива и высокоинтенсивную циркуляцию продуктов сгорания в полости ковша, обогащения дутья кисло-

родом (с учетом экономического фактора) и применения энергосберегающих режимов разогрева, минимизирующих расходы топлива (рисунок 1) [1, 2].

При оценке тепловой эффективности работы стандов для разогрева ковшей различной емкости, с футеровкой разной конструкции и применяемых для ее выполнения огнеупоров и теплоизоляции [3], 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 станда и отражающем удельные затраты топлива на разогрев, отнесенные к единице массы стали, транспортируемой в ковше.



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

Перспективным является использование в качестве такого показателя удельного расхода условного топлива, затрачиваемого на тепловую обработку тонны стали [4]. Для стандов разогрева в общем случае эта величина может быть определена 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/м³;

Q – суммарный объем газа, затрачиваемого на разогрев, м³;

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, м³/ч;
 τ – время разогрева, ч.

В Сибирском государственном индустриальном университете на кафедре теплоэнергетики и экологии разработана комплексная, детерминированная математическая модель тепловой работы стенов для разогрева футеровок сталеразливочных ковшей [5, 6]. Она имеет блочную структуру, показанную на рисунке 2, включающую следующие основные (укрупненные) блоки:

- 1 – расчет процессов теплогенерации;
- 2 – расчет внешнего теплообмена излучением и конвекцией во внутреннем пространстве ковша;
- 3 – расчет внутреннего теплообмена, нестационарных температурных полей в футеровке;
- 4 – расчет глубины обезуглероженного слоя футеровки;
- 5 – расчет теплового баланса процессов разогрева футеровки и охлаждения расплава.



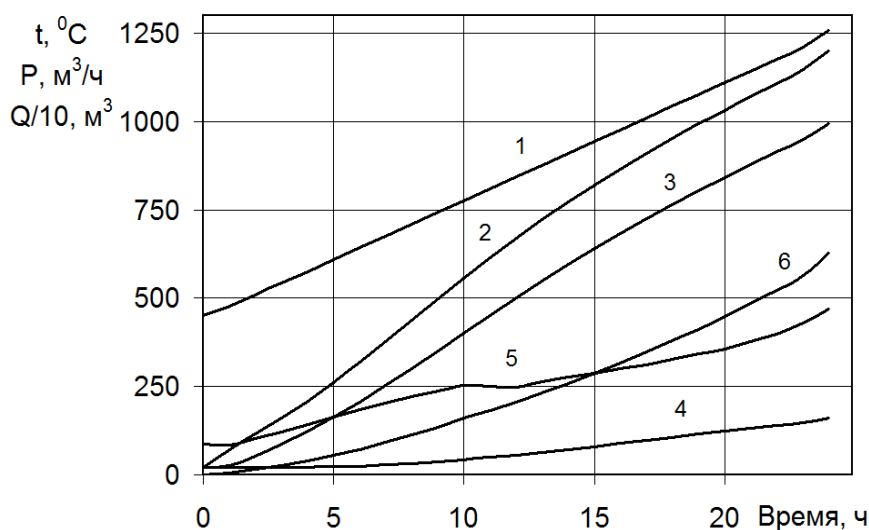
+ и – используемые и неиспользуемые блоки на соответствующих технологических операциях

Рисунок 2 – Структура математической модели

Модель позволяет исследовать влияние различных факторов на тепловую эффективность стенов. На ее основе проведено исследование влияния емкости ковша, подогрева воздуха, величины зазора между теплоизолированной крышкой и кожухом ковша на технико-экономические показатели работы стенов [2, 4, 7].

В данной работе с применением математической модели исследована динамика показателей теплового состояния ковша в процессе разогрева. В качестве примера использован сталеразливочный ковш емкостью 350-т [4]. Рабочий слой выполнен из алюмопериклазоуглеродистого огнеупора [8]. Химический состав природного газа, используемого для отопления стенов, следующий: 91,50 % CH_4 ; 3,07 % C_2H_6 ; 1,73 % C_3H_8 ; 0,9 % C_4H_{10} ; 2,34 % N_2 ; 0,45 % CO_2 ; 0,01 % O_2 . В рассматриваемой конструкции стенов имеется зазор 250 мм между крышкой и ковшом. Подогрев воздуха отсутствует. При проведении многовариантных расчетов использовали режим разогрева с постоянной скоростью 50 °С/ч (температура среды изменялась по линейному закону) соответственно продолжительность разогрева 24 ч, конечная температура нагрева поверхности футеровки 1200 °С.

На рисунке 3 представлен температурный режим разогрева ковша.

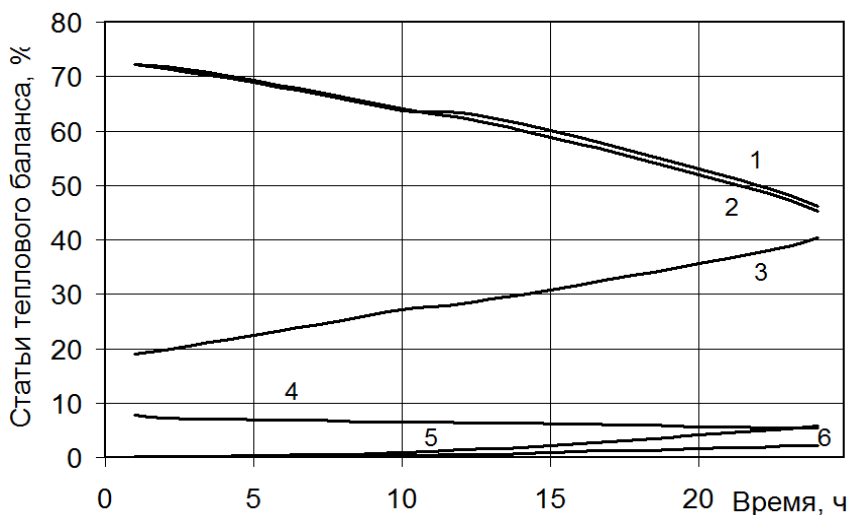


1, 2, 3, 4 – температуры греющей среды, поверхности рабочего слоя, на стыке рабочего и арматурного слоев, кожуха соответственно,
 5 – расход P природного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$, 6 – объем Q затраченного природного газа, м^3

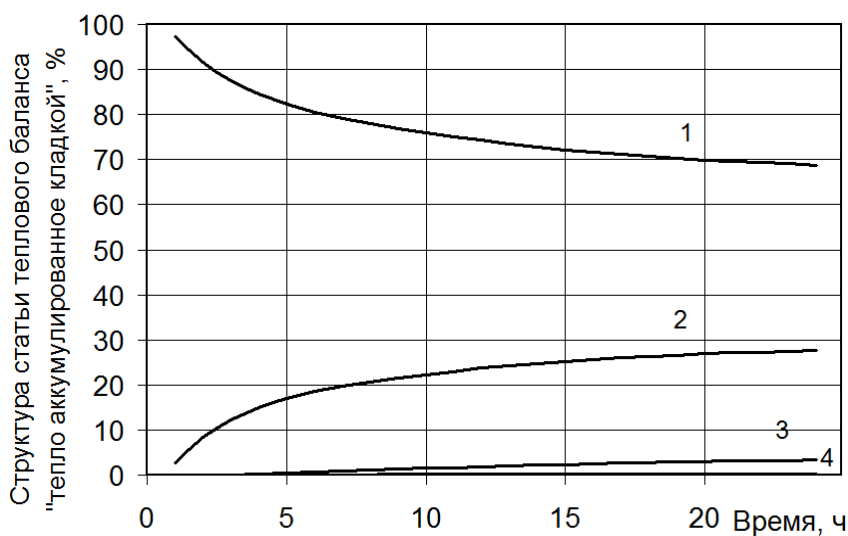
Рисунок 3 – Температурный режим разогрева ковша

На рисунках 4 и 5 представлена динамика расходных статей теплового баланса.

Анализ результатов, представленных на рисунках 3 – 5 показывает, что коэффициент полезного действия (КПД) стенов в процессе разогрева фактически монотонно снижается с 72 до 46 %.



1 – коэффициент полезного действия, 2 – тепло аккумулированное футеровкой, 3 – потери тепла с уходящими продуктами сгорания, 4 – неучтенные потери, 5 – потери тепла излучением через технологические отверстия и зазоры, 6 – потери тепла теплопроводностью через кладку
 Рисунок 4 – Динамика изменения расходных статей теплового баланса



1, 2, 4 – тепло аккумулированное рабочим, арматурным, теплоизоляционным слоем футеровки соответственно и 3 – кожухом ковша

Рисунок 5 – Динамика изменения составляющих статьи тепло аккумулированное футеровкой

Основное влияние на КПД оказывает две расходные статьи – тепло аккумулированное кладкой и потери тепла с уходящими продуктами сгорания. В начале разогрева футеровка интенсивно аккумулирует тепло, температура уходящих продуктов сгорания и их объем относительно не велики. С увеличением времени разогрева рост температуры греющей среды и температуры

футеровки сопровождается опережающим увеличением потерь тепла с уходящими продуктами сгорания. При этом тепловая волна, дошедшая до кожуха, приводит к росту тепловых потерь в окружающую среду теплопроводностью. С ростом температуры греющей среды возрастают так же потери через технологические отверстия и зазоры. Все эти факторы приводят к снижению КПД стенда и росту расхода топлива. В частности расход топлива в процессе 24 часового разогрева увеличивается почти в 5,5 раз с 86 до 470 м³/ч.

Библиографический список

1. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е. Анализ основных направлений повышения энерготехнологической эффективности стендов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей // Вестник РАЕН. Западно-Сибирское отделение. – 2013. – № 15. – С. 128 – 134.

2. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е., Матвеев М.В. Исследование эффективности использования кислорода при отоплении стендов высокотемпературного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 6. С. 3–7.

3. Стариков В.С., Темлянцев М.В., Стариков В.В. Огнеупоры и футеровки в ковшевой металлургии. – М.: Изд-во МИСИС, 2003. – 328 с.

4. Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Костюченко К.Е. Влияние геометрических размеров и емкости сталеразливочных ковшей на тепловую эффективность стендов высокотемпературного разогрева // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013. № 2 (4). С. 28 – 32.

5. Матвеев М.В., Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Костюченко К.Е. Разработка математической модели тепловой работы стендов разогрева футеровок сталеразливочных ковшей // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. – 2013. – № 31. – С. 31 – 44.

6. Разработка детерминированной математической модели процессов тепломассообмена при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей / Запольская Е.М., Феоктистов А.В., Темлянцев М.В., Бухмиров В.В., Бушуев Е.Н. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. № 1. С. 25-33.

7. Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Стерлигов В.В., Темлянцева Е.Н., Дегтярь В.А. Повышение энерготехнологической эффективности стендов высокотемпературного разогрева футеровок металлургических ковшей // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2014. № 33. С. 38–44.

8. High-temperature decarburization of alumina-periclase-carbon ladle refractories / Protopopov E.V., Temlyantsev M.V., Zapolskaya E.M., Maksakova K.E., Degtyar V.A. // Steel in Translation. 2014. T. 44. № 12. С. 879-882.

НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ КОЭФФИЦИЕНТА ИСТЕЧЕНИЯ

Хромых Н.А.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук профессор, Блюмин С.Л.

*Липецкий государственный технический университет,
г. Липецк, e-mail: natahrom1998@gmail.com*

В данной статье рассматриваются расходомеры, работа которых основана на методе переменного перепада давления. Такие расходомеры имеют огромное значение в промышленности, а также в экономике нашей страны, внешней и внутренней торговле. Проанализированы отечественные уравнения коэффициента истечения, а также найден и предложен новый подход для расчёта данного коэффициента.

Ключевые слова: расходомеры, переменный перепад, расход вещества, коэффициент истечения, ГОСТ 8.563-1997, ГОСТ 8.586-2005.

Расход [1] – это количество вещества, протекающее через данное сечение в единицу времени. Количество вещества измеряется или в единицах массы, или в единицах объема. Соответственно в первом случае имеем массовый расход, во втором – объемный.

Расходомеры [2] – это производственные приборы для измерения расхода и количества (массы и объема) жидкости, газа и пара, а также их смесей. Принцип действия расходомеров переменного перепада давления (РППД) основан на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого каким-либо устройством, установленным в трубопроводе.

Первоначальное применение счетчиков воды и газа заключалось в коммунальном хозяйстве городов. Однако с развитием промышленности все большее значение приобретали расходомеры жидкости, газа и пара.

Расходомеры необходимы прежде всего для управления производством. Без них нельзя обеспечить оптимальный режим технологических процессов в энергетике, металлургии, в химической, нефтяной, целлюлозно-бумажной и многих других отраслях промышленности. Эти приборы требуются также для автоматизации производства и достижения при этом максимальной его эффективности.

Расходомеры также нужны для проведения лабораторных и исследовательских работ.

Счетчики жидкости и газа необходимы для учета массы или объема нефти, газа и каких-либо других веществ, которые подвержены транспортировке и потребляются населением. Значимость этих устройств заключается в контроле утечки, а также исключении потери ценных продуктов, например, таких как нефть.

Наличие международных и национальных стандартов - это одно из

преимуществ РППД.

Метод переменного перепада давления широко распространен и многие международные организации разрабатывают соответствующие стандарты:

- ISO (международная организация по стандартизации);
- AGA (американская ассоциация газовой промышленности);
- ASME (американское общество инженеров-механиков).

В нашей же стране на сегодняшний день руководствуются ГОСТом 8.586.1,2,3,4,5 -2005.

Таким образом, снижение погрешности измерений хотя бы на один процент может обеспечить поразительный экономический эффект. Так как роль и значение расходомеров и счетчиков жидкости, газа и пара еще больше возрастет в связи с необходимостью увеличения экономии энергетических и водных ресурсов нашей страны.

Коэффициент истечения (С) [3] - это отношение действительного значения расхода жидкости к его теоретическому значению. Этот коэффициент представляет собой функцию, зависящую от геометрических параметров сужающего устройства, числа Рейнольдса, коэффициентов теплопроводности и вязкости газа, коэффициентов расширения и сжимаемости газа. Таким образом, такое обилие данных невозможно точно учесть. Поэтому с изучением и уточнением коэффициента истечения связано огромное количество исследований.

Раньше для выбора коэффициента расхода существовали таблицы. Сначала это были номограммы в правилах 28-64, затем таблицы в РД 50-213-80. По таблицам выбирался коэффициент, а в зависимости от модуля диафрагмы и числа Рейнольдса. Кроме того, там были таблицы поправок на шероховатость и таблицы коэффициентов поправки на изменение плотности для сжимаемых сред.

В ГОСТ 8.563.1-97 коэффициент С рассчитывался по уравнению Штольца, которое имело вид:

$$C = 0,5959 + 0,0312m^{1.05} - 0.184m^4 + \\ + 0.0029m^{1.25} \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0.75} + 0.09L_1 \frac{m^2}{1-m^2} 0.0337L_2 m^{1.5} \quad (1)$$

По этому уравнению значение коэффициента истечения зависит не только от относительного отверстия, но и от числа Рейнольдса.

Сейчас, после выхода в свет ГОСТ 8.586-2005, мы не имеем права пользоваться этими коэффициентами, поскольку этот ГОСТ использует для расчёта вместо уравнения Штольца другой алгоритм.

Теперь мы имеем новое уравнение – уравнение Ридера – Харисса – Галлахера (РХГ). Это уравнение было предложено в 1998 году для расчёта коэффициента истечения для диафрагм, которое введено в новую редакцию

ISO 5167-2:2003 [6] и содержится в ГОСТ 8.586.2-2005 [4]. Оно имеет вид:

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521\left(\frac{10^6\beta}{Re}\right)^{0.7} +$$

$$+ (0,0188 + 0,0063A)\beta^{3.5}\left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0.3} + (0,043 + 0,08e^{-10L_1} -$$

$$- 0,123e^{-7L_1})(1 - 0,11A)\frac{\beta^4}{1-\beta^4} - 0,031(M_1 - 0,8M_1^{1.1})\beta^{1.3} + M_2, \quad (2)$$

где

$$A = \left(\frac{19000\beta}{Re}\right)^{0.8} \quad (3)$$

$$M_1 = \frac{2L_2}{1-\beta} \quad (4)$$

$$M_2 = \begin{cases} 0,011(0,75 - \beta)\left(2,8 - \frac{D}{0,0254}\right) & \text{при } D < 0,07112\text{м} \\ 0 & \text{при } D \geq 0,07112\text{м}. \end{cases} \quad (5)$$

Значения L_1 и L'_2 принимают равными:

- $L_1 = L'_2 = 0$ - для углового способа отбора давлений;
- $L_1 = 1; L'_2 = 0,47$ - для трехрадиусного способа отбора давлений;
- $L_1 = L'_2 = \frac{0,0254}{D}$ - для фланцевого способа отбора давлений.

D - диаметр измерительного трубопровода.

По новому уравнению уменьшается значение коэффициентов (по сравнению с уравнением Штольца) при больших значениях числах Рейнольдса $Re \geq 10^6$ и больших значениях относительного диаметра отверстия диафрагмы ($\beta \geq 0,5$). Хотя в остальной области значения коэффициентов по уравнению РХГ превышают значения, вычисленные по уравнению Штольца.

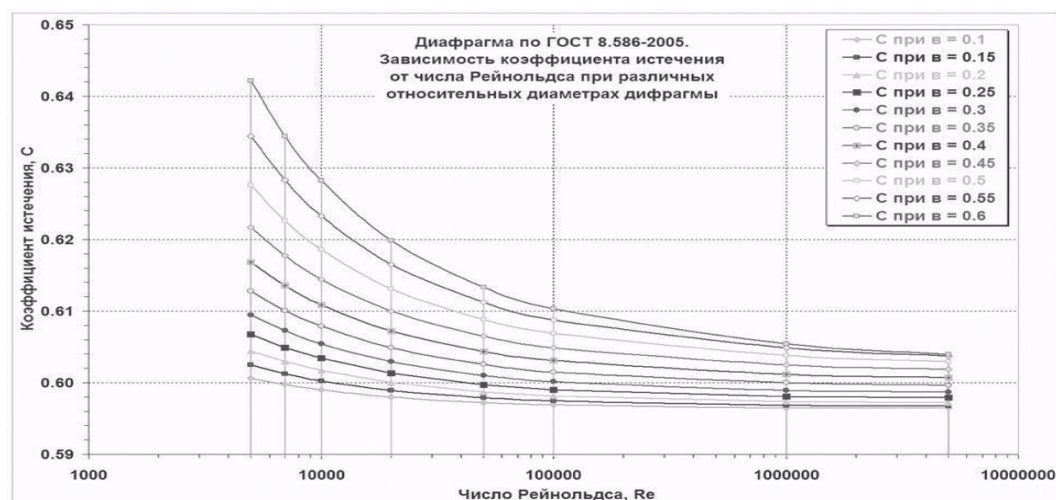


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента истечения от числа Рейнольдса при различных относительных диаметрах диафрагм

Отн. диаметр	Число Рейнольдса							
	5000	7000	10000	20000	50000	100000	1000000	5000000
0.10	0.6006	0.5997	0.5990	0.5980	0.5972	0.5969	0.5965	0.5964
0.15	0.6025	0.6013	0.6003	0.5989	0.5979	0.5974	0.5968	0.5967
0.20	0.6045	0.6029	0.6017	0.6000	0.5987	0.5981	0.5974	0.5972
0.25	0.6067	0.6049	0.6034	0.6013	0.5997	0.5990	0.5981	0.5979
0.30	0.6095	0.6072	0.6054	0.6029	0.6010	0.6001	0.5989	0.5987
0.35	0.6128	0.6101	0.6079	0.6049	0.6025	0.6015	0.6000	0.5996
0.40	0.6168	0.6136	0.6109	0.6072	0.6044	0.6031	0.6012	0.6007
0.45	0.6217	0.6177	0.6144	0.6100	0.6065	0.6049	0.6025	0.6018
0.50	0.6276	0.6226	0.6186	0.6131	0.6088	0.6069	0.6038	0.6029
0.55	0.6344	0.6283	0.6232	0.6165	0.6112	0.6088	0.6049	0.6037
0.60	0.6421	0.6345	0.6282	0.6198	0.6134	0.6103	0.6054	0.6039
0.65	0.6505	0.6408	0.6331	0.6227	0.6147	0.6110	0.6048	0.6029
0.70	0.6588	0.6468	0.6372	0.6244	0.6145	0.6100	0.6023	0.5999
0.75	0.6663	0.6513	0.6394	0.6236	0.6116	0.6060	0.5965	0.5935

Рисунок 2 – Таблица зависимости коэффициентов истечения диафрагмы от относительного диаметра и числа Рейнольдса

Однако, как можно наблюдать, даже такое улучшенное уравнение РХГ не является оптимальным решением для установления зависимости коэффициента истечения, потому как содержит число Рейнольдса, все еще выглядит громоздким и неудобным для восприятия. Поэтому становится очевидным тот факт, что данное уравнение можно считать недоработанным.

Применение более точного уравнения в расходомерах природного газа с диафрамами позволит уменьшить дисбалансы природного газа в газораспределяющих организациях.

В свою очередь исследователи из Техасского университета с факультета химической инженерии провели свое исследование и предложили новое уравнение для коэффициента истечения на основе данных природного газа из AGA (американской ассоциации газовой промышленности):

$$C = a_1 + a_2\beta^{3.75} + a_3\beta^4 + a_4\left(\frac{\Delta p}{p}\right)^{1.25} + a_5\left(\frac{\Delta p}{p}\right)^{2.25} \quad (6)$$

Здесь коэффициенты a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 соответственно равны 0,59865, 0,81891, -0,086143, 0,25169 и -2,2216, а Δp и p – перепад давления на диафрагме и абсолютное давление газа до сужающего устройства.

Понятно, что уравнение такого вида компактное, более удобное и не имеет скопления итераций. Более того, при автоматизации расчетов такая формула будет меньше занимать памяти вычислительного устройства.

В работе [5] вывели новую альтернативную зависимость для коэффициента истечения. Здесь уже нет зависимости от числа Рейнольдса, а есть перепад давления. Авторы уверены, что такой подход даст большую точ-

ность в измерениях (было установлено, что разница между коэффициентами составляет 6,3 %, что говорит о большой погрешности при существующем уравнении).

Исходя из вышесказанного, следует отметить, что на данный момент нужно не прекращать работу над нахождением оптимального уравнения коэффициента истечения.

Библиографический список

1. П.П. Кремлевский. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 701с.
2. А. П. Лепявко. Расходомеры переменного перепада давления: Учебное пособие– М.:АСМС, 2004. – 105с.
3. ГОСТ 8.586.1-2005 (ИСО 5167-1:2003) Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования.
4. ГОСТ 8.586.2-2005 (ИСО 5167-2:2003) Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования.
5. Cristancho D.E., Hall K.R., Coy L.A., Iglesias-Silva G.A. An alternative formulation of the standard orifice equation for natural gas. Flow Measurement and Instrumentation. 2010. Vol. 21. P. 299 – 301.
6. ISO 5167. Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and venture tubes inserted in circular cross-section conduits running full. 1st edition, 1980.

УДК 669.162.1 : 622.785

ТРЕБОВАНИЯ К ШИХТОВЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Свойкин А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Романенко Ю.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, e-mail: aleksey.svojkin@evraz.com*

Рассмотрены требования к шихтовым материалам для повышения эффективности технико-экономических показателей производства чугуна.

Ключевые слова: доменное производство, чугун, качество шихтовых материалов доменного производства .

В настоящее время все российские металлургические холдинги и компании занимаются повышением эффективности производства, внедрением новых технологий и оптимизацией производственных процессов. Не малую долю себестоимости готового проката занимает доменное производство.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды, оксидом углерода, водородом и твёрдым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются следующие задачи:

- восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава;
- оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

Процесс доменной плавки непрерывный. Сверху в печь загружают сырые материалы, а в нижнюю часть через фурмы подают нагретый воздух и топливо (жидкое или газообразное). Полученные от сжигания топлива газы проходят через столб шихты и отдают ей свою энергию. Опускающаяся шихта нагревается, восстанавливается и плавится. Часть кокса расходуется в печи на восстановление железа и других элементов, большее его количество достигает фурм, где сгорает.

Указанные основные направления развития технологии выплавки чугуна в доменных печах практически освоены. Вопрос об увеличении объема доменных печей на повестке дня уже не стоит. Объем печей 5000 - 5500 м³ – достаточный не только с технологической, но и с экономической точек зрения. Технология вдувания природного и коксового газов хорошо освоена. Сегодня наиболее широко используется технология вдувания в фурмы доменной печи природного газа и пылеугольного топлива (ПУТ). Причем при вдувании ПУТ достигаются наиболее высокие ТЭП доменной плавки. Современные засыпные аппараты, например лотковый аппарат фирмы «Paul Wurth» и роторное загрузочное устройство, могут обеспечить любое необходимое распределение шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Контроль размеров зон горения и регулирование распределения газового потока в горне доменной печи также хорошо отработаны. С появлением современной вычислительной техники и новых приборов многие проблемы контроля технологических параметров доменной и лайки решены.

Даже при условии внедрения данных мероприятий, для максимальной эффективности крайне важно качество шихтовых материалов: кокса и железорудного сырья.

Качество кокса – один из главных параметров определяющих ход и результаты доменной плавки, – оценивается по физическим показателям (прочность, истираемость, фракционный состав), химическому составу и реакционной способности. Кокс должен содержать максимальное количество углерода и минимальное количество золы и серы. По ситовому (фракционному) составу кокс должен быть высокопрочным в холодном и горячем состояниях, однородным по крупности и с минимальным содержанием мелких (< 25 мм) и крупных (> 80 мм) фракций.

Для современной доменной плавки кокс должен соответствовать требованиям, выдвинутым, например, по итогам работы V Международного

конгресса доменщиков: показатель прочности M25 не менее 90 %; показатель истираемости M10 не более 6 %; содержание фракции > 80 мм не более 5 %; содержание фракции < 25 мм не более 5 %; колебания влажности не более 0,5 %; реакционная способность CR1 23 - 26 %, горячая прочность (прочность после обработки CO₂) CSR 70%.

Можно констатировать, что доменщики определились с требованиями к качеству кокса, а коксовики могут производить кокс нужного качества. Но проблема повышения качества железорудного сырья в полной мере пока не решена. Еще З. И. Некрасов с соавторами отмечали, что в использовании новых методов подготовки шихтовых материалов к доменной плавке сделано неоправданно мало, хотя решение этой задачи определяет достижения высоких ТЭП производства чугуна. Коренное улучшение рудоподготовки до уровня, отвечающего требованиям современного доменного производства – одна из важнейших задач. Необходимо достичь коэффициент использования полезного объема (кило) доменных печей 0,3 - 0,4 м³ сут/т передельного чугуна при удельном расходе кокса 300 - 350 кг/т.

Эта проблема обострилась в связи со снижением качества добываемых железных руд, вызванным исчерпанием запасов богатых руд и необходимостью разработки более бедных месторождений. Обеднение добываемого сырья способствовало широкому распространению глубокого обогащения железных руд, сопровождающегося увеличением объема производства тонкоизмельченного концентрата. Используют три способа окускования мелких железорудных материалов: агломерацию, производство окатышей и брикетирование шихты.

Требования к качеству агломерата и окатышей давно определены и практически не меняются. Это максимально высокое содержание железа, минимальное количество вредных примесей, постоянство химическою и гранулометрического составов, требуемая основность, высокая прочность, низкое содержание мелких фракций ими в исходном состоянии и в доменной печи, высокая восстановимость и узкий температурный интервал размягчения. По итогам работы уже упомянутого V Международного конгресса доменщиков железорудное сырье должно соответствовать требованиям, которые необходимо обеспечивать на существующих или реконструируемых агломерационных фабриках и ГОКах, производящих окатыши.

Агломерация и производство окатышей были и остаются основными способами получения окускованного железорудного сырья для доменной плавки. Однако на основании большого количества исследований окускованного сырья многих фабрик авторы работы показали, что и окатыши, и агломерат не удовлетворяют в полной мере возросшим требованиям доменной плавки. Они отмечают, что необходим поиск способов окускования железорудного сырья, которые позволяли бы получать металлургическое сырье, сочетающее лучшие металлургические свойства агломерата и окатышей.

Таким образом самым важным направлением совершенствования тех-

нологии доменной плавки, которое остается актуальным и должно опережать в развитии все остальные – обеспечение доменных печей высококачественными шихтовыми материалами (коксом и железосодержащим сырьем).

УДК 669.162.27

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Свойкин А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Романенко Ю.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, e-mail: aleksey.svojkin@evraz.com*

Рассмотрены методы повышения эффективности технико-экономических показателей производства чугуна.

Ключевые слова: доменное производство, чугун, повышение эффективности доменного производства .

Еще и прошлом веке были определены основные направления развития технологии выплавки чугуна в доменных печах. К ним относили: увеличение объема доменных печей, повышение температуры горячего дутья, обогащение дутья кислородом, повышение давления газа на колошнике, вдувание в печь природного и коксового газов, мазута и пылеугольного топлива, оптимизацию распределения шихтовых материалов на колошнике с применением новых загрузочных устройств, совершенствование распределения газового потока в горне доменной печи, автоматизацию доменной плавки.

Рассмотрим некоторые способы повышения эффективности доменного производства, а именно:

- Модификаторы для чугуна. Поставленная цель достигается тем, что в брикете модификатора используются металлокремнистые отходы. Однако они недостаточно эффективны в устранении отбела чугунных отливок и относительно дорогостоящие. Из плюсов можно выделить от использования данного решения, в замене дорогостоящих и дефицитных модификаторов более дешевым брикетом шлакообразующей модифицирующей смеси, в улучшении модифицирующего эффекта. Из минусов стоит отметить, при отклонении в брикетах связующего прочность брикета падает, а соответственно и модифицирующий эффект, также необходимо добавлять только при определенных температурах;

- Способ ведения доменной плавки, а именно технический эффект заключается в увеличении удельной производительности доменной печи, в снижении удельного расхода кокса и в повышении качества чугуна за счет снижения содержания серы и кремния, повышения температуры и стабильности по химическому составу и температуре. При этом достигается увели-

чение выноса со шлаком оксидов щелочных металлов (K_2O , Na_2O) и цинка с колошниковым газом. Указанный технический эффект достигают тем, что ведение доменной плавки включает загрузку в доменную печь шихты, состоящей из агломерата и окатышей, кокса, флюсов, металлодобавок, контроль их химического состава и количества, контроль состава чугуна и шлака на выпуске. Основность шлака, измеряемую как массовое отношение CaO/SiO_2 . Из плюсов стоит выделить повышение эффективности доменной плавки путем оптимизации химического состава шлака, а именно соотношения основности. Из минусов: рекомендуемые значения основности шлака допускают широкий интервал значений этого параметра, например 0,85-1,10 при работе на малосернистом коксе и 1,30 при работе на коксе с высоким содержанием серы. В обозначенных пределах основности свойства шлака существенно различаются по вязкости, серопоглотительной способности, по плавкости и другим важным характеристикам.

Способ не учитывает содержание в рудных материалах $Fe_{общ}$, величина которой определяет выход шлака (кг/т чугуна).

Указанные недостатки не обеспечивают достижение поставленных задач: высокой производительности доменной печи, низкого удельного расхода кокса, повышения качества чугуна за счет снижения содержания серы и кремния, повышения температуры и стабильности по химическому составу и температуре, увеличения выноса со шлаком оксидов щелочных металлов (K_2O , Na_2O) и цинка с колошниковым газом;

- Способ производства чугуна, который включает в себя загрузку в печь через колошник железорудной части шихты, состоящей из агломерата, окатышей, металлодобавки, и кокса, нагрев, восстановление и плавление шихты, выпуск чугуна и шлака. В качестве металлодобавки используют металлоконцентрат, полученный сухой магнитной сепарацией металлургических шлаков с повышенным содержанием марганца, хрома. В качестве части кокса загружают антрацит крупностью 25-60 мм, который перед загрузкой перемешивают с железорудной частью шихты с расходом металлоконцентрата, составляющим 20-25 % от железорудной части шихты, и обеспечивают в чугуне содержание марганца от 0,5-1,0 % и хрома от 0,1 до 0,3 %. Использование данной технологии обеспечивает стабильность химического состава чугуна за счет лучшего распределения марганца и хрома в чугуне, а также улучшить технико-экономические показатели доменной плавки за счет снижения расхода кокса.

Повышение металлизации доменной шихты улучшает технико-экономические показатели доменной плавки, а также позволяет несколько снизить расход кокса. Из плюсов стоит отметить: повышение стабильности химического состава чугуна за счет лучшего распределения марганца и хрома в чугуне при его выплавке с применением металлоконцентрата, а также улучшение технико-экономических показателей производства чугуна за счет снижения расхода кокса при его частичной замене антрацитом. Из минусов стоит упомянуть: фракционный состав имеет принципиальное значение при

использовании антрацита, поскольку от него зависят газопроницаемость и другие параметры работы доменных печей. Для применения в доменном процессе необходима фракция не менее 25-60 мм;

- Способ создания защитного гарнисажа на футеровке горна и лещади доменной печи за счет загрузки печи шихтой, содержащей железорудные материалы, в том числе агломерат, железную руду, кокс и периодически подаваемую гарнисажеобразующую титансодержащую добавку, загружаемую в периферийную зону печи, проплавку шихты. Из плюсов стоит отметить: активное образование стойкого гарнисажа на внутренней поверхности футеровки горна и на лещади печи, обеспечивающего уменьшение тепловых потерь с охлаждающей водой, уменьшение расхода топлива, защиту футеровки печи от размывания и химического разрушения, повышение срока службы футеровки и увеличение продолжительности кампании доменной печи. Недостатком способа является то, что гарнисаж в процессе образования сразу же размывается жидким металлом и не образует достаточно толстый и прочный слой на стенках печи, что не позволяет существенно повысить стойкость футеровки, ее долговечность и снизить потери тепла с охлаждающей водой. Кроме того, для получения гарнисажа с заданными свойствами необходимо осуществлять проплавку гарнисажеобразующих добавок в течение длительного времени - 30-50 часов через каждые 30-75 суток работы печи, что снижает производительность печи

- Способ получения и использования в доменной плавке горячих восстановительных газов, сущность которого состоит в том, что горячие восстановительные газы, подаваемые через фурмы в горн доменной печи, получают путем парокислородной газификации пылеугольного топлива (ПУТ) совместно с колошниковым газом в многосекционном циклонном газогенераторе (МЦГ). При этом в МЦГ совместно с ПУТ и кислородом подают колошниковый газ в неочищенном виде посредством инжекции его паром, который получают в системе испарительного охлаждения (СИО) МЦГ., из плюсов стоит отметить: повышение эффективности энерго-использования процесса получения горячих восстановительных газов для ввода их в горн доменной печи и снижение удельного расхода кокса. Недостатками этого способа являются: ограничение производительности фурменного прибора по углю; с восстановительным газом вдуваются в горн печи зола и вредные компоненты угольного топлива, что усложняет ведение технологического процесса плавки; требуется высокотемпературный нагрев дутья (1000-1200°C);

- Опыт промышленного использования конверторного шлака с целью замены части кварцита и увеличения содержания железа в доменной шихте Южно-Уральского никелевого комбината в качестве раскислителя в ДЦ ЧМК. Из плюсов стоит отметить: замещение части кремния шлаком и внесение дополнительного железа, минусов пока не обнаружено;

- Главное направление инновационного совершенствования доменной технологии – использование одного вида железорудного сырья, сочетающего

лучшие свойства агломерата и окатышей. Плюсы, которые можно выделить: определены показатели кокса и агломерата для повышения производительности доменных печей, сформулирована задача для улучшения качества агломерата;

- Перспективы переработки отходов черной металлургии на примере «Арселормиттал Темиртау», в частности доменного и конвертерного шлаков в качестве материала оснований автодорог. Из явных плюсов стоит отметить снижение себестоимости продукции доменного производства, снижение шлаковых отвалов, а соответственно нагрузки на экологию. Из минусов стоит отметить малопригодность доменного шлака при использовании в строительстве: это слабая механическая прочность, способность впитывать влагу, а соответственно зимой промерзнуть;

- Повышение стойкости воздушных фурм доменных печей от прогара за счет интенсификации охлаждения, достигаемая в основном применением змеевиков, направляющих элементов, вставок и перегородок для организации движения охлаждающей воды и увеличения скорости ее циркуляции. Из несомненных плюсов стоит отметить повышение эффективности доменной печи, из-за снижения издержек времени на замену фурм. Из минусов: усложнение конструкции фурмы, соответственно удорожание, повышение давления воды, что потребует изменения мощности оборудования;

- Влияние общего перепада статистического давления газа в печи на показатели доменной плавки, в частности оптимизация этого давления совместно с общим перепадом давления в печи для конкретных условий доменной плавки. Из плюсов стоит отметить интенсификацию процессов. Из минусов, на каждую печь давление в колошнике необходимо подбирать индивидуально, и процесс повышения давления не даст большой прирост к интенсификации процесса.

Проведенный анализ, как и ранее рассмотренные способы повышения эффективности доменного производства, показывают о том, что для совершенствования производства остается много направлений, таких как замена шихтовых материалов, так и изменение самой технологии и переработка доменных отходов.

Оценить эффективность влияние каждого способа в зависимости от очередности внедрения, прирост удельной производительности по печам можно на основании проведенного анализа. Простейший анализ коэффициентов приведения к одинаковым условиям периодов работы доменных печей показывает, что повышение качества кокса и железнорудного сырья обеспечивает (по всем факторам) повышение эффективности рассмотренных мероприятий, более высокое снижение расхода кокса при значительном росте производительности доменной печи.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВДУВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

Кравцов А.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Романенко Ю.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, e-mail: aleksandr_kravczov_94@mail.ru*

Рассмотрено влияние вдувания пылеугольного топлива на газодинамику доменной печи. Показано, что внедрение данной технологии существенно влияет не только на энергоэффективность печи, но и на расход кокса при производстве чугуна.

Ключевые слова: пылеугольное топливо, доменное производство, вдувание пылеугольного топлива, энергоэффективность, удельный расход кокса, газопроницаемость.

Постановка проблемы. Расход кокса в доменных печах является одним из важнейших технико-экономических показателей работы металлургического комбината, во многом определяющим удельные затраты топливно-энергетических ресурсов на выпуск конечной металлопродукции, себестоимость и конкурентоспособность последней, а также уровень вредных выбросов предприятия в окружающую среду. На лучших металлургических комбинатах мира в Китае и Японии достигнут минимальный удельный расход кокса 260 – 280 кг/т чугуна. Средний расход кокса в странах Европы составляет 350 – 360 кг/т чугуна [1]. Россия существенно отстает, лучший современный показатель – 400 – 440 кг/т чугуна. На большинстве российских металлургических комбинатов в том числе и на ЕВРАЗ ЗСМК удельный расход кокса составляет 490 – 510 кг/т чугуна.

Анализ последних исследований и публикаций. Снижение топливно-энергетических затрат на производство чугуна в доменных печах традиционно является одной из основных задач ученых-металлургов. Поэтому указанному вопросу посвящено большое количество исследований и публикаций. Весомый вклад в его решение внесли отечественные и зарубежные ученые: Ярошевский С.Л., Минаев А.А., Тихомиров Е.Н., Товаровский И.Г., Андронов В.Н., Рамм А.Н., Готлиб А.Б., Мишар Ж., Китаев Б.И., Донсков Е.Г., Ноздрачев В.А., Грес Л.П. и многие другие. Были разработаны и освоены разнообразные способы повышения энергоэффективности доменного производства и снижения удельного расхода кокса на выплавку чугуна.

В условиях России, имеющей большие запасы некоксующихся углей, одной из наиболее перспективных признана технология доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива (ПУТ) [2, 3 и др]. Каждый 1 кг ПУТ заменяет 0,9 – 1,0 кг кокса. Приготовление пылеугольного топлива сопровож-

дается значительно меньшим загрязнением атмосферы и водного бассейна, чем производство кокса. На АО ЕВРАЗ ЗСМК внедрена технология доменной плавки с одновременным вдуванием в горн печи ПУТ и природного газа, где были достигнуты высокие технико-экономические показатели: удельные расходы кокса - 365,2 кг/т, ПУТ - 90,1 кг/т, природного газа - 82,2 м³/т чугуна при температуре дутья 1109 °С. В Японии и Китае расход ПУТ, вдуваемого в горн доменных печей, достигает 240 – 260 кг/т чугуна. Условиями высокого расхода ПУТ являются высокие значения механической прочности кокса и рудных материалов, содержания железа в шихте и температуры дутья.

Цель статьи – выполнить анализ теплотехнологии доменной плавки с вдуванием ПУТ и определить технические особенности, сопровождающие внедрение данной технологии.

Изложение основного материала. Вдувание ПУТ в горн доменных печей непосредственно заменяет углерод кокса при сгорании у фурм и устраняет дефицит тепла в нижней части доменной печи. При этом дефицит газов-восстановителей в шахте доменной печи сохраняется. Летучие вещества угольной пыли, выделяющиеся при её сгорании, частично увеличивают удельный выход восстановительных газов. Но при вдувании ПУТ в доменные печи снижают или полностью прекращают вдувание природного газа. Поэтому выход восстановительных газов в доменной печи сокращается. Из-за этого вдувание ПУТ сопровождается увеличением степени прямого восстановления оксидов железа r_d .

Возможности одновременного вдувания в горн доменной печи ПУТ и природного газа, являющегося источником газов-восстановителей, ограничены. Увеличению количества вдуваемых в фурмы топливных добавок препятствуют снижение теоретической температуры горения, сложности обеспечения полного сгорания топливных добавок у фурм и другие технологические факторы.

Важным обстоятельством, которое необходимо учитывать при использовании пылеугольного топлива в доменной плавке, является необходимость создания таких тепловых и газодинамических условий в нижней части печи, которые бы обеспечивали ее высокопроизводительную работу при высоких расходах ПУТ. Определяющими факторами при этом дальнейшее снижение расхода кокса за счет увеличения вдувания пылеугольного топлива возможно при условии рациональной организации противотока шихты и газа, так как при увеличении расхода ПУТ увеличивается перепад давления газа по высоте печи.

Для обеспечения высокой газопроницаемости столба шихты в доменной печи целесообразно определить оптимальную массу коксовой колоши и создать оптимальную конфигурацию зоны когезии. Подача угольной пыли в горн доменной печи, повышение при этом концентрации кислорода в дутье способствует приближению фокуса горения к стенам доменной печи, ухудшая условия службы огнеупорной кладки и системы охлаждения заплечиков, опорного кольца и низа шахты. Необходимо снижать интенсивность газовой-

го потока у стен печи с увеличением ее в осевой зоне. Это достигается оптимизацией системы загрузки шихты и конструкции воздушных фурм.

Внедрение технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива требует решения ряда задач, основными из которых являются: - обеспечение высокой газопроницаемости столба шихтовых материалов при снижении в нем доли кокса за счет совершенствования технологии загрузки доменных печей; - снижение интенсивности периферийного газового потока с целью сохранения огнеупорной футеровки и системы охлаждения нижней части доменной печи; - разработка и внедрение мероприятий для достижения полной и комплексной компенсации нарушений технологического режима, вызываемых горением ПУТ и снижением доли кокса в доменной шихте.

Для обеспечения высокой газопроницаемости столба шихты в доменной печи целесообразно определить оптимальную массу коксовой колоши и создать оптимальную конфигурацию зоны когезии. Подача угольной пыли в горн доменной печи при повышении концентрации кислорода в дутье способствует приближению фокуса горения к стенам доменной печи, ухудшая условия службы огнеупорной кладки и системы охлаждения заплечиков, опорного кольца и низа шахты. Необходимо снижать интенсивность газового потока у стен печи с увеличением ее в осевой зоне. Это достигается оптимизацией системы загрузки шихты и конструкции воздушных фурм.

Важным обстоятельством, которое необходимо учитывать при использовании пылеугольного топлива в доменной плавке, является необходимость создания таких тепловых и газодинамических условий в нижней части печи, которые бы обеспечивали ее высокопроизводительную работу при высоких расходах ПУТ. Определяющими факторами при этом являются: – температура дутья и содержание в нем кислорода (не ниже 1100 °С и 25 % соответственно), позволяющих компенсировать снижение теоретической температуры горения у фурм и обеспечить необходимое тепловое состояние горна и полноту ПУТ; – постреакционная («горячая») прочность кокса (не менее 60 %) и соответственно его реакционная способность CRI (не более 25 – 30 %), непосредственно влияющие на проницаемость коксовой насадки для газов и жидких продуктов плавки; – повышение прочности железорудных компонентов шихты и снижение содержания в ней мелочи (не более 5 % фракции менее 5 мм).

Немаловажное значение имеет полнота сгорания угольных частиц в горне доменной печи. Однако обычное обогащение дутья кислородом не дает должного эффекта, в связи с чем разработаны способы его локального подвода непосредственно к струе ПУТ. В результате были предложены различные варианты совместного вдувания ПУТ и кислорода, наиболее распространенным из которых является коаксиальная горелка, успешно опробованная за рубежом. Максимально возможное количество вдуваемого ПУТ ограничивается тепловым состоянием доменной плавки, о котором можно судить по составу чугуна, шлака, и газодинамическим режимом, контролируемым

по перепаду давления газа в печи и критерию газодинамической устойчивости (ГДУ) столба шихтовых материалов.

Также немаловажным критерием, ограничивающим расход ПУТ, является теоретическая температура горения и параметры окислительной зоны (ее размеры). С повышением расхода ПУТ нагрев печей снижался. Это подтверждается уменьшением химического нагрева чугуна ($[Si] \downarrow$, $[S] \uparrow$) и шлака ($(S) \downarrow$, $(CaO)/(SiO_2) \downarrow$). При увеличении расхода ПУТ до 200 кг/т чугуна содержание кремния в чугуне и серы приближается к граничным условиям. Снижение содержания кремния в чугуне происходит за счет торможения эндотермической реакции его восстановления при понижении температуры. Увеличение содержания серы в чугуне вызвано снижением основности шлака и повышением его вязкости с понижением температуры. В этих условиях уменьшается переход серы в шлак. Основность шлака снижается в связи с уменьшением восстановления кремния – большее количество кремнезема остается в шлаке. С увеличением расхода ПУТ перепад давления газа в печах увеличивался, несмотря на то что при этом объем печных газов уменьшается. Данный факт объясняется снижением газопроницаемости сухой части доменной печи из-за уменьшения доли хорошо проницаемого кокса и зоны когезии в результате уменьшения высоты коксовых окон.

Также может снижаться газопроницаемость в нижней части доменной печи из-за того, что пылеугольное топливо может не полностью сгорать в окислительной зоне и в результате оседать в пустотах между частицами кокса в нижней части печи и в зоне когезии. Кроме этого, несгоревшие частички угольной пыли, соединяясь со шлаком, увеличивают его вязкость, тем самым уменьшая газопроницаемость в нижней части печи.

Заключение. Показано, что применение пылеугольного топлива значительно ограничивает устойчивость хода доменных печей ввиду ужесточения газодинамики работы печей за счет значительного снижения расхода кокса, ухудшения условий противоточной фильтрации газов и шихты в твердом и вязко-пластичном состоянии, достижение высоких технико-экономических показателей в таких условиях, в значительной степени, определяется условиям и методам распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи.

Таким образом, для дальнейшего повышения расхода угольной пыли необходимо решить задачу по улучшению газопроницаемости столба шихтовых материалов. Наибольший резерв для снижения перепада давления газа в столбе шихтовых материалов в доменной печи находится в зоне когезии.

Библиографический список

1. Курунов И.Ф. Шихтовые материалы, кокс, эксплуатация и показатели работы доменных печей (по материалам 4 – го Европейского конгресса по коксохимическому и аглодоменному производству) // Сталь. – 2001. - № 3. – С. 7 – 13.

2. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного

топлива / С.Л. Ярошевский – М.: Metallurgy, 1988. – 175 с.

3. Минаев А.А. Перспективы применения пылеугольного топлива в доменных цехах Украины и России / А.А. Минаев, А.Н. Рыженков, Ю.Г. Банников [и др.] // Сталь, 2008. - № 2. – С. 5 – 11.

4. Тихомиров Е.Н. Комбинированное дутьё доменных печей / Е.Н. Тихомиров. – М.: Metallurgy, 1974. – 160 с.

5. Товаровский И.Г. Анализ показателей и процессов доменной плавки / И.Г. Товаровский, В.В. Севернюк, В.П. Лялюк – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 420 с.

УДК 669.162

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Кравцов А.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Романенко Ю.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, e-mail: aleksandr_kravczov_94@mail.ru*

Рассмотрено применение систем Безконусных Загрузочных Устройств для увеличения производительности печи в рамках внедрения технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива.

Ключевые слова: пылеугольное топливо, доменное производство, бесконусное загрузочное устройство, энергоэффективность, распределение шихты.

Постановка проблемы. Применение пылеугольного топлива значительно ограничивает устойчивость хода доменных печей ввиду ужесточения газодинамики работы печей за счет значительного снижения расхода кокса, ухудшения условий противоточной фильтрации газов и шихты в твердом и вязкопластичном состоянии, достижение высоких технико-экономических показателей в таких условиях, в значительной степени, определяется условиям и методам распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи.

Цель статьи –разработать технические предложения, направленные на повышение энергоэффективности вдувания ПУТ в доменную печь.

Изложение основного материала. Опыт эксплуатации доменных печей с использованием в качестве топливной добавки ПУТ с большими расходами (150÷200 кг/т чугуна) показывает, что переход на такую технологию требует оснащение доменных печей бесконусным загрузочным устройством, обеспечивающим распределение шихты по всему радиусу поверхности засыпи.

Важным обстоятельством, которое необходимо учитывать при использовании пылеугольного топлива в доменной плавке, является необходимость со-

здания таких тепловых и газодинамических условий в нижней части печи, которые бы обеспечивали ее высокопроизводительную работу при высоких расходах ПУТ. Определяющими факторами при этом дальнейшее снижение расхода кокса за счет увеличения вдувания пылеугольного топлива возможно при условии рациональной организации противотока шихты и газа, так как при увеличении расхода ПУТ увеличивается перепад давления газа по высоте печи.

Для обеспечения высокой газопроницаемости столба шихты в доменной печи целесообразно определить оптимальную массу коксовой колоши и создать оптимальную конфигурацию зоны когезии. Подача угольной пыли в горн доменной печи, повышение при этом концентрации кислорода в дутье способствует приближению фокуса горения к стенам доменной печи, ухудшая условия службы огнеупорной кладки и системы охлаждения заплечиков, опорного кольца и низа шахты. Необходимо снижать интенсивность газового потока у стен печи с увеличением ее в осевой зоне. Это достигается оптимизацией системы загрузки шихты и конструкции воздушных фурм.

Внедрение технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива требует решения ряда задач, основными из которых являются: - обеспечение высокой газопроницаемости столба шихтовых материалов при снижении в нем доли кокса за счет совершенствования технологии загрузки доменных печей; - снижение интенсивности периферийного газового потока с целью сохранения огнеупорной футеровки и системы охлаждения нижней части доменной печи; - разработка и внедрение мероприятий для достижения полной и комплексной компенсации нарушений технологического режима, вызываемых горением ПУТ и снижением доли кокса в доменной шихте.

Для обеспечения высокой газопроницаемости столба шихты в доменной печи целесообразно определить оптимальную массу коксовой колоши и создать оптимальную конфигурацию зоны когезии. Подача угольной пыли в горн доменной печи при повышении концентрации кислорода в дутье способствует приближению фокуса горения к стенам доменной печи, ухудшая условия службы огнеупорной кладки и системы охлаждения заплечиков, опорного кольца и низа шахты. Необходимо снижать интенсивность газового потока у стен печи с увеличением ее в осевой зоне. Это достигается оптимизацией системы загрузки шихты и конструкции воздушных фурм.

Бесконусное загрузочное устройство – один из основных узлов доменной печи и предназначен для приема шихтовых материалов, шлюзования при загрузке их в доменную печь с распределением по площади колошника в соответствии с заданной.

Использование БЗУ позволит уменьшить удельный расход кокса на 10-15 кг/т чугуна, снизить расход энергоносителей на 10% и увеличить производительность печи на 3-5%. Стоимость внедрения БЗУ составляет около 98 млн. рублей.

Бесконусное загрузочное устройство (БЗУ) производства компании «Пауль Вюрт» — это самый современный в мире однотрактный засыпной

аппарат лоткового типа «Миди». По оценкам ведущих мировых специалистов, это оборудование третьего поколения, новый этап в развитии техники и технологии загрузки доменных печей. При использовании БЗУ снижается неравномерность загрузки шихтовых материалов, обеспечивается получение заданного профиля засыпи, существенно увеличивается степень использования газа. Удельный расход кокса снижается на 10-15 кг/т чугуна, производительность печи увеличивается на 3-5%.

Конструктивные особенности БЗУ позволяют использовать в шихте горячий агломерат вместо холодного. Вкупе с системой замкнутого цикла охлаждения это снизит расход энергоносителей дополнительно на 10%. Системы пылеподавления и аспирации приемной воронки БЗУ позволят минимизировать пыление во время загрузки шихты в доменную печь. Система гидравлики и автоматизированная система управления процессом загрузки печи обеспечат безопасность и комфортность условий труда персонала.

Заключение. Применение систем Безконусных Загрузочных Устройств обеспечивает следующие преимущества:

- Улучшенная ровность и эффективность работы печи и, как следствие, более высокая стабильность состава чугуна;
- Увеличение производительности печи;
- Снижение эксплуатационных расходов благодаря уменьшению расхода кокса и возможности вдувать больше ПУТ;
- Более длительная кампания печи благодаря снижению тепловых нагрузок на стены печи;
- Снижение затрат на техобслуживание оборудования, его облегчение и ускорение.

Библиографический список

1. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива / В.И. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровск.: ІСМ НАН Украина, 2011. – выпуск 23. – С. 30-36.

2. Вдувание пылеугольного топлива в горн доменной печи / В.И. Логинов, Г.Г. Орешкин, И.Г. Половченко и др. // Сталь. 1956, № 8. - С. 675-682.

3. Усовершенствование оборудования установки для вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи / З.И. Некрасов, Я.М. Ободан, Ю.А. Приходько и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1970, № 6. - С. 1-5.

4. Работа доменной печи при совместном применении природного газа, пылеугольного топлива и обогащенного кислородом дутья. / З.И. Некрасов, Л.Д. Юпко, П.Я Мухин и др. // Сб. «Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема». Тематический отраслевой сборник № 4. М, Металлургия. 1978. - С. 22-29.

5. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного

топлива. / М.: Металлургия, 1988. - 176 с.

6. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей / В.И. Большаков – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.

7. Особенности применения различных загрузочных устройств на современных доменных печах / [Большаков В.И., Товаровский И.Г., Шутылев Ф.М.].

8. Освоение режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, в условиях нестабильного качества шихтовых материалов / [Большаков В.И., Семенов Ю.С., Шумельчик Е.И., Горупаха В.В., Кузнецов А.М., Зубенко А.В.] – Сборник трудов VI Международного Конгресса по агло-коксо-доменному производствам, 20–24 мая 2013. – С. 60–71.

IV. ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 656.073:519.8

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИМ ТЕРМИНАЛОМ

Рымкевич А.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Новичихин А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail:annarymkevic9@gmail.com*

Представлены методические аспекты управления функционированием транспортно-логистическим терминалом. Определены показатели эффективности, разработана трехуровневая модель управления транспортно-логистическим терминалом и рекомендации по её конкретизации.

Ключевые слова: трехуровневая модель управления, транспортно-логистический терминал, показатели эффективности.

Актуальность использования современных логистических концепций на транспорте в условиях перманентных изменений и модернизации направлений развития экономики РФ, является одним из ключевых факторов решения задач организации транспортно-логистических процессов [4]. При осуществлении транспортно-логистических процессов, часто возникают различные внешние и внутренние проблемные ситуации, разрешить которые можно с помощью разработки соответствующих алгоритмов управления [1]. Алгоритмы управления транспортно-логистическим терминалом (ТЛТ) позволяют разработать порядок типовых действий при возникновении внешних факторов, изменить стратегию управления логистических единиц.

Несмотря на потенциальную эффективность современного инструментария управления функционированием ТЛТ, он не позволяет предсказать поведение и рефлексию объекта в условиях распределения транспортных потоков. С этими задачами способно справиться математическое моделирование объектов. Математическое моделирование – способ исследования какого-либо объекта или системы, заключающийся в том, что происходит исследование не самого объекта или системы напрямую, а цифровой модели, на которую перенесены свойства этого объекта или системы [2]. Математические модели выполняют следующие функции: описательную, исследовательскую, прогностическую и др. Математическая модель ТЛТ является упрощенным вариантом оригинального объекта, что приводит к сокращению размерностей данного объекта, но функционировать модель должна в соответствии с оригиналом при необходимом уровне цифровизации [3].

Существует два подхода к распределению транспортных потоков:

двухуровневый и мультиуровневый [3]. На рисунке 1 представлена мультиуровневая модель, а именно – трехуровневая модель управления ТЛТ.

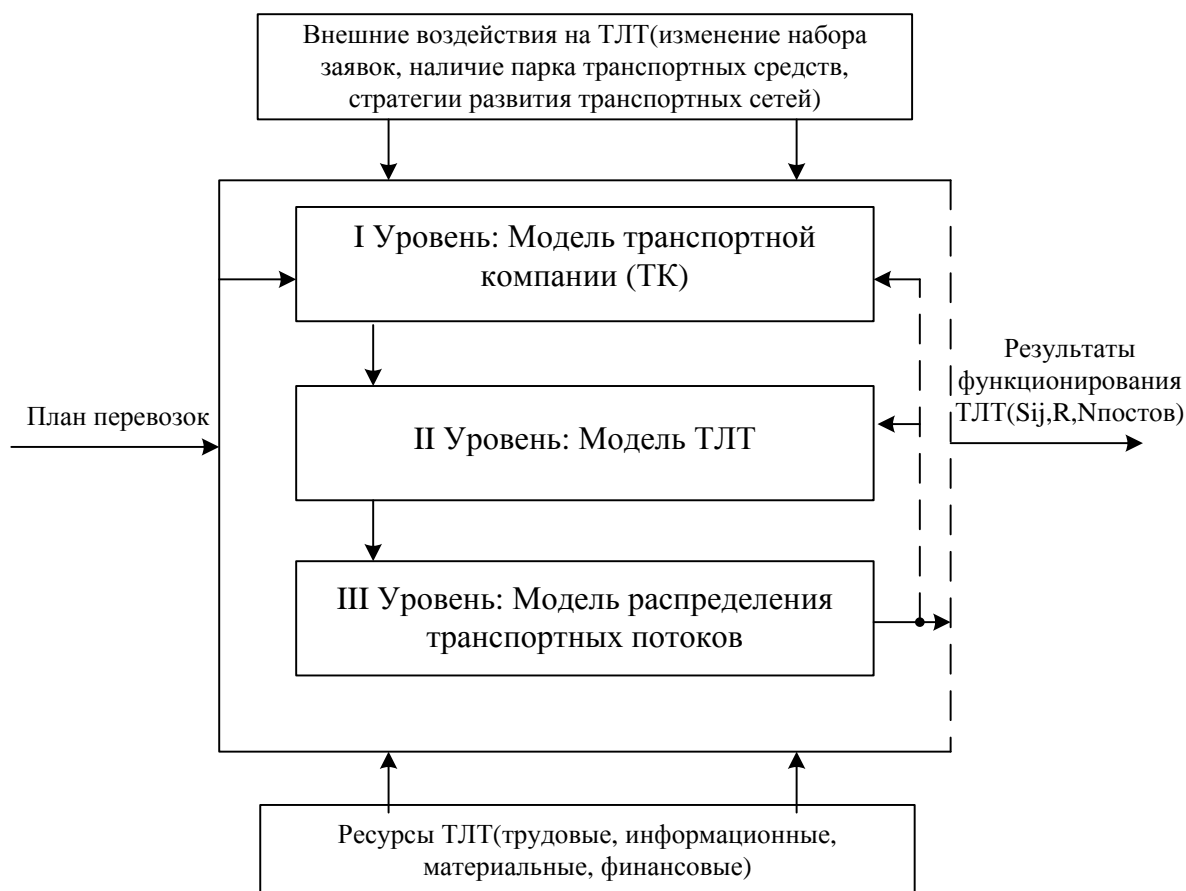


Рисунок 1 – Трёхуровневая модель управления ТЛТ

На I уровне находится модель транспортной компании, которая определяет основные аспекты ее функционирования, такие как распределение подвижного состава, совершенствование структуры парка и его пространственной дислокации.

На II уровне находится модель ТЛТ, особенность которой заключается в определении и оперативном изменении параметров функционирования, структуры и размещения.

На III уровне представлена модель распределения транспортных потоков, функция которой заключается в гибком изменении стратегии управления в зависимости от внутренних изменений и внешних воздействий, перераспределения транспортных потоков.

В качестве показателей эффективности ТЛТ предлагается следующий набор:

1. Затраты на переработку грузов:

$$S_{ij} = \sum_i \sum_j (S_{ij}^{пер} + S_{ij}^{хран} + S_{ij}^{штраф} + S_{ij}^{простой}), \quad (1)$$

где S_{ij}^{nep} – затраты на переработку i -го рода груза посредством j -го подвижного состава;

$S_{ij}^{хран}$ – затраты на хранение i -го рода груза, привезенного j -м подвижным составом;

$S_{ij}^{штраф}$ – затраты на хранение i -го рода груза сверх срока привезенного j -м подвижным составом;

$S_{ij}^{простой}$ – затраты за простой j -го подвижного состава в ожидании обработки и погрузочно-разгрузочных операций i -го рода груза.

2. Резерв грузооборота склада:

$$R = \sum_i \sum_j (\Gamma_{ij}^{макс} - \Gamma_{ij}^{тек}), \quad (2)$$

где $\Gamma_{ij}^{макс}$ – максимальная величина грузооборота ТЛТ;

$\Gamma_{ij}^{тек}$ – величина текущего грузооборота ТЛТ.

3. Количество задействованных постов:

$$N_{пост} = \sum_i \sum_j \frac{(\Gamma_{ij}^{ex} + \Gamma_{ij}^{nn})}{B_{см}}, \quad (3)$$

где Γ_{ij}^{ex} – входящий грузооборот;

Γ_{ij}^{nn} – грузооборот переработанный по прямому варианту (минуя склад);

$B_{см}$ – норма выработки обслуживающего механизма на постах погрузки (разгрузки).

Формирование набора оптимальных решений рассматривается как задача многокритериальной оптимизации и решается методом Парето-оптимизации. Постановку задачи можно представить следующим образом [1]:

Задача. Пусть R – набор h решений:

$$R = \{R_h, h \in [1, H]\}. \quad (4)$$

Функционирование ТЛТ определяется набором следующих характеристик:

$$F(R) = \{f_k(R), k \in [1, K]\}, \quad (5)$$

где k – количество критериев (в нашем случае $K=3$).

Критериями оптимальности сценариев развития СЭС ТСР являются: затраты на переработку грузов – f_1 , резерв грузооборота склада – f_2 , количество задействованных постов – f_3 .

Требуется выбрать из множества допустимых значений R такие, которые

соответствуют оптимальным значениям всех целевых характеристик $\{f_k\}$:

$$f_k(R) \rightarrow \max, \text{ при } k \in [1, K]. \quad (6)$$

Решение R_1 , удовлетворяющее условиям (1)-(3), оптимально по Парето, если не существует другого – R_h , имеющего лучшие оценки, причем, хотя бы по одной из них, выполняется строгое неравенство:

$$f_k(R_h) \geq f_k(R_1), \text{ при } k \in [1, K]. \quad (7)$$

Решение данной задачи предлагается следующим образом [1]:

Шаг 1. Графическим способом отбираются Парето-оптимальные решения по критериям f_1 и f_3 .

Шаг 2. Полученные решения ранжируются по перерабатывающей способности для получения вариантов функционирования терминала при разной технической готовности.

Созданная трехуровневая модель управления ТЛТ позволит повысить эффективность работы современных многофункциональных транспортных комплексов, снизить затраты на переработку грузов на основе гибкого изменения представленных в данной работе показателей эффективности в зависимости от внутренних изменений и внешних воздействий на систему.

Представленные методические особенности управления ТЛТ позволят обеспечить изучение процессов и его свойств, а также оптимизировать логистические единицы посредством использования трехуровневой модели функционирования ТЛТ.

Библиографический список

1. Новичихин, А.В. Управление транспортно-логистическим терминалом на основе теории систем массового обслуживания / А.В. Новичихин, А.А. Рымкевич, И.А. Серебряков // Экономика и менеджмент систем управления. – 2018. – № 2.2 (28). – С. 283-288.
2. Тихомирова, А.Н. Математические модели и методы в логистике: Учебное пособие / А.Н. Тихомирова, Е.В. Сидоренко. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 320 с.
3. Кравчик, О.Н. К оптимизации работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / О.Н. Кравчик, А.В. Новичихин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Ч. III. Технические науки. – Новокузнецк, 2018. – С. 360-363.
4. Кузьмин, Е.А. Неопределенность и определенность в управлении организационно-экономическими системами / Е.А. Кузьмин. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2012. – 184 с.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА «ПЛЕЧЕВОЙ» СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ ДВУХЗВЕННОГО ПЛОСКОГО МАНИПУЛЯТОРА РОБОТА

Азенков А.А.

Научный руководитель: Белокопытов Р.Н.

*Липецкий государственный технический университет,
г. Липецк, e-mail: pgnlvsrcn@gmail.com*

Проводится исследование и разработка электромеханического следящего привода робота, производится выбор электродвигателя и редуктора, энергетический и тепловой расчеты.

Ключевые слова: манипулятор, робот, следящий привод, энергетический расчет, тепловой расчет.

Актуальность работы определяется перспективой широкого применения следящих приводов на базе электроприводов в роботах [1]. Привод робота, являясь составной частью его манипулятора, предназначен для преобразования подводимой энергии в энергию движения исполнительных звеньев манипуляционной системы и устройств передвижения робота в соответствии с сигналами, поступающими от системы управления [2]. Следящий привод построен на базе коллекторного двигателя постоянного тока. Исполнительная часть привода состоит из двигателя, механической передачи и силового преобразователя, работающего в режиме широтно-импульсной модуляции.

Произведен энергетический расчет [3], включающий в себя кинематический и силовой анализы манипуляционного механизма, оценку мощностей двигателей, определение требуемого передаточного отношения редукторов и проверку выполнения условий, необходимых для правильности выбора двигателя и редуктора. Результатом расчетов является выбор двигателей постоянного тока [4] фирмы ENGELMOTOR GNM 5480E и 4150A, а также редукторов марки HDUR с передаточными числами 100 и 80 для первого и второго звеньев соответственно.

В ходе теплового расчета установлено, что работа следящего привода производится без тепловой перегрузки.

Выбранные в результате энергетического расчёта двигателя и редукторы обеспечивают возможность движения манипулятора по заданным законам в режимах переброски и слежения.

На рисунке 1 приведена расчетная кинематическая схема манипуляционного механизма.

При проектировании учтены погрешности, обусловленные дискретностью датчиков, кинематическими погрешностями механических передач, действием внешних сил и динамическими свойствами следящей системы.

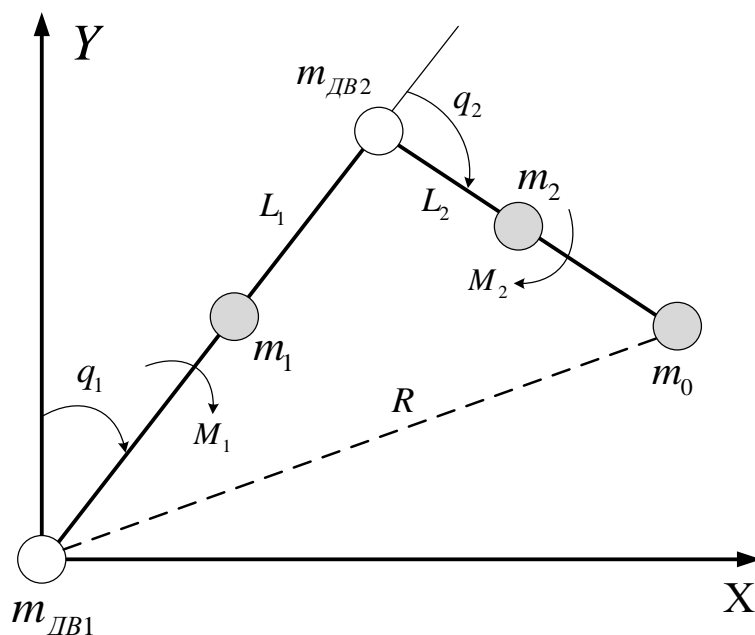


Рисунок 1 – Расчетная кинематическая схема манипуляционного механизма
Номинальные данные выбранных двигателей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Номинальные данные выбранных двигателей

Параметры двигателя	Первое звено	Второе звено
Номинальная мощность P_H , Вт	250	100
Номинальная частота вращения n_H , об/мин	3000	3000
Номинальное напряжение якоря U_H , В	24	24
Номинальный момент M_H , Нм	0,796	0,318
Номинальный ток якоря $I_{ЯН}$, А	12,9	5,5
Активное сопротивление якоря $R_Я$, Ом	0,106	0,4
Момент инерции ротора $J_{ДВ}$, кг · м ²	$0,37 \cdot 10^{-3}$	$0,0938 \cdot 10^{-3}$
Масса двигателя $m_{ДВ}$, кг	4,1	2,45

Установлены особые требования при аварийной остановке системы:

1. Необходимо установить электромагнитные тормозные устройства на каждом приводе для фиксации звеньев.

2. Датчики и контроллер с квадратурным счетчиком должны быть подключены к источнику бесперебойного питания.

3. Мехатронная система должна быть оснащена выпрямителем тока для работы двигателей постоянного тока от заводской трехфазной электрической сети с напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Таким образом, был произведен процесс проектирования электромеханического следящего привода исполнительной системы робота [5]. Элементы, выбранные в процессе проектирования, обеспечивают работоспособ-

ность электромеханического следящего привода при заданных параметрах.

Библиографический список

1. Трушко Е.В., Евсеев А.М., Белокопытов Р.Н. Антропоморфный роботизированный манипулятор с удаленным управлением: Материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. 2018. С. 155-157.
2. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: Учебное пособие. – Москва: Машиностроение, 2006. – 256 с.
3. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Манипуляционные системы роботов [Текст]; под ред. А. И. Корендясева. – Москва: Машиностроение. 1989. – 470 с.
4. Белокопытов Р.Н., Мещеряков В.Н. Математическая модель системы управления двигателем постоянного тока с помощью инвертора: Энергосбережение и эффективность в технических системах Материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбовский государственный технический университет. 2017. С. 84-85.
5. Волков Ю.П., Герасимов И.М., Ролле В.Е. Расчет следящего электропривода. Санкт-Петербургский государственный технический университет. 2002. – 38 с.

УДК 622.6

БЕЗОПАСНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛЁТОВ ВС ГА В ВЫСОКОГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Атажанов Д.Т.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Пуминова Г.С.

*Санкт-петербургский государственный университет
гражданской авиации,*

г. Санкт-Петербург, e-mail: dastanatazhanov@mail.ru; galipum@mail.ru

В коммерческих авиалиниях крайне важно, чтобы по возможности выполнялся самый короткий маршрут между двумя аэропортами. В тех случаях, когда этот маршрут связан с пролётом обширных территорий над высокогорной местностью, крайне важно, чтобы маршруты и процедуры облета (escape routes) были разработаны и использовались в случае, когда в чрезвычайной ситуации ВС потребуется снизиться ниже минимальной безопасной высоты препятствий (МОСА).

Ключевые слова: маршрут, местность, безопасная высота.

Во многих частях мира ВС летают над местностью, где минимальная безопасная высота пролета препятствий (МОСА) превышает 10000 футов. В

некоторых районах, при аварийной ситуации, относительно короткое время снижения до препятствий в горной местности приводит к необходимости разработки специальных маршрутов и процедур облёта (рисунок 1).

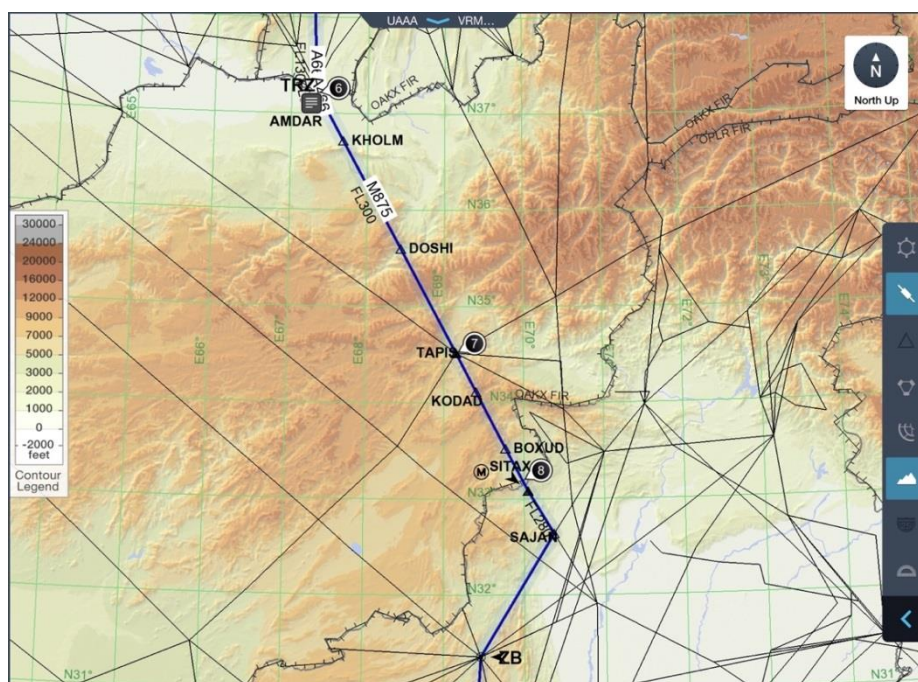


Рисунок 1 – Разработка специальных маршрутов и процедур облёта

К этим районам, например относятся Центральная Азия и Гималаи, где находятся очень высокие препятствия в горной местности. Обход этих зон воздушными судами может потенциально добавить сотни дополнительных миль к данному маршруту и привести к значительному увеличению времени полета и связанных с этим расходов. Это не желательно с коммерческой точки зрения. Чтобы удовлетворить коммерческую выгоду, при сохранении приемлемого уровня безопасности, операторы разработали маршруты облёта (escape routes) и связанные с ними процедуры для использования в случае чрезвычайной ситуации во время полета над горной местностью.

Угрозы

Основными угрозами безопасности полёта над высокогорной местностью являются те ситуации, которые приводят к необходимости немедленно начать аварийное снижение. Эти угрозы включают в себя:

- Отказ двигателя
- Разгерметизация
- Пожар

Анализ этих угроз в отношении возможностей конкретного типа ВС позволит определить, какой из них имеет наиболее критичный профиль полёта над горами. Это, в свою очередь определит, какие (если таковые имеются) ограничения должны применяться к маршруту полета.

Отказ двигателя

Отказ двигателя или аварийная ситуация, которая требует немедленного отключения двигателя, обычно приводит к необходимости снижения. Если потолок с одним двигателем для ожидаемого веса ВС, скорректированный в соответствии с фактическими условиями, превышает максимальную высоту местности, маршрут не ограничивается эксплуатационными характеристиками. Если, с другой стороны, ВС не может сохранять высоту на уровне или выше МОСА с одним неработающим двигателем, максимальная высота должна быть ограничена расстоянием, на которое самолет может пролететь, используя drift down до снижения ниже минимальной безопасной высоты.

Разгерметизация

В случае разгерметизации, стандартная процедура состоит в том, чтобы начать аварийное снижение до высоты 10 000 футов или на минимальную безопасную высоту на маршруте (MEA). Если MEA с поправкой на фактические условия превышает 14 000 футов, то продолжение снижения до МОСА будет разумным. Если МОСА также превышает 14 000 футов, маршрут полета будет ограничен возможностью кислородного оборудования. Кислородное оборудование для летного экипажа редко ограничивается, однако, кислород для пассажира, когда он производится химическими генераторами, доступен только в течение ограниченного периода времени. Это время зависит от мощности генераторов, которые были установлены на конкретном воздушном судне. Правила требуют минимальной подачи кислорода пассажиру в течение 10 минут.

Длительность работы большинства химических генераторов составляет от 12 до 20 минут, в зависимости от типа.

Для полетов над высокогорной местностью, запланированный маршрут должен обеспечивать возможность аварийного снижения до 14 000 футов или ниже до истощения пассажирских генераторов кислорода. Это снижение должно произойти при следовании по заранее спланированному маршруту (escape route), который также должен позволять дальнейшее снижение до уровня ниже 10000 футов в течение 30 минут после окончания кислорода. В этих обстоятельствах снижение должно быть быстрым, основанным на безопасных высотах для конкретного нижележащего сегмента escape route, и будет выполняться с максимальной путевой скоростью относительно земли. Расстояние, которое может быть достигнуто до 14 000 футов в момент окончания кислорода, определяет пределы для запланированного escape route.

Пожар

Сам по себе пожар не ограничивает высоту полёта ВС. Однако, как часть процедуры пожаротушения / удаления дыма, может потребоваться разгерметизация самолёта. Желательно минимальное время полёта и профиль снижения, который позволит быстро снизиться до уровня 10000 футов.

Безопасные высоты

Информация о безопасных высотах может быть получена из различных источников:

- В случае следования по маршруту OBD, минимальная безопасная высота по маршруту (MEA) и, возможно, (MOCA) будут указаны на соответствующей карте маршрута.

- Для полетов вне маршрута, карты правил полетов по приборам (IFR) перекрываются сеткой, указывающей минимальную высоту вне маршрута (MORA). Grid MORA обычно представлена в квадратах размером 1 градус на 1 градус, а минимальная высота для каждого квадрата указывается в футах, а последние две цифры не указаны. В качестве примера, MORA в 12500 'будет показано как 125. В большинстве частей мира MORA будет обеспечивать расстояние в 1000' над самой высокой точкой в квадрате сетки, когда высота местности составляет 5000 'или менее. Если высота ландшафта превышает 5000 футов, MORA обеспечивает высоту в 2000 футов выше самой высокой точки в квадрате.

- Поскольку MORA предоставляет одну высоту для квадрата сетки, топографические карты могут использоваться для уточнения минимальной безопасной высоты при разработке escape route.

- Другие источники информации о безопасной высоте включают в себя информацию о минимальной безопасной высоте сектора (MSA) и абсолютных высот, опубликованных на картах захода на посадку.

Маршруты облёта (escape routes)

Escape routes разрабатываются на основе более критического сценария отказа двигателя или разгерметизации. В большинстве реактивных транспортных самолетов случай разгерметизации будет определять требования к escape routes. В любом случае минимум безопасной эксплуатации определяется критериями, представленными ранее под заголовками «Отказ двигателя» и «Разгерметизация».

Для полётов, которые требуют запланированного escape route, для экипажа должна быть предоставлена или разработана следующая информация:

- Минимальная безопасная высота маршрута. Это минимальная высота, которая обеспечивает безопасный полет над препятствиями в любой точке всего маршрута.

- Сегмент маршрута. В зависимости от длины той части маршрута полета над горной местностью может возникнуть необходимость разделить маршрут на части или сегменты. В этом случае каждый сегмент будет иметь свое собственное escape fix (пункт- начало escape route)

- Escape fix это пункт - начало escape route, заранее определенная начальная точка маршрута обхода (escape route) для определенного сегмента маршрута полета. Где это возможно, этот пункт должен быть наземным навигационным средством, но во многих случаях будет использоваться точка с координатами, сохранённая в FMS. Минимальная высота пересечения для escape fix будет опубликована как часть вертикального профиля. Эта высота будет безопасной в пределах применимого сегмента маршрута между любой точкой маршрута и escape fix.

- Escape route это маршрут обхода и снижения - определяет путь, по которому следует пролететь в случае чрезвычайной ситуации. Он начинается в месте escape fix и заканчивается либо на аэродроме для аварийной посадки, либо когда МОСА составляет 10 000 'или ниже. Помимо горизонтальной направляющей, escape route также определяет соответствующий вертикальный профиль. Этот профиль должен гарантировать, что высота 14 000 ' может быть безопасно достигнута до окончания аварийной подачи кислорода и что дальнейшее снижение до 10000 'или ниже происходит в течение 30 минут после окончания подачи кислорода.

Вертикальный профиль

В случае отказа двигателя, экипаж повернет к Escape Fix, одновременно выполняя процедуру drift down. Это достигается путем выбора максимальной продолжительной тяги на работающем двигателе, отсоединения автомата тяги, если он установлен, и замедления до наилучшей скорости набора высоты в горизонтальном полете. Как только эта скорость будет достигнута, начнется снижение при сохранении максимальной продолжительной тяги.

В случае разгерметизации, экипаж наденет кислородные маски, повернет к месту Escape Fix и начнет экстренное снижение до заранее установленной минимальной высоты маршрута. После этого можно проверить высоту пересечения места Escape fix и продолжить снижение в соответствии с заданным вертикальным профилем (рисунок 2).

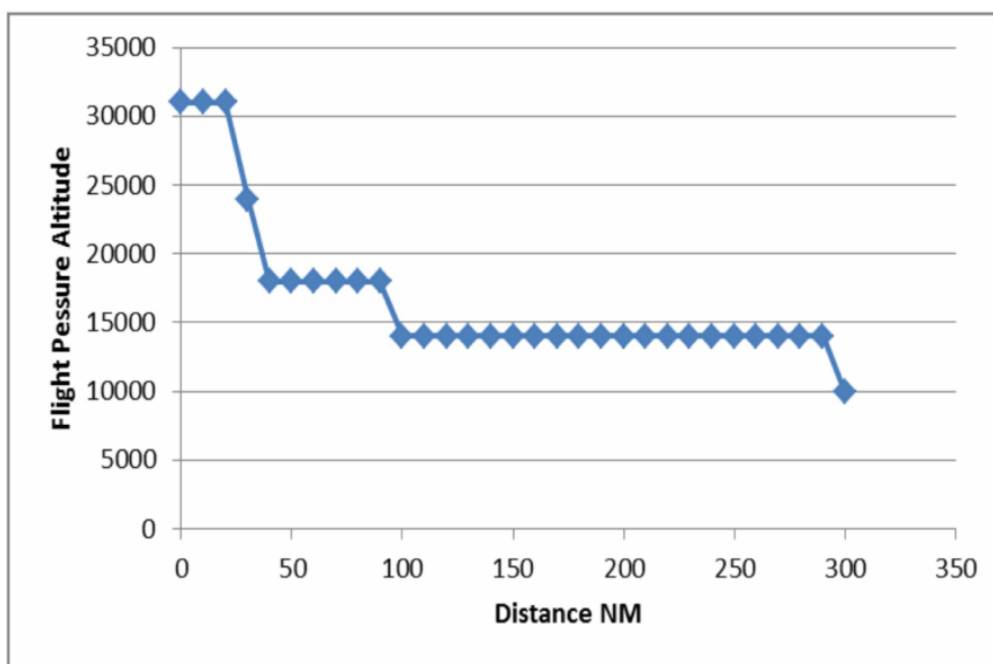


Рисунок 2 - Снижение до минимальной высоты маршрута с дальнейшим снижением до высоты Escape Fix

В случае пожара, экипаж наденет кислородные маски, повернет к Escape fix и разгонится до максимальной поступательной скорости. Первоначальное снижение будет осуществляться до минимальной высоты маршрута с дальнейшим снижением до высоты Escape Fix, как только это будет подтверждено. После пересечения Escape Fix можно продолжать снижаться по вертикальному профилю Escape route

Во всех случаях FMS должен обновляться, чтобы Escape route находился в активном плане полета. После пересечения Escape Fix, пилоты должны следовать горизонтальному профилю Escape route.

В случае разгерметизации вертикальный профиль также должен соблюдаться, чтобы обеспечить пассажиров кислородом. Если Escape route выполняется из-за потери двигателя, вертикальный профиль будет на усмотрение экипажа при условии, что минимальные высоты не будут нарушены.

Использование автопилота

Чтобы быть эффективными, процедуры Escape route должны быть выполнены немедленно в случае отказа двигателя или разгерметизации. Для достижения этого экипаж должен знать текущее местоположение Escape Fix, соответствующее направление разворота, которое должно быть сделано в случае аварийной ситуации, и первоначальную безопасную высоту для аварийного снижения. Схемы Escape route и связанные с ними профили снижения должны быть немедленно доступны и по возможности, должны быть, предварительно запрограммированы в FMS.

Большинство производителей и операторов рекомендуют использовать автопилот как для аварийного снижения, так и для процедуры drift down. Надлежащее использование автопилота снижает нагрузку на экипаж и позволяет сосредоточиться на точном выполнении профиля Escape route. Это также позволяет им лучше управлять второстепенными задачами, такими как выполнение контрольных листов и координация с УВД, а также предоставление времени для рассмотрения последствий чрезвычайной ситуации. Это особенно актуально во время аварийного снижения из-за разгерметизации или в случае пожара на борту, поскольку экипаж будет находиться в кислородных масках.

На примере рассмотрен участок маршрута над Афганистаном, который используют многие авиакомпании мира. Если ВС следует в южном направлении и при необходимости аварийного снижения:

1 до точки NRP01 необходимо выполнить правый разворот на 180 и по маршруту M875 до точки DOSHI снижаться до высоты 19000 футов, затем от DOSHI и 100NM TAPIS снижаться 16000 футов, следующие 20 миль снижаться до 13000 футов. После точки KNOLM безопасная высота ниже 10000 футов т.е. можно следовать на запасной аэродром.

Далее рассмотрены варианты при необходимости экстренного снижения после этой точки в южном направлении.

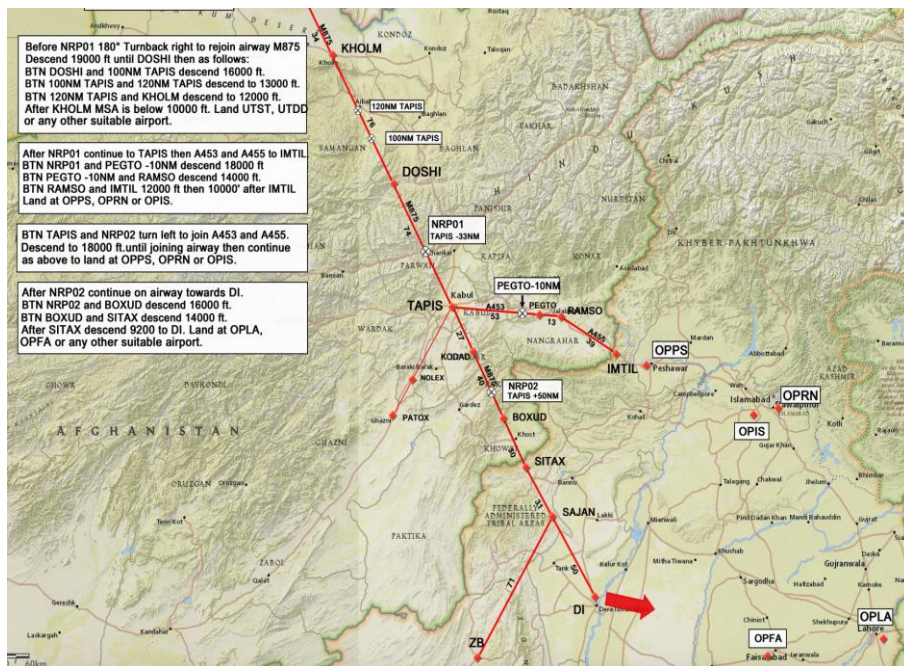


Рисунок 3 - Варианты экстренного снижения

Библиографический список

1. Электронный ресурс.- Режим доступа: Operations manual part C.
2. Электронный ресурс.- Режим доступа: Flight crew ops manual FCOM A-320.
3. Электронный ресурс.- Режим доступа: JeppFD-Pro (Jeppesen charts).
4. Электронный ресурс.- Режим доступа: www.icao.int/documents/annexes_booklet.pdf.
5. Электронный ресурс.- Режим доступа: www.skybrary.aero.

УДК 629.3

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ «СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ АВТОМОБИЛЕЙ»

Хрусталев А.И.

Научный руководитель: Почетуха В.В.

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

Создание новых лабораторий и введение их в эксплуатацию сопряжено с определенными трудностями: чаще всего связано с недостаточным финансированием и дороговизной оборудования, которым предполагается оснастить лабораторию.

Вследствие этого наиболее рациональным вариантом решения этих задач является разработка самостоятельных проектов по созданию обучающих лабораторных установок и различных стендов.

Ключевые слова: силовые агрегаты, эксплуатационные материалы автомобилей, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), стенд, цилиндр, поршень, обкатка, нагрузка, ремонт.

В связи с началом подготовки в 2012 году бакалавров по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» по профилю «Автомобили и автомобильное хозяйство» возникла необходимость создания соответствующей лабораторной базы на кафедре транспорта и логистики. Так на базе аудитории 132аг был разработан нами проект учебной лаборатории «Силовые агрегаты и эксплуатационные материалы автомобилей». В настоящее время он успешно реализуется.

Лаборатория по окончанию проекта будет содержать оборудование по изучению деталей и узлов двигателей внутреннего сгорания, силовых агрегатов автомобилей, стенды для проведения лабораторных работ по изучению конструктивных особенностей автомобилей. В перечень оборудования входят: стенд обкатки двигателя, лабораторный стенд «Действующий двигатель ВАЗ-2118», кантователь для двигателя грузоподъемностью 340 кг Т63001, лабораторный стенд-тренажер "Система стартерного пуска автомобиля", стенд-тренажер (разборка-сборка) «Дизельный ДВС», верстак слесарный, эксплуатационные жидкости (ГСМ).

Целью создания лаборатории является:

- совмещение практических, теоретических и лабораторных работ в процессе изучения особенностей конструкции силовых агрегатов автомобилей на базе одной лаборатории для наилучшего закрепления материала;

- обучение студентов методам, приемам и средствам выполнения контрольно-диагностических и регулировочных работ при техническом обслуживании силовых агрегатов автомобилей, а также ознакомления с наименованием, марками и характеристиками эксплуатационных жидкостей.

На первом этапе проекта была разработана планировка лаборатории силовых агрегатов и эксплуатационных материалов [1].

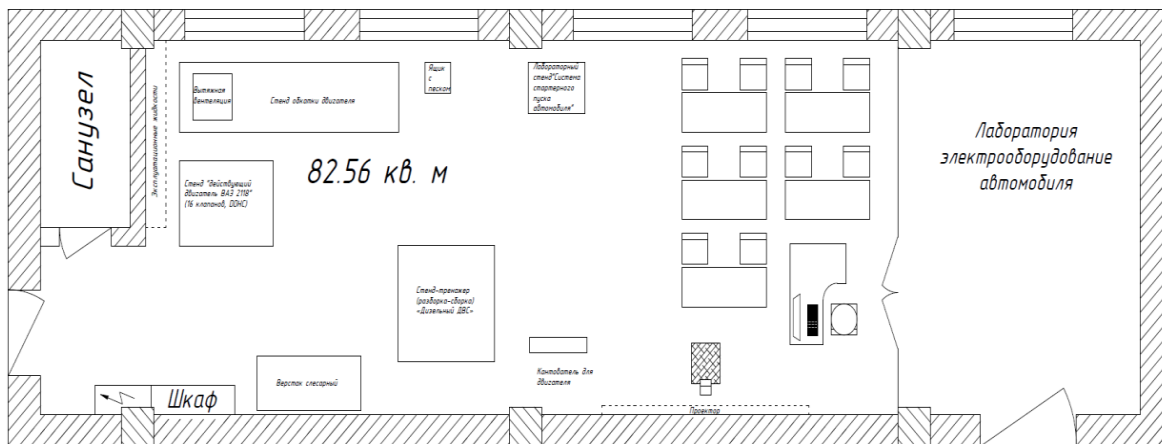
Планировочный чертеж - это горизонтальный разрез на высоте 1200 мм от нулевой отметки уровня пола лаборатории, на планировочном чертеже показано размещение основных помещений, их конфигурации, а также мебель и оборудование, что попадает в плоскость сечения.

На данном чертеже показана учебная зона и зона проведения практических и лабораторных работ на эксплуатационно-диагностических стендах по изучению силовых агрегатов, электрооборудования и эксплуатационных жидкостей.

Помещение имеет 10 окон, общей площадью остекления 11 кв.м:

- количество дверей – 4 шт, размер 1.3×2м;

- высота помещения 3,5 м;
- стены выполнены из кирпича;
- потолок подвесной из пористого гипсокартона;
- полы – покрыты плиткой;
- стены покрашенные водно-дисперсной краской.

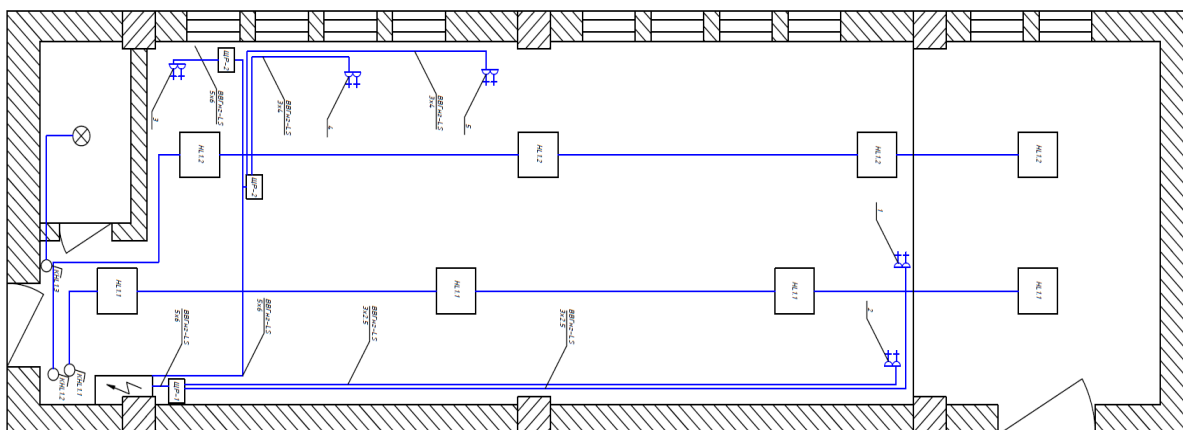


Условные обозначения: ⚡ - шкаф распределительный; ▣ - проектор; □ - стол; □ - стул

Размеры помещения 4.8×17.20 м, общая площадь 82.56 кв.м;

Рисунок 1- Планировочный чертеж лаборатории 132аг «Студент»

Кроме планировки была разработана схема инженерных систем, коммуникаций и электрооборудования. Ниже приводится схема электропитания лаборатории (рисунок 2).



Светильники потолочные 595×595×40 40W 3600Лм 8 штук.

- 1 - компьютеры и оргтехника, P = 1500 Вт, U = 220 В (переменный ток)
- 2 - компьютеры и оргтехника, P = 1500 Вт, U = 220 В (переменный ток)
- 3 - оборудование и стенды, P = 24 кВт, U = 380 В (переменный ток)
- 4 - оборудование и стенды, P = 2000 Вт, U = 220 В (переменный ток)
- 5 - оборудование и стенды, P = 2000 Вт, U = 220 В (переменный ток)

Рисунок 2- Схема электропитания лаборатории 132аг «Студент»

Учебные занятия, которые проводятся на базе этой лаборатории по следующим дисциплинам: «Автомобильные двигатели», «Особенности технической эксплуатации, диагностики и ремонта», «Средства диагностирования ТиТТМО, системы регулирования работы двигателя, диагностика их параметров», «Техническое обслуживание и диагностика электрических систем», «Электрооборудование автомобиля», «Типаж и устройство транспортных средств», «Эксплуатационные материалы».

Предполагаемое оборудование, которое планируется разместить в лаборатории, приводится ниже в таблице 1.

Большая часть данного оборудования разрабатывается в студенческих проектных работах.

Нами разработан проект стенда обкатки двигателя. Стендовая обкатка включает в себя холодную обкатку, обкатку на холостом ходу и горячую обкатку (обкатку под нагрузкой) [2].

Данная установка позволяет изучать различные режимы работы двигателя в лабораторных условиях, моделировать неисправности, поиск вариантов их устранения без установки двигателя на автомобиль и проведения натурных испытаний. Эти испытания, как правило, дорогие и трудозатратные [3].

Таблица 1 - Перечень оборудования лаборатории

№	Наименование оборудования	Год выпуска	Ауд.	Область применения оборудования
1.	Стенд обкатки двигателя	2016	132аГ	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
2.	Лабораторный стенд «Действующий двигатель ВАЗ-2118»	2016	132а Г	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
3.	Кантователь для двигателя АЕ&Т 340 кг Т63001	2016	132а Г	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
4.	Лабораторный стенд-тренажер "Система стартерного пуска автомобиля"	2016	132а Г	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
5.	Стенд-тренажер (разборка-сборка) «Дизельный ДВС»	2016	132а Г	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
6.	Верстак слесарный	1975	132а Г	Учебный процесс, лабораторные работы
7.	Вытяжная вентиляция	2016	132а Г	Вытяжка выхлопных газов
8.	Эксплуатационные материалы		132а Г	Учебный процесс
9.	Проектор Epson EB-460i LCD	2010	132а Г	Учебный процесс, научные работы, проведение семинаров, защита дипломных проектов
10.	Комп. ASUS P5QL AM/ мон. LG"19/ Intel Core2Duo/ DDRII DIMM 2Gbх2/500Gb/ DVD RW/MIDI Tower ATX/ 1024Mb PCI-E/ ИБП800/кл./мышь	2010	132а Г	Учебный процесс, научные работы, хоз. договорные работы

После выполнения проектных и ремонтных работ, оснащения лаборатории необходимым оборудованием, составляется паспорт лаборатории [4].

Паспорт лаборатории представляет совокупность формализованных документов, в которых приводится систематизированная информация о лаборатории, претендующей на получение аккредитации.

В целом решение вышеперечисленных проблем осуществляется на кафедре транспорта и логистики при запуске в эксплуатацию лаборатории на базе аудитории 132аг «Силовые агрегаты и эксплуатационные материалы автомобилей».

Библиографический список

1. Масуев М.А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта : учебное пособие для вузов / М.А. Масуев. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2009. – 220 с. : ил. – (Высшее профессиональное образование: Транспорт).

2. Орлина А. С., Круглова М. Г. Энергетические установки: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности "Двигатели внутреннего сгорания"– 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986 г. – 352 с.: ил.

3. Б.Н. Вардашкин. Станочные приспособления: Справочник в 2-х т./ - М.: Машиностроение, 1984. – Т.2/ Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского, 1984. – 656 с.

4. Графкина, М.В. Охрана труда и основы экологической безопасности: Автомобильный транспорт: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / М.В. Графкина. Автомобильный транс. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 192 с.

УДК 629.3

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ШАССИ И ТРАНСМИССИЯ АВТОМОБИЛЕЙ»

Андреев К.А.

Научный руководитель: Почетуха В.В.

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

Создание новых лабораторий и введение их в эксплуатацию сопряжено с определенными трудностями: чаще всего связано с недостаточным финансированием и дороговизной оборудования, которым предполагается оснастить лабораторию.

Вследствие этого наиболее рациональным вариантом решения этих задач является разработка самостоятельных проектов по созданию обучающих лабораторных установок и различных стендов.

Ключевые слова: силовые агрегаты, эксплуатационные материалы автомобилей, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), стенд, цилиндр, поршень, обкатка, нагрузка, ремонт.

В связи с началом подготовки в 2012 году бакалавров по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» по профилю «Автомобили и автомобильное хозяйство» возникла необходимость создания соответствующей лабораторной базы на кафедре транспорта и логистики. Так на базе аудитории 101М был разработан нами проект учебной лаборатории «Шасси и трансмиссия автомобилей». В настоящее время он успешно реализуется.

Лаборатория по окончании проекта будет содержать оборудование по изучению шасси и трансмиссии легковых и грузовых автомобилей, силовых агрегатов автомобилей, стенды для проведения лабораторных работ по изучению конструктивных особенностей автомобилей. В перечень оборудования лаборатории входят: эстакада для ремонта и диагностики ВАЗ 2106; стенд регулировки развал – схождения; вибрационный стенд; кантователь коробки передач, заднего моста, главной передачи грузоподъемностью 340 кг Т63001; тормозной стенд; верстак слесарный; стенд проверки света фар; балансировочный стенд; стенд шиномонтажа; интерактивный экран; аудиторная зона обучения.

Целью создания лаборатории является:

- совмещение практических, теоретических и лабораторных работ в процессе изучения особенностей конструкции шасси, трансмиссии, ходовой части и элементов электрооборудования автомобилей на базе одной лаборатории для наилучшего закрепления материала;

- обучение студентов методам, приёмам и средствам выполнения контрольно-диагностических и регулировочных работ при техническом обслуживании шасси, трансмиссии, ходовой части, электрооборудования автомобилей, а также ознакомление с наименованием, марками и характеристиками эксплуатационно-диагностических стендов.

На первом этапе проекта была разработана планировка лаборатории «Шасси и трансмиссия автомобилей» [1].

Планировочный чертеж - это горизонтальный разрез на высоте 1200 мм от нулевой отметки уровня пола лаборатории, на планировочном чертеже показано размещение основных помещений, их конфигурации, а также мебель и оборудование, что попадает в плоскость сечения.

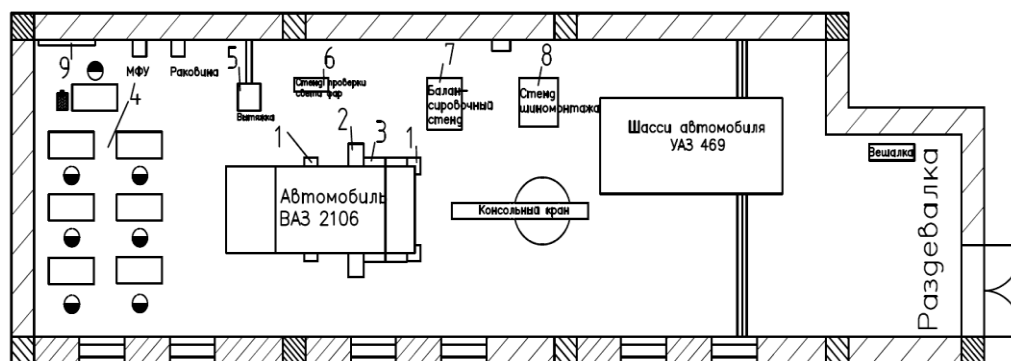
На данном чертеже показана учебная зона и зона проведения практических и лабораторных работ на эксплуатационно-диагностических стендах и эстакаде.

Размеры помещения 6×18 м, общая площадь 108 кв.м;

Помещение имеет 6 окон, общей площадью остекления 9,6 кв.м:

- количество дверей – 1 шт, размер 1.6×2м;

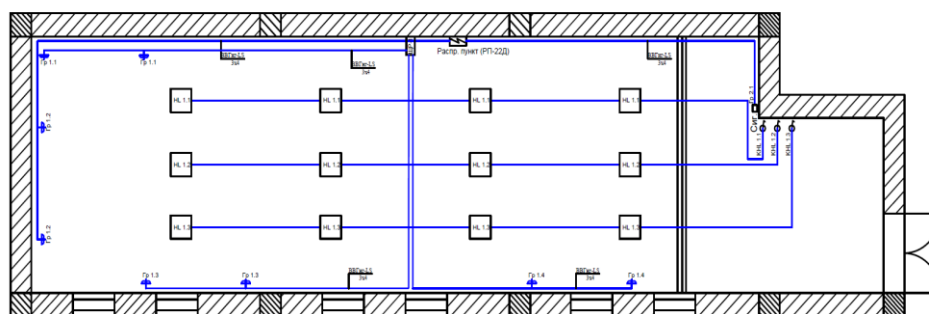
- высота помещения 3,5 м;
- стены выполнены из кирпича;
- потолок подвесной из пористого гипсокартона;
- полы – покрыты плиткой;
- стены облицованы гипсокартонном и покрашены водно-дисперсной краской.



- Условные обозначения: 1 – стенд регулировки развал - схождения;
 2 – вибрационный стенд; 3 – тормозной стенд; 4 – аудиторная зона обучения;
 5 – зонд вентиляционный; 6 – стенд проверки света фар; 7 – балансировочный стенд;
 8 – стенд шиномонтажа; 9 – интерактивный экран; автомобиль ВАЗ2106; шасси автомобиля УАЗ 469 на эстакаде

Рисунок 1- Планировочный чертеж лаборатории 101м

Кроме планировки была разработана схема инженерных систем, коммуникаций и электрооборудования. Ниже приводится схема электропитания лаборатории.



- Светильники потолочные 595×595×40 40W 3600Лм 8 штук.
 1- компьютеры и оргтехника, P = 1500 Вт, U = 220 В (переменный ток)
 2- оборудование и стенды, P = 24 кВт, U = 380 В (переменный ток)
 3 - оборудование и стенды, P = 4000 Вт, U = 220 В (переменный ток)

Рисунок 2- Схема электропитания лаборатории 101М

Учебные занятия, которые проводятся на базе этой лаборатории по следующим дисциплинам: «Автомобили», «Шасси и трансмиссия автомобилей»,

«Особенности технической эксплуатации, диагностики и ремонта», «Техническое обслуживание и диагностика ходовой части автомобиля», «Техническое обслуживание и диагностика электрических систем», «Электрооборудование автомобиля», «Типаж и устройство транспортных средств».

Предполагаемое оборудование, которое планируется разместить в лаборатории, приводится ниже в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень оборудования лаборатории

№	Наименование оборудования	Год выпуска	Ауд.	Область применения оборудования
1.	Автомобиль ВАЗ 2106	2000	101М	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
2.	Рама автомобиля УАЗ 469	2016	101М	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
3.	Тормозной стенд	2016	101М	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
4.	Вибрационный стенд	2016	101М	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
5.	Стенд для проверки освещенности фар	2016	101М	Учебный процесс, научные работы, лабораторные работы
6.	Стенд шиномонтажа Unite U-200	1975	101М	Учебный процесс, лабораторные работы
7.	Балансировочный стенд 24" Сорочкин 15.21	2016	101М	Вытяжка выхлопных газов
8.	МФУ HP LaserJet Pro		101М	Учебный процесс
9.	Проектор Epson EB-460i LCD	2010	101М	Учебный процесс, научные работы, проведение семинаров, защита дипломных проектов
10.	Комп. ASUS P5QL AM/мон. LG"19/ Intel Core2Duo/ DDRII DIMM 2Gbx2/500Gb/ DVD RW/MIDITowerATX/ 1024Mb PCI-E/ ИБП800/кл./мышь	2010	101М	Учебный процесс, научные работы, хоз. договорные работы

Большая часть данного оборудования разрабатывается в студенческих проектных работах.

Нами разработаны проекты роликового тормозного стенда, эстакады и вибрационного стенда [2].

Роликовые тормозные стенды используются для проверки эффективности работы тормозных систем легкового и грузового транспорта. Позволяют определять усилия и эффективность торможения, а также разницу усилий между левым и правым колесами автомобиля [4].

Стенды в основном оснащены роликовыми валами с покрытием(или насечкой), имитирующим сцепление колеса с асфальтным покрытием, аналоговым или цифровым табло для отображения результатов испытания, компьютерным управлением.

Данная установка позволяет изучать различные режимы работы двигателя в лабораторных условиях, моделировать неисправности, поиск вариантов их устранения без установки двигателя на автомобиль и проведения натурных испытаний. Эти испытания, как правило, дорогие и трудозатратные.

Вибрационный стенд служит для создания искусственных колебаний и вибраций механизмов подвески и различных устройств автомобиля. Амплитуду и частоту колебаний платформы стенда, на которую установлено колесо, можно плавно изменять в определённом диапазоне, в некоторых случаях автоматическим программным устройством. В процессе работе вибрационного стенда определяются посторонние стуки, шумы в работе подвески, а также наличие недопустимых зазоров в узлах и механизмах машины [5].

Эстакада служит для удобного размещения автомобиля в процессе ремонта и обслуживания его подвески и ходовой части. Она позволяет механику стоя осуществлять осмотр и ремонт автомобиля, не используя яму и подъемник [2].

После выполнения проектных и ремонтных работ, оснащения лаборатории необходимым оборудованием, составляется паспорт лаборатории.

Паспорт лаборатории представляет совокупность формализованных документов, в которых приводится систематизированная информация о лаборатории, претендующей на получение аккредитации [3].

В целом осуществление данных проектов происходит на кафедре транспорта и логистики при запуске в эксплуатацию лаборатории на базе аудитории 101М «Шасси и трансмиссия автомобилей».

Библиографический список

1. Масуев М.А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учебное пособие для вузов / М.А. Масуев. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2009. – 220 с.: ил. – (Высшее профессиональное образование: Транспорт).
2. Власов В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебник, /В.М. Власов, 2-е изд. – М.: «Академия», 2004.
3. Графкина М.В. Охрана труда и основы экологической безопасности:

Автомобильный транспорт: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / М.В. Графкина. Автомобильный транс. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 192 с.

4. Автомобили. Конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть. Под. ред. Гришкевича А.И. - Минск, "Высшая школа" 1987. - 200с.

5. Раймпель И. Шасси автомобиля. Элементы подвески. /И. Раймпель - М.: Машиностроение, 1987. - 282с.

УДК 656.05

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

Коваль М.Н.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Паршуков А.Н.

*Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, e-mail: nanana863019@gmail.com*

Управление и организация дорожного движения - это отрасль научно-технической деятельности, которая развивается довольно давно: от регулировщика и ручного светофора до интеллектуальных транспортных систем и «умных городов».

Ключевые слова: транспорт, организация, дорожное движение, автоматизация, управление

Светофорное регулирование дорожного движения

В современных автоматизированных системах управления дорожным движением широко используется информация от видеокамер, входящих в состав подсистем видеоконтроля. Полученная от них информация позволяет организовать оптимальное управление транспортными потоками, скоординировать работу ключевых транспортных узлов города, проводить анализ различных закономерностей при определенных управляющих воздействиях. Преимуществом систем видеоконтроля является сочетание числовой и визуальной информации, которая радикально отличает их от других систем наблюдения.

Системы видеоконтроля, ориентированные на транспорт, предоставляют данные трех типов:

1) информация о трафике для статистической обработки:

- общее число обнаруженных автомобилей;
- скорость;
- ускорение транспортного потока;
- плотность потока;
- занятость полос движения;
- классификация автомобилей;

2) информация о происшествиях на дороге:

- высокая скорость, плотность потока или занятость полос;
- наличие заторов или движения по встречной полосе;
- остановившиеся или медленно движущиеся автомобили;
- наличие на дороге подозрительных предметов;

3) информация о наличии/отсутствии автомобилей:

- наличие приближающихся автомобилей;
- наличие автомобилей, остановившихся на перекрестке;
- число автомобилей, проехавших через зоны обнаружения;
- измерение длины очереди.

По опыту зарубежных стран последний тип информации широко применяется в системах управления светофорами.[2]

Бессветофорная организация дорожного движения

Бессветофорное движение - концепция организации дорожного движения, основанная на том, что на некоторых видах перекрестков (Т-образный перекресток с односторонней главной дорогой и двусторонней второстепенной, Y-образный с круговым движением) для безопасного разъезда автомобилей не требуется светофор (траектории транспортных средства пересекаются исключительно во время перестроения).

При подобной организации движения пешеходы пропускаются с помощью подземных переходов или вызывных светофоров.

Решение вопроса организации бессветофорного движения городских дорожно-транспортных средств в двухмерном пространстве в рамках действующих норм и правил упирается в обеспечение условий, при которых траектории непрерывно движущихся объектов могут пересекаться только при их перестроении. Этот способ актуален не только для строящихся и быстро развивающихся городов, но может также с успехом применяться для оптимизации дорожного движения крупных городов.

Способы информирования участников дорожного движения

Наряду с методами организации архитектуры дорожно-транспортной сети и технологиями интеллектуального регулирования дорожного движения не последнюю роль в борьбе с основными проблемами перегруженной транспортной инфраструктуры играют методы информирования участников дорожного движения о текущей ситуации на дорогах. Они позволяют водителям принимать более взвешенные решения при выборе маршрута, что в целом положительно влияет на равномерность распределения нагрузки на транспортную сеть.

Информирование участников дорожного движения о дорожной ситуации вполне успешно работает во многих странах. При перегрузке основных улиц предоставляются сведения об объездных маршрутах, в том числе доступна информация о парковках, разрешенных направлениях движения, где также могут быть указаны названия районов и улиц. Передающими информацию элементами служат многопозиционные дорожные знаки, световые табло с обновляемой информацией, а также специальные видео- и радиоканалы.

На данный момент уже существуют технологии, которые позволяют объединять транспортные средства в единую сеть, используя встроенные в них компьютерные чипы. Созданы специальные радары и приборы радиопредупреждения, которые помогают избежать столкновения на дороге. В процессе внедрения - технологии, позволяющие блокировать запуск двигателя автомобиля, в случае если водитель находится в состоянии алкогольного или иного опьянения. Спутниковые технологии, разнообразные навигационные системы и системы определения местонахождения транспортного средства становятся обычным явлением, помогая водителю находить дорогу в незнакомом городе или вызывать помощь простым нажатием кнопки. Широкое распространение получают устройства, автоматически уведомляющие экстренные службы в случае срабатывания подушек безопасности, угона транспортного средства и т. д.

Одной из проблем, которую решает организация и регулирование дорожного движения, являются пробки на дорогах.

Проблема пробок остро стоит во многих странах мира и попытки ее разрешить многочисленны и разнообразны.[1]

Во многих странах Европы и Японии созданы системы, которые следят за состоянием дорог и передают информацию об их загруженности непосредственно на приборную доску автомобиля. Располагая такими сведениями, водитель может видеть проблемные участки и предпринимать действия по их объезду.

Английская фирма IT IS экспериментирует с системой определения загруженности дороги по сигналам сотовых телефонов. В настоящее время практически каждый человек имеет как минимум один мобильный телефон. А операторы сотовой связи всегда следят за местонахождением мобильных устройств, тем самым могут предоставлять информацию по концентрации аппаратов в том или ином месте, что, в свою очередь, дает потенциальную возможность отслеживать интенсивность, плотность и другие характеристики транспортных потоков. Таким образом, с решением проблемы отсеивания мобильных устройств, которые принадлежат велосипедистам и пешеходам, получится система, предоставляющая вполне достоверные данные об интенсивности движения в определенных районах, без необходимости оборудовать дороги дорогостоящими датчиками, которые бы определяли параметры транспортных потоков города.

Библиографический список

1. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / под ред. А.В. Гасникова. - М. : МФТИ, 2010.
2. АСУД и светофоры. –Электронный ресурс.- Режим доступа: http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment.
3. Логиновский, О.В. Оптимальное развитие системы пересечений магистралей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ МЕЛКИХ КЛАССОВ УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

Скрипко А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Бойко Д.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Рассматривается гравитационный метод для сухого обогащения мелких фракций углей с помощью двух параллельно установленных циклонов, для дополнительного разделения входящего материала по зольности.

Ключевые слова: пневмовакуумная сепарация, сухое обогащение, воздушный поток, УПВС.

Рассмотрено обогащение мелкого класса угля крупностью 0-13мм.

Актуальность проблемы

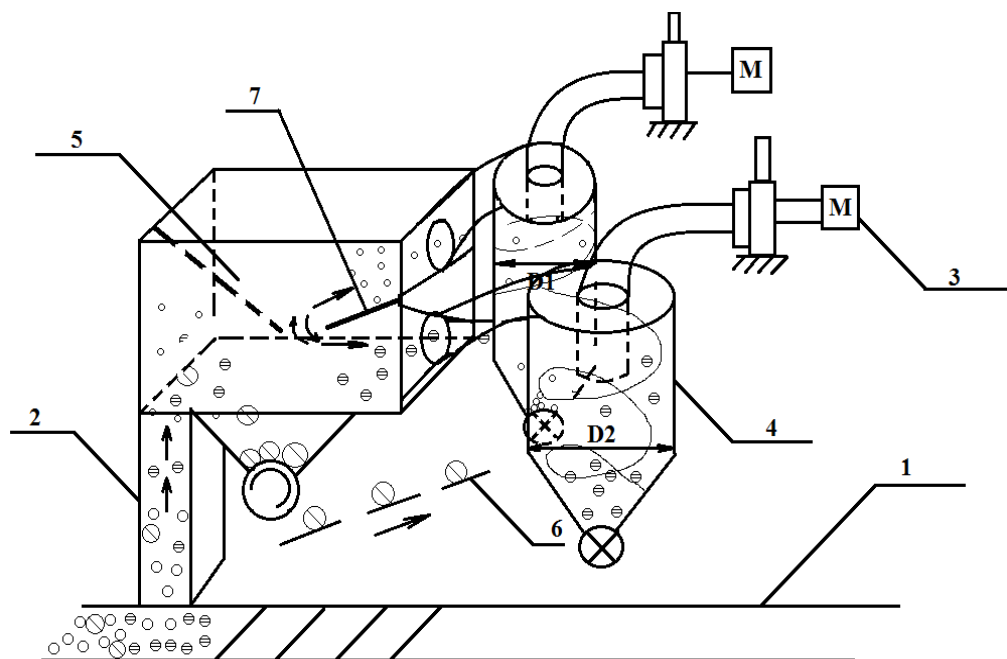
В настоящее время принято считать, что уголь высокого качества не должен содержать более 12 % золы. Очевидно, что с уменьшением крупности разделяемой фракции процентное содержание золы возрастает, и, таким образом, всегда имеется некая “критическая” фракция, ниже которой разделение с целью получения угля экспортного качества нецелесообразно, т.к. процентное содержание золы во фракциях мельче “критической” исходно превышает 12 % (или иной процент установленный для угля высокого качества в данной стране)

Эффективным путем повышения технико-экономических показателей является использование метода воздушной сепарации. Данный метод имеет ряд преимуществ таких как: снижение энергозатрат, уменьшение расхода технической воды, снижение материалоемкости, резкое снижения трудозатрат.

Гравитационный метод сухого обогащения заключается в следующем: в процессе пневмовакуумной сепарации разделение материала, находящегося на перфорированной рабочей поверхности установки (см. рис. 1) происходит под влиянием воздушных потоков либо под действием воздушного потока и одновременного механического перемешивания. При этом происходит разрыхление и расслаивание материала по плотности и по крупности зерен. Деление материала осуществляется путём перемещения слоёв материала по рабочей поверхности машины в одном или различных направлениях.

В процессе обогащения мелких фракций угля для получения дополнительных концентратных фракций необходимо дополнительно разделить входящие потоки по зольности. Внутри осадительной камеры после перегиба, в результате изменения потока направления, в силу разного воздействия гравитационного поля, воздушный поток поделен, фракции распределены, так

как у одних частиц плотность выше, чем у других, поэтому ставится второй циклон, который забирает частицы с верхнего уровня. Это позволяет собрать разные продукты как бы они не делились. Параллельное расположение циклонов приведет к разделению сепарации.



1 - сетчатый конвейер; 2 – воздушное сопло; 3 – дымосос ДН-9;
4 – циклон; 5 – осадительная камера; 6 – отводящий конвейер

Рисунок 1 - Принципиальная схема тракта УПВС 01-09

Транспортируясь, материал попадает в зону воздушного сопла 2 (рисунок 1), через которое с определенной скоростью всасывается воздух. Воздушный поток создается за счет работы дымососа ДН-9 (3), соединенного через циклоны 4 с осадительной камерой 5. С помощью частотного преобразователя привода тягодутьевой машины подбирается необходимый расход воздуха через сопло, обеспечивающий при заданном сечении сопла 2 требуемую скорость воздушного потока. Восходящий поток воздуха передает импульс транспортируемому по конвейеру материалу. Куски, имеющие меньшую плотность, захватываются воздушным потоком и попадают в осадительную камеру 5. После первого всасывания частицы находятся на разном уровне, соответственно два циклона, производящие забор продукта с разной высоты, позволяют собрать разные продукты.

Результаты исследований показывают, что параллельная установка циклонов, которые осуществляют забор частиц с разных по высоте уровней, позволяют собрать два разных продукта, тем самым дополнительно разделить входящий материал по зольности. Благодаря этому можно выделять концентратные фракции угля.

Библиографический список

- 1 Авдохин В.М., Морозов В.В., Кузьмин А.В., Бойко Д.Ю., Калина А.В. Вакуумно-пневматическая сепарация труднообогатимых углей // Горный журнал. -2008. - №12. -С.56 – 60.
- 2 Авдохин В. М. Обогащение углей: в 2 Т.-М.: Горная книга, 2012.- Т. 1. Процессы и машины. -424 с.
3. Кузьмин А.В., Люленков В.И., Качуров К.В., Кардаков А.Л., Бойко Д.Ю. Способ сухого обогащения угля. Патент РФ № 2282503, 2005. Опубл. 27.08.2006, БИ №24
4. Кузьмин А.В., Бойко Д.Ю., Адов В.А. Разработка комбинированной технологии сухого обогащения угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. - ОВ №15.–С.507-516.
5. Кузьмин А.В. Технология сухого обогащения // Глобус, геология и бизнес. – 2011. - №3(16) – С.36.
6. Бойко Д.А., Адов В.А. Исследование процесса пневматического обогащения углей шахты «Восточная» / Материалы международной конференции. - Екатеринбург, 21-24 апреля 2009 г. - Екатеринбург, 2009. –С.193-196.

УДК 621.313.333.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТЫКОСВАРОЧНОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА ЦХПП ПАО НЛМК

Сорокин Н.А.

Научный руководитель: Белокопытов Р.Н.

*Липецкий государственный технический университет,
г. Липецк, e-mail: nikos2281@yandex.ru*

Рассматривается модернизация стыкосварочной машины непрерывного травильного агрегата, состоящая в замене морально устаревшей релейно-контакторной схемы на мехатронную систему на базе преобразователя частоты.

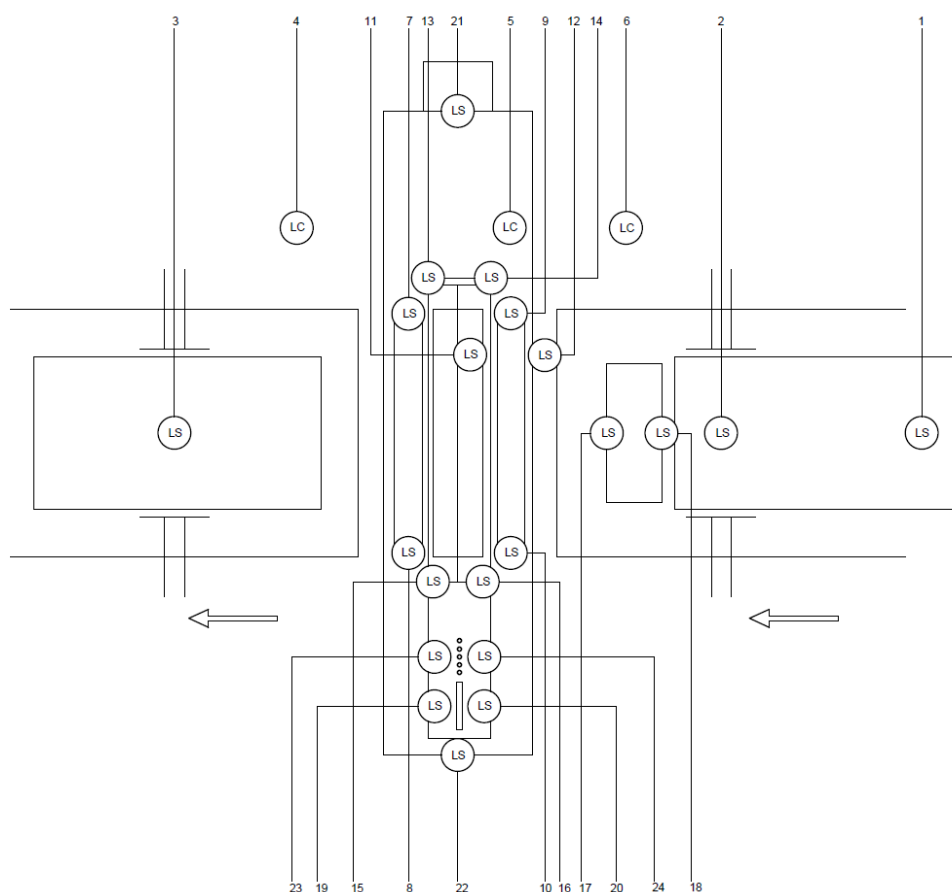
Ключевые слова: преобразователь частоты, контактно-релейная схема, автоматическая линия, автоматизация

Актуальность работы определяется переходом современного промышленного производства на новые энергосберегающие и энергоэффективные технологии [5]. Агрегат непрерывного травления [1] – это автоматическая линия, предназначенная для удаления вторичной окалины с поверхности горячекатаных полос углеродистых сталей, свернутых в рулоны, путем механической ломки и химического растворения в растворе соляной кислоты. Стыкосварочная машина, входящая в состав непрерывного травильного агрегата, предназначена для сваривания двух полос металла стык в стык, для

безостановочной работы агрегата. Данная машина работает на релейно-контакторной схеме, поэтому было принято решение заменить ее систему управления преобразователем частоты фирмы Siemens.

Анализ машинного парка предприятия [2,3] показал, что основной модернизацией системы должен стать преобразователь частоты Sinamics G120. Ресурса данного преобразователя частоты вполне достаточно [4] для данного привода.

Так как модернизация входной части агрегата идёт полным ходом, и большинство узлов агрегата уже перешли на ПЛК, то для стыкосварочной машины нет необходимости покупать новый контроллер. Достаточно просто докупить модули ввода-вывода дискретных сигналов, но для этого необходимо знать количество дискретных сигналов, которые будут поступать с машины, и управлять машиной, поступая с контроллера.



LS –оптические датчики, LC – датчики перемещения

Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизации сварочной машины

Рассчитаем требуемое количество модулей дискретных входов. В общей сложности 49 цифровых сигналов в формате слова (16 бит). Запас по входам примем примерно 20% от общего количества, тогда требуемое число цифровых входов составит 940,8 бит округляем до 944. Округление связано с тем, что число цифровых входов должно быть кратным 8, то есть мини-

мальному числу входов одного модуля. Количество модулей с 32 дискретными входами – 29, с 16 дискретными входами – 1.

По аналогичным расчетам принимаем 24 модуля дискретных выходов (16x1 DO). Таким образом, общее число модулей составит 54 штуки.

Итак, после проведения модернизации системы автоматического управления, будет достигнуто повышение надежности работы оборудования, увеличение быстродействия и простоты его обслуживания, устранено устаревание программной и аппаратной части. При этом все заявленные требования, предъявляемые к системе управления, будут выполнены. Сведем выбранное оборудование контроллера в таблицу 1.

Таблица 1 – Оборудование технологического контроллера

Название	Обозначение	Заказной номер	Кол-во
Модуль ввода дискретных сигналов	SM 421 1x32DI	6ES7421-1BL01-0AA0	29
Модуль ввода дискретных сигналов	SM 421 16x1DI	6ES7421-7BH01-0AB0	1
Модуль вывода дискретных сигналов	SM 322 1x32DO	6ES7322-1BL00-0AA0	24

Таким образом, данная модернизация повысит работоспособность агрегата и увеличит срок его эксплуатации. Также преобразователь частоты и микроконтроллер выполняют технологический цикл без задержек.

Библиографический список

1. ЦХПП. АНТ. Модернизация вычислительной машины управления технологическим процессом [Текст]: ИЭ 05757665-013-202-2017 Инструкция по эксплуатации НТА – Липецк: ПАО «НЛМК», 2017. – 60 с.
2. Стандартные преобразователи SINAMICS G120 [Текст]: каталог. – Москва: SIEMENS, 2012. – 104 с.
3. SINAMICS G120 с управляющими модулями CU240B-2, CU240E-2 DP [Текст]: руководство по эксплуатации. – Москва: SIEMENS, 2011.– 306 с.
4. Мещеряков В.Н., Белокопытов Р.Н. Оптимизация энергетических характеристик асинхронного электропривода по критерию минимума тока статора: Современные сложные системы управления материалы XII международной научно-практической конференции. 2017. С. 87-90.
5. Мещеряков В.Н., Белокопытов Р.Н. Потребляемая мощность системы управления двигателем постоянного тока с помощью инвертора: Современные сложные системы управления материалы XII международной научно-практической конференции. 2017. С. 87-90.

ПРОЦЕССЫ ДРОБЛЕНИЯ УГЛЯ И ПОРОДЫ

Жуков М.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Бойко Д.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассматривается процесс дробления угля и породы, с описанием процесса.

Ключевые слова: высота, дробление.

Рассмотрим существующие процесс дробления угля и породы.

Цели и задачи угля и породы

Путем исследования определить оптимальные высоты при которых будет проходить дробление угля и породы. Изменяемыми при исследовании параметрами являются вес груза и скорость движения в рассматриваемый момент. Эксперимент проводится как для породы, так и для угля.

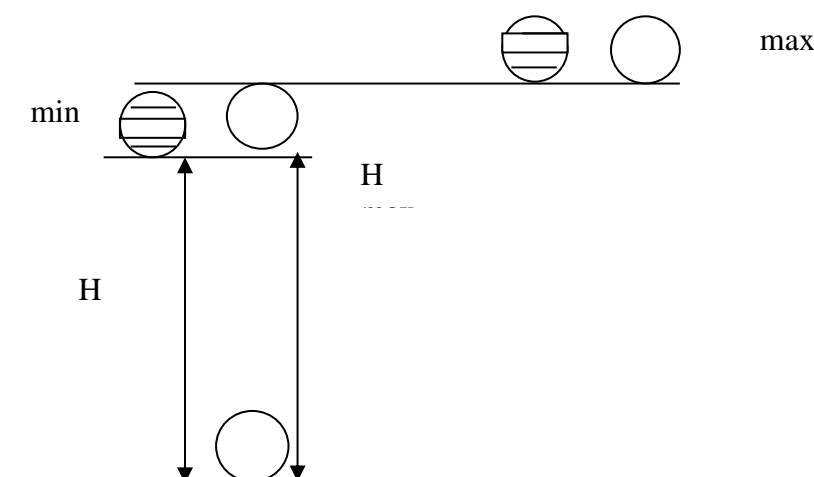


Рисунок 1 –Схема проведения эксперимента

Проведения исследования

Для проведения исследования применим метод Бокса-Уилсона. Экспериментатору предлагается ставить последовательные небольшие серии опытов, в каждой из которых одновременно варьируются по определенным правилам все факторы. Серии организуются таким образом, чтобы после математической обработки предыдущей можно было выбрать условия проведения (т.е. спланировать условия) следующей серии. Так, последовательно, шаг за шагом, достигается область оптимума. В нашем случае это предполагает выбор оптимальной стратегемы, построение плана действий на ее осно-

ве, реализация этого плана, оценка результата и выбор следующей стратегии. Идея метода заключается в использовании метода крутого восхождения в сочетании с последовательно планируемым факторным экспериментом для нахождения оценки градиента.

Процедура состоит из нескольких повторяющихся этапов:

- построение факторного эксперимента в окрестностях некоторой точки;
- вычисление оценки градиента в этой точке по результатам эксперимента;
- крутое восхождение в этом направлении;
- нахождение максимума функции отклика по этому направлению.

Допущения:

- функция отклика непрерывна и имеет непрерывные частные производные на множестве G ;

- функция унимодальная (т.е. экстремум - внутренняя точка). Метод экспериментального поиска экстремума функций многих переменных, соединяет лучшие черты градиентных методов и метода Гаусса – Зайделя. От градиентных методов здесь воспринято выполнение рабочего движения вдоль вектор – градиента, а от метода Гаусса – Зайделя взят принцип продвижения не на один рабочий шаг (как в методе градиента), а до достижения частного экстремума функции отклика, без его корректировки на каждом шаге. Пробные опыты для выяснения направления движения также выполняются по особому – методом полного факторного эксперимента (или дробного факторного эксперимента). В дробном факторном эксперименте, в отличие от полного, всегда существует такая корреляция хотя бы для некоторых столбцов. Это приводит к тому, что по результатам данного эксперимента оказывается невозможно разделить коэффициент регрессии между линейным эффектом взаимодействием. Такие оценки называются (совместными), а сам факт корреляции - смешиванием. Экспериментатор может бороться со смешиванием путем уменьшения дробности реплики, уменьшения интервалов варьирования, выбора вида модели. Но кроме всего этого, сама матрица планирования может иметь различную систему смешивания. Экспериментатор стремится к тому, что максимальное число линейных эффектов оказалось не смешанным с парными взаимодействиями. Число линейных эффектов, которые не смешаны в данном плане, будем называть разрешающей способностью плана. Метод крутого восхождения предложен Дж. Боксом и К. Уилсоном как синтез лучших черт градиентных методов и метода Гаусса – Зайделя, причем пробные опыты для выяснения направления движения также выполняют по-особому – методом ПФЭ (илиДФЭ). От градиентных методов здесь воспринято выполнение рабочего движения вдоль вектор градиента, определенного в районе исходной (базовой) точки, а от метода Гаусса – Зайделя взят принцип продвижения не на один рабочий шаг (как в методе градиента), а до достижения частного экстремума функции отклика на направлении градиента, без его корректировки на каждом рабочем шаге.

Проведение пробных опытов методом ПФЭ (илиДФЭ) позволяет более точно оценивать направление градиента, чем при традиционном методе градиента. Действительно и исходя из расчетной формулы для оценок коэффициентов в методе градиента и в методе крутого восхождения можно заключить, что при числе факторов $n = 2$ количество точек для пробных опытов в обоих методах равно 4, т. е. одинаково. Но если оценку в методе градиента получают по результатам опытов лишь в двух пробных точках (при любом числе n факторов), то в методе крутого восхождения – по результатам опытов во всех четырех пробных точках (в общем случае – во всех $2n$ или $2n-p$ пробных точках). Проведение пробных опытов методом ПФЭ (илиДФЭ) позволяет также получать информацию о взаимодействиях факторов и достаточно просто осуществлять статистическую проверку результатов расчетов. Достоинства метода крутого восхождения: 1) высокая помехозащищенность (помехоустойчивость) в смысле точности оценивания составляющих градиента: если в градиентных методах каждая составляющая оценивается лишь по двум точкам факторного пространства, то в ПФЭ, который в методе крутого восхождения используется для этой цели, каждый коэффициент оценивается по всем $N = 2n$ точкам; 2) высокая эффективность в смысле скорости движения к экстремуму; по сравнению с методом Гаусса – Зайделя она выше за счет продвижения по градиенту, а по сравнению с градиентными – за счет исключения пробных опытов на каждом рабочем шаге и за счет мысленных опытов; 3) пробные опыты, выполняемые методом ПФЭ, позволяют получать информацию об оценках коэффициентов при взаимодействиях факторов характеризующих кривизну поверхностного отклика: увеличение a при уменьшении b обычно характеризует приближение к экстремуму; 4) ПФЭ с применением параллельных опытов позволяет достаточно просто осуществлять надежную статистическую интерпретацию результатов; 5) метод наиболее эффективен из всех известных при пологих поверхностях отклика.

Цель исследования горных пород состоит в следующем. Отбирают несколько кусков материала кубообразной формы примерно одинаковой величины. Если сброшенный кусок породы или угля не разрушился, то высота падения постепенно увеличивается до тех пор, пока не наступит разрушение. Эту энергию и принимают за минимальную разрушающую для данного размера куска материала. Так как куски материала одного и того же размера могут иметь различную прочность, результаты, полученные для испытанного образца, проверяют на других кусках того же размера. За минимальную энергию принимают максимальную из всех величин, полученных при проверке. Чтобы нам получить график зависимости минимальной энергии начала разрушения от размера разрушаемых частиц, опыты проводят на образцах различных размеров. Для этого определяют энергию падающего тела в каждый рассматриваемый момент по формуле:

$$E = \frac{q\omega^2}{2g}$$

где: q —вес груза, кг

ω —скорость движения в рассматриваемый момент, м/с

Для определения энергии были взяты образцы размером 20x20



Рисунок 2—Кусок угля

где: L —длина куска, мм, 20мм;

b —ширина куска, мм, 20мм;

h —высота куска, мм, 20мм;

$q_y=0,2$ кг, $q_y=0,3$ кг;

$w=10$ сек, $q_n=0,4$ кг, $q_n=0,8$ кг.

$$E_y = \frac{0,2 \cdot (10)^2}{2 \cdot 9,8} = 1,02 \text{ кг};$$

$$E_y = \frac{0,3 \cdot (10)^2}{2 \cdot 9,8} = 1,5 \sim 1,5 \text{ кг}$$

$$E_{II} = \frac{0,4 \cdot (10)^2}{2 \cdot 9,8} = 2,04 \sim 2 \text{ кг}$$

$$E_{II} = \frac{0,8 \cdot (10)^2}{2 \cdot 9,8} = 4,08 \sim 4,0 \text{ кг}$$

В случае свободного падения тела, когда его начальная скорость равна нулю, скорость падения в каждый рассматриваемый момент времени определяется по закону Ньютона:

$$\omega = \sqrt{2gh},$$

где h —высота падения куска породы или угля.

Из этого выражения имеем:

$$E = gh \Rightarrow h = \frac{E}{g}$$

$$h_y = \frac{1,02}{9,8} = 0,10 \sim 1 \text{ м}$$

$$h_y = 0,15 \sim 1,5 \text{ м}$$

$$h_{II} = 0,20 \sim 2 \text{ м}$$

$$h_{II} = 0,41 \sim 4,1 \text{ м}$$

Следовательно энергия падающего куска зависит от его веса и высоты падения. По этим параметрам строим график зависимости энергии начала разрушения куска от размера его частицы.

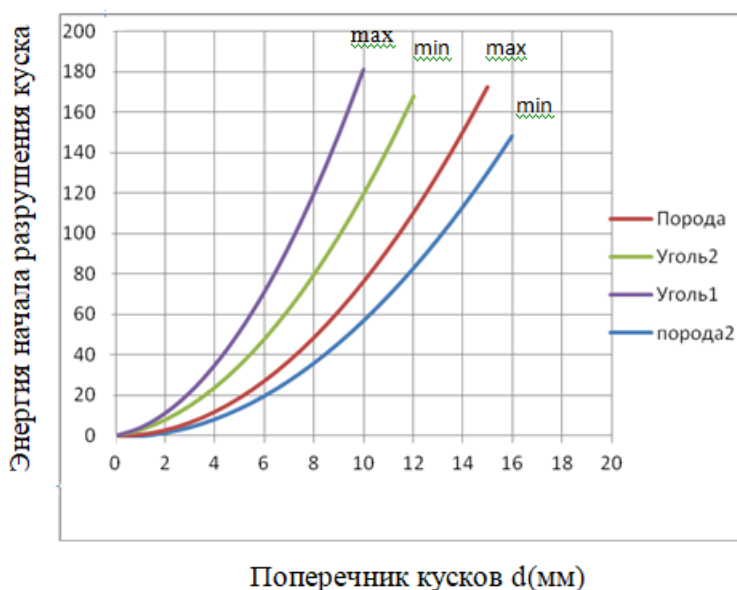


Рисунок3—энергия начала разрушения куска

Выводы. При исследовании горных пород определили высоту при которой происходит дробление. Рассмотренные вопросы, касающиеся влияния размеров, формы и состава углей, которые немаловажным образом влияют на экономическую составляющую эффективности процесса. По окончании эксперимента с углем и породой пришли к выводу, что порода гораздо прочнее. При падении с высоты согласно таблицы уголь разрушается, а порода остается в своем прежнем состоянии, но при увеличении высоты падения порода тоже разрушается.

Библиографический список

1. Молявко А. Р. Комплексное обогащение и использование углей // Обзор ЦНИИЭУголь. –М.: ЦНИИЭУголь., 1974. -87 с.
2. Новые направления в технике и технологии обогащения углей // Доклады. 12-тый Международный конгресс по обогащению углей. - Краков, Польша. – 1994. 23 - 27. 05. - т. 1. - С. 319 - 453.
3. Новые подходы к стандартизации методов оценки качества углей в системе технического регулирования. Каталог-справочник // сост.: Головин Г.С., Августевич И.В., Брониц Т.М.-М.: НТК «Трек», 2007. -288 с.
4. Обогащение угля и переработка топлив // Под ред. Филиппова Б. С. - М.: Недра. – 1975. - т. 25. - вып.3 . - С. 23 - 29.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТЯГОДУТЬЕВОЙ МАШИНЫ ПРИ СЕПАРАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Поплавский М.К.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Бойко Д.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mtm-m-16_poplavskiy_mk@do.sibsiu.ru*

В данной статье исследован процесс работы тягодутьевой машины (дымососа) ДН – 9 в составе установки ПВС, проведен анализ характеристик.

Ключевые слова: дымосос, тягодутьевые (машины) установки, номограмма.

Основная задача нашей работы состоит в исследовании дымососа ДН - 9, его характеристик, а так же возможности внесения изменений в конструкцию лопаток рабочего колеса, путём использования дымососов с сильно отогнутыми назад лопатками (от 20°), для увеличения производительности дымососа, следовательно, эффективности работы комплекса ПВС.

Рассмотрим характеристики дымососа ДН-9. Дымосос ДН – 9 - 1500 (частота вращения рабочего колеса двигателя синхронная, 1500 об/мин), технические характеристики которого в значительной степени определяют энерго- и материалосберегающие показатели, а также показатели эксплуатационной надежности комплектуемых машинами объектов. Дымосос ДН – 9 - 1500 центробежный, одностороннего всасывания, предназначен для комплектации стационарных паровых и водогрейных котлов. Допускается применение котельных дымососов в различных отраслях промышленности, например, в системах газоочистки, аспирации и др.

Дымосос ДН – 9 - 1500 разработан по аэродинамической схеме $0,55 - 40^\circ - 1$ МО ЦКТИ (ВНИИАМ), т.е. первое число равно относительному диаметру входа D_0 , а второе число - это угол выхода $b_{2л}$ лопаток рабочего колеса в градусах: $D_0 = 0,55$ и $b_{2л} = 40^\circ$.

Центробежный дымосос ДН – 9 - 1500 изготавливаются как левого, так и правого направлений вращения. Левым считается вращение рабочих колес против направления движения часовой стрелки, если смотреть на дымосос со стороны электродвигателя; соответственно, правым считается обратное направление вращения.

Основным узлом дымососа ДН – 9 - 1500 являются рабочее колесо, улитка, всасывающая воронка, осевой направляющий аппарат и постамент. Рабочее колесо ДН – 9 - 1500 состоит из основного диска, переднего конического диска, назад загнутых лопаток и ступицы. Регулирование производительности дымососа ДН – 9 - 1500 осуществляется осевым направляющим аппаратом ВДН – 9 – 1500 и изменением частоты вращения рабочего колеса. Направляющий аппарат ДН – 9 - 1500 устанавливается на входе воздушного

потока в корпус. Лопатки направляющего аппарата ДН – 9 - 1500 синхронно поворачиваются в направлении вращения рабочего колеса на угол от 0 до 90°. Привод лопаток направляющего аппарата ДН – 9 - 1500 осуществляется в ручную, либо от колонки дистанционного или автоматического регулирования с помощью МЭО. С целью предотвращения перегрева подшипников электродвигателей, расположенных со стороны рабочих колес (передних подшипников), посадочные поверхности ступиц рабочих колес выполняются со шлицевыми пазами.

Улита дымососа ДН – 9 - 1500 состоит из листовой стали. Для создания необходимой жесткости торцевые стенки улиток усиливаются оребрением из полос. Выемка ротора дымососов (электродвигатель - привод с насаженным рабочим колесом) осуществляется через отверстие в торцевой стенке улиток, расположенной между рабочим колесом и электродвигателем. Улита дымососа ДН – 9 - 1500 допускается с любыми углами разворота от 0 до 270° через каждые 15°. Стандартная схема разворота улиты дымососа ДН – 9 - 1500 $\varphi = 0, 90, 180$ и 270° .

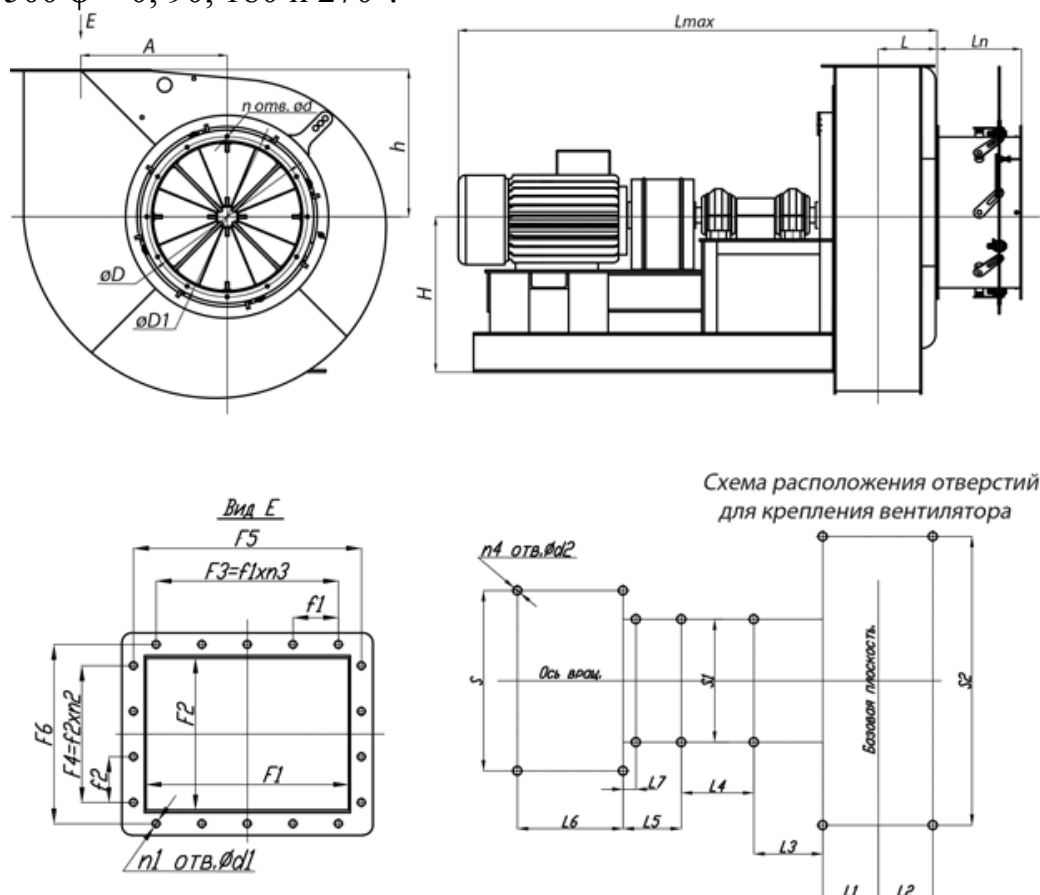


Рисунок 1 – Габаритные и присоединительные размеры дымососа ДН - 9

Диаметр рабочего колеса ДН – 9 - 1500 составляет 0,9 м, установленная мощность 30 кВт, потребляемая мощность 9,1 кВт, производительность на всасывании 14900 м³/ч, при полном давлении 2220 Па. Всасывающие воронки дымососа ДН – 9 - 1500 представляют собой сварную конструкцию,

состоящую из цилиндрического корпуса, конфузора, выполненного в виде усеченного конуса, и уплотнительного кольца.

Постамент дымососа ДН – 9 - 1500 отливаются из чугуна или свариваются из листовой стали и служат общим несущим элементом. На постаментах с помощью болтовых соединений в единый поставочный блок монтируются улитка в сборе с осевым направляющим аппаратом и электродвигатель с насаженным на его вал рабочим колесом. Постаменты притягиваются к общему фундаменту фундаментными болтами.

Аэродинамические параметры, производительность, полное давление и потребляемая мощность соответствуют работе при полностью открытом направляющем аппарате на тракте с характеристикой, проходящей через точку максимального КПД (83%), атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре дымовых газов до +200°C (плотность 0,75 кг/м³), температура окружающего воздуха не должна быть ниже – 30°C и выше + 40°C.

Для более глубокого исследования работы дымососа ДН - 9 необходимо провести аэродинамические испытания для проверки показателей:

- производительность (объемный расход дымососа Q, (м³·ч-1) - объемное количество воздушной смеси, поступающей в вентилятор дымососа в единицу времени;

- полное давление (P_v) - величина повышения давления, представляющая разницу абсолютных полных давлений потока между входным (всасывающим) и выходным (напорным) воздухопроводом вентилятора при определенной плотности газа;

- максимальная температура (t Co) – температура перемещаемой среды.

Для этого применяют следующие средства измерения: манометры, анемометры, ротаметры, термометры.

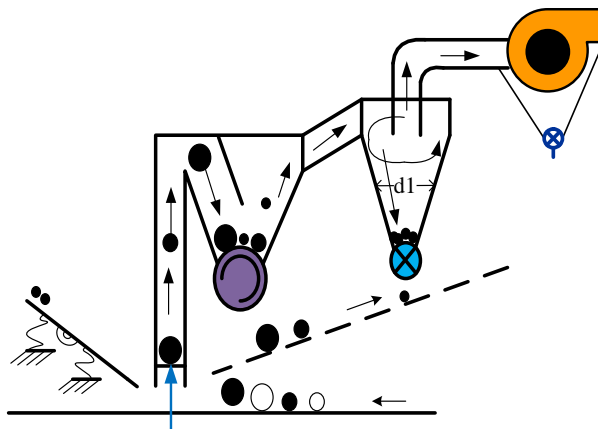
Перед испытанием дымосос приводят в рабочее положение, все дроселирующие устройства в воздуховодах открывают, чтобы определить полное давление, развиваемое вентилятором, давления замеряют до и после вентилятора у всасывающего и выхлопного патрубков вентилятора. По сумме абсолютных значений полных давлений, замеренных до и после вентилятора P_{p.наг}, P_{p.вс} вычисляют полное давление P_v, развиваемое вентилятором:

$$P_v = P_{v.наг} + P_{v.вс} \quad (1)$$

Давления измеряют с помощью микроманометров и пневмометрических трубок.

Пневмометрическую трубку вставляют в воздухопровод через специальные лючки, которые устанавливают в заданных местах.

Для определения скорости воздушного потока применяют переносной прибор VELOPORT 20. Помимо измерения скорости воздушного потока VELOPORT измеряет и температуру воздуха.



⊗ - Микроманометр

Рисунок 2 – Схема присоединения пневмометрических трубок к микроманометру при измерении давлений



Рисунок 3 – Переносной прибор для измерения скорости воздуха VELOPORT 20

Абсолютное полное давление P_a определяется по данным, полученным с манометров, присоединенных к приемникам полного давления, которые установлены в мерный воздуховод (всасывающий и нагнетательный). Измеряется полное абсолютное давление P_{ai} (кПа) во всех точках мерного сечения воздуховода по ГОСТ 12.3.018.

Полное абсолютное давление P_a определяется по формуле:

$$P_a = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ai}}{n}, \quad (2)$$

где: n – количество мерных точек;

P_{ai} – полное абсолютное давление, измеренное в i – й точке.

Определяют абсолютное полное давление P_{a1} в мерном сечении всасывающего воздуховода и абсолютное полное давление P_{a2} в напорном воздуховоде. Полное давление дымососа определяется по формуле:

$$P_v = P_{a1} - P_{a2} \quad (3)$$

Объемный расход дымососа Q ($\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$) определяют при помощи расходомера (сопла Вентури) При помощи расходомера (сопла Вентури).



Рисунок 4 – Расходомер (сопло Вентури)

Объемный расход дымососа определяют на основе измерения разности давлений со встроенным приемником полного давления (трубкой Пито) по ГОСТ 10921, который присоединяется к мерному воздуховоду.

Мощность, потребляемая вентилятором на перемещение воздуха, зависит от количества перемещаемого воздуха, развиваемого давления и коэффициента полезного действия и выражается формулой:

$$N = L \cdot P_v / (3 \cdot 600 \cdot 102 \cdot \eta) \quad (4)$$

где N - потребляемая мощность, кВт;

L - количество воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

P_v - полное давление, развиваемое вентилятором, Па;

η - коэффициент полезного действия вентилятора.

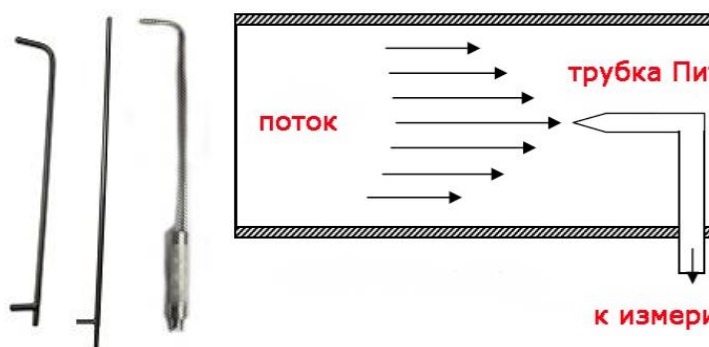


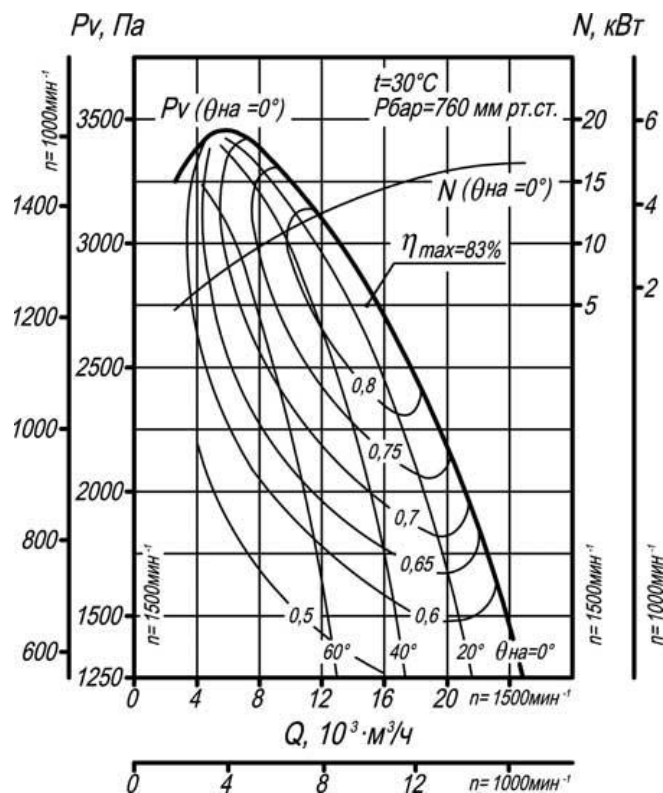
Рисунок 5 – Трубка Пито

Преобразователь частоты используется для управления асинхронными двигателями в самых ответственных и сложных условиях. Основные сферы применения насосные или вентиляторные системы.



Рисунок 6 – Частотный преобразователь

Аэродинамические качества вентилятора должны оцениваться по аэродинамическим характеристикам, выраженным в виде номограмм зависимости полного P_v давления, производительности Q при постоянной частоте вращения рабочего колеса.



P_v – полное давление, Па; $P_{бар}$ – барометрическое давление, Па;
 Q – производительность, м³/ч; η – коэффициент полезного действия;
 N – мощность, кВт; ● – параметры работы дымососа, при сильно отогнутых назад лопатках (от 20°). (Масштаб графика — логарифмический)

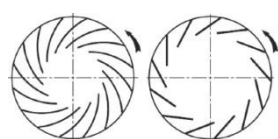
Рисунок 7 – Аэродинамические характеристики дымососа ДН – 9

По горизонтальной оси: Q – производительность (количество воздуха, перекачиваемое вентилятором в единицу времени), измеряется куб метрами в час. По вертикальной оси: P_v – полное давление. Полное давление вентилятора равно разности полных давлений потока за вентилятором и перед

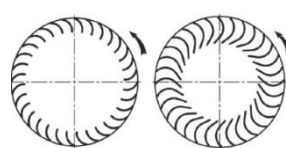
ним. Из представленной номограммы делаем вывод, что работа ДН - 9 не является удовлетворительной и не соответствует заданным параметрам.

Для правильного выбора тягодутьевого вентилятора или дымососа исходными являются несколько параметров: производительность, полное давление, а также рабочее колесо (лопатки загнутые назад/вперед, от 0° до 90° и более).

Определим теоретически, возможность внесения изменений в конструкцию лопаток рабочего колеса, путём использования их сильно отогнутыми назад лопатками, для увеличения производительности дымососа установки ПВС. Преимуществом листовых лопаток является простота их конструкций, недостатком - небольшая жесткость. Листовые лопатки очерчены отрезком логарифмической спирали, дугой окружности, в редких случаях плоские.



Назад загнутые лопатки



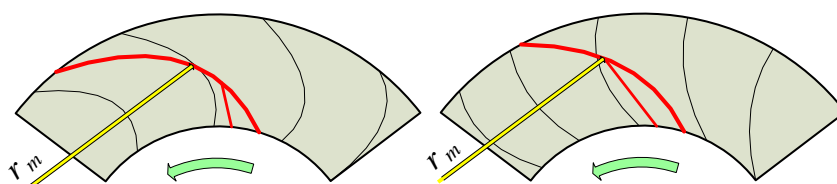
Вперед загнутые лопатки

Рисунок 8 – Лопатки колеса вентилятора

Дымососы с лопатками, загнутыми назад, являются наиболее совершенными – КПД = $85 \div 90 \%$. Однако повышение давления получается в 2 – 2,5 раза меньшим, чем у машин с лопатками, загнутыми вперед.

Особенностью условий работы дымососов является наличие в рабочей среде твердых примесей (угольной пыли в воздухе), вызывающих эрозийный и абразивный износы лопаток и дисков рабочего колеса, а также обечайки спирального корпуса. Наибольший износ наблюдается в тех местах лопаток и дисков рабочего колеса, к которым силами инерции прижимаются твердые частицы.

Износ уменьшается с увеличением радиуса кривизны траектории частиц в абсолютном движении r_m . Для колес с лопатками, отогнутыми назад, радиус кривизны траектории намного больше, чем у колес с лопатками, отогнутыми вперед (рисунок 10).



а

б

а - при загнутых вперед лопатках; б - при загнутых назад лопатках

Рисунок 9 – Траектории крупных частиц золы между лопатками

Рассмотрим силы, действующие на твердую частицу на поверхности сильно отогнутой назад лопатки от 20° (рисунок 11).

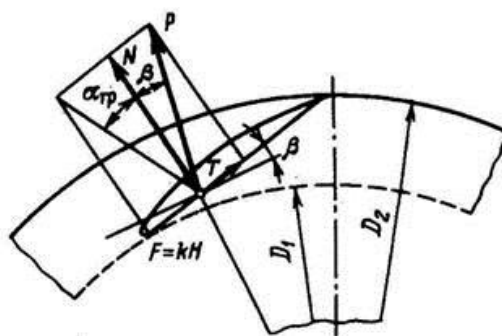


Рисунок 10 – Силы, действующие на частицу золы, находящуюся на тыльной стороне замкнутой назад лопатки дымососа, при $\beta > 20^\circ$

Центробежная сила P , действующая по радиусу, имеет составляющие - нормальную N и касательную T к поверхности лопатки. Касательная составляющая силы стремится сдвинуть частицу в направлении движения потока, а под действием нормальной составляющей возникает сила трения:

$$F = k \cdot N, \quad (5)$$

где k - коэффициент трения частицы о поверхность лопатки.

При условии, что $T > F$ или же $\beta > \alpha_{\text{тр}}$ частица будет сталкиваться с лопатки, где угол трения $\alpha_{\text{тр}} = \text{arctg} \cdot k$.

Следовательно, чтобы отложения частиц не имели место на тыльной стороне лопаток, отогнутых назад, необходимо соблюдать следующее условие $\beta > \alpha_{\text{тр}}$. Поэтому применение дымососов с лопатками, сильно отогнутыми назад не целесообразно, и следует применять дымососы с углом установки лопаток от 40° и более (β лопаток рабочего колеса дымососа ДН – 9 равно 40°).

Выводы. В процессе исследования дымососа ДН – 9 и анализа характеристик в составе установки ПВС, было предложено внесение изменений в конструкцию лопаток рабочего колеса, путём использования дымососов с сильно отогнутыми назад лопатками, менее 20° , для увеличения производительности дымососа и его энергоэффективности. По результатам выполненных расчётов и опытно - промышленных испытаний необходимо принять решение о возможности внедрения изменений.

Библиографический список

1. Руденко К.Г., Калмыков А.В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых, 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987.– С.264.
2. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии, 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1977. – С.455.

3. Субботин В.И., Калинин Н.В., Тимошин Л.И. Тягодутьевые нагнетатели в теплоэнергетике: Учеб. пособие /ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, - 2009.– С.160.

4. Электронный ресурс.- Режим доступа: <http://megavattspb.ru/>.

5. Электронный ресурс.- Режим доступа: www.medved.nt-rt.ru.

УДК 622.6

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Шаваев А.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Шестаков И.Н.

*Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации, г.Санкт-Петербург*

В работе на основании данных о времени использования ВП был проведен анализ использования воздушного пространства (ВП) в зоне ответственности Магнитогорского центра ОВД.

Проведены расчеты, выявляющие слабые места во взаимодействии с органами планирования использования ВП.

На основании проделанных расчётов, были разработаны рекомендации улучшающие:

- быстроту взаимодействия между органами ЕС ОрВД и органами планирования ИВП;
- информативность AFTN-сообщений;
- взаимодействие с операторами беспилотных авиационных систем (БАС).

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы (БАС), информативность AFTN-сообщений, улучшение взаимодействия.

Беспилотный летательный аппарат – это летательный аппарат много-разового или условно-многоразового использования, не имеющий на борту экипажа (человека-пилота) и способный самостоятельно целенаправленно перемещаться в воздухе для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью собственной управляющей программы) или посредством дистанционного управления (осуществляемого человеком- оператором со стационарного или мобильного пульта управления)[1,2].

Для осуществления деятельности по использованию воздушного пространства, помимо подачи сообщения о плане полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА) (SHR), должно быть получено разрешение от органа ЕС ОРВД, а также установлен режим ограничения использования ВП

для других пользователей (RVM)[1].

Как правило, время действия режима совпадает со временем указанным в плане полета БПЛА, что довольно хорошо в плане рациональности использования воздушного пространства.

Однако не редки случаи, когда снятие режима выделенного под полеты БПЛА происходит не после посадки непосредственно самого БПЛА, а ко времени окончания действия режима установленного для его полета.

В плане рациональности использования воздушного пространства данный подход является крайне расточительным, потому, что воздушное пространство является единственным ресурсом ГК ОРВД. Грамотное его использование позволит удовлетворять нужды гораздо большего числа пользователей, при правильном подходе к учету времени использования воздушного пространства (рисунок 1).

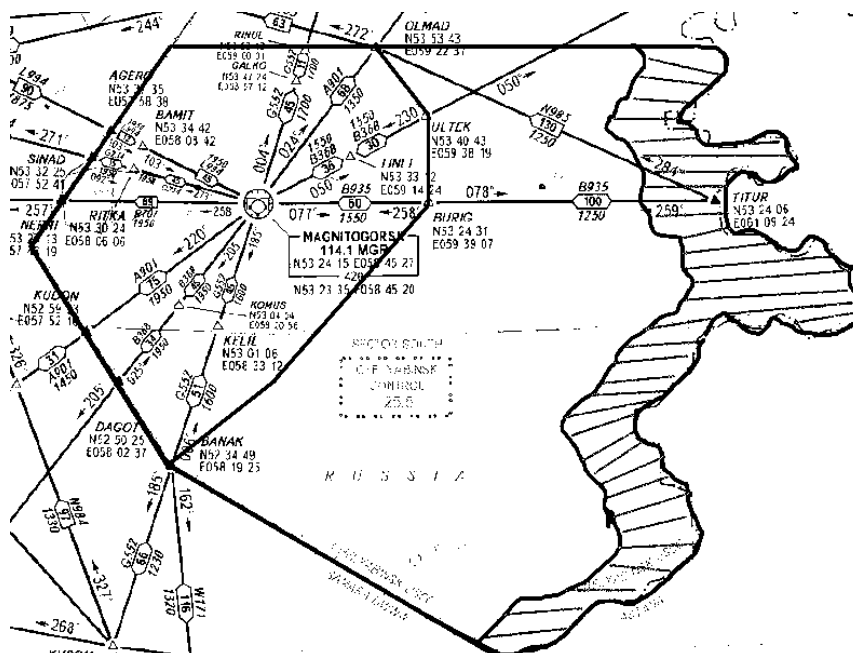


Рисунок 1 - Зона ответственности Магнитогорского АДЦ, включая приграничный район

Так, как не редки случаи выделения значительных по площади участков ВП для использования БПЛА, что может создавать трудности для ВС АОН следующих через них транзитом. Также немаловажно упомянуть, что при разработки ограничений на полеты центры планирования ИВП не редко стараются уместить зоны ограничений для полетов в зоне ответственности своего зонального центра (ЗЦ). Такие случаи приводят к уменьшению процедур согласований между ЗЦ и образований зон ограничений полетов на границах районов ответственности (рисунок 2) оперативных органов ОВД, которые могут быть совершенно не в курсе об ограничениях в зоне смежника, так как он относится к другому ЗЦ. Такие ситуации в принципе не должны происходить в теории, но не редко происходит на практике.

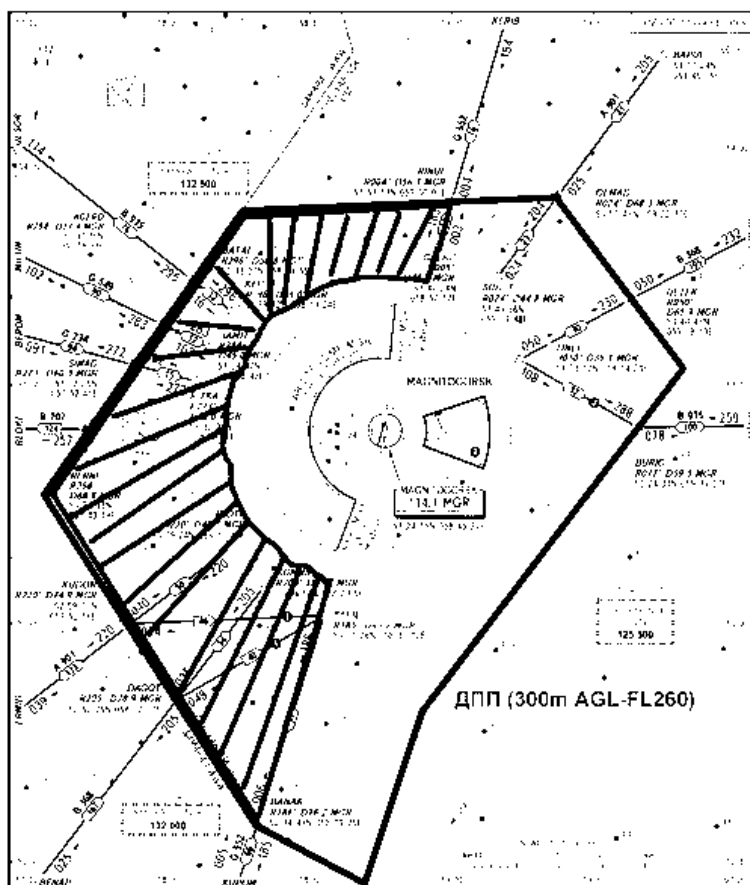


Рисунок 2 - Зона ответственности Магнитогорского АДЦ,
(синим, выделена зона для полета БПЛА установленная местным режимом)
В таблице №1 приведены данные по использованию ВП за 2018г.

Таблица 1 - Данные об использования ВП БПЛА за 2018 г.

Месяц	Количество заявок на ИВП	Фактических полетов
январь	93	69
февраль	112	75
март	124	79
апрель	150	92
май	155	116
июнь	180	138
июль	186	144
август	186	160
сентябрь	150	116
октябрь	124	101
ноябрь	90	62
декабрь	93	56
Всего	1643	1208

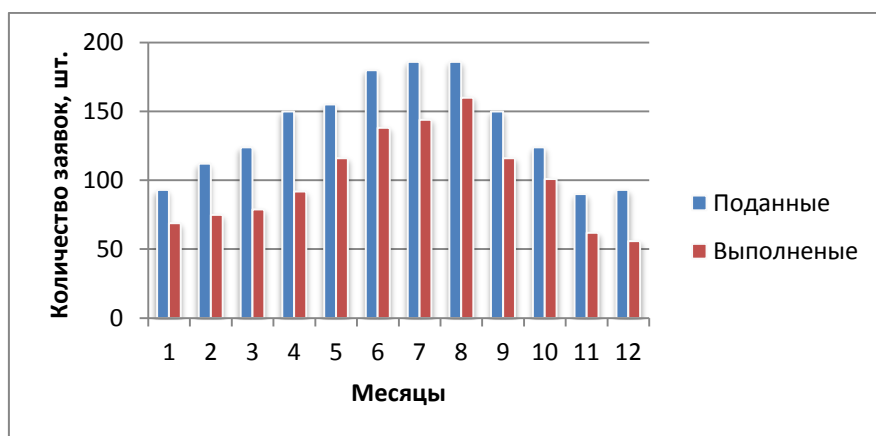


Рисунок 3 - Гистограмма использования ВП БПЛА в течение 2018 г.

На рисунке 4 изображена гистограмма использования воздушного пространства беспилотными летательными аппаратами в течение 2018года. Из которого видно, что только 74 % из всех заявок был реализован.

Таблица 2 - Данные об использования ВП за август 2018г.

Число	Тнф	Токф	Тн	Ток
1	02:17	13:42	00:00	23:59
2	03:12	12:36	00:00	23:59
3	02:37	14:12	00:00	23:59
4	02:23	11:32	00:00	23:59
5	03:23	09:39	00:00	23:59
6	04:13	11:24	00:00	23:59
7	03:42	12:37	00:00	23:59
8	04:25	12:36	00:00	23:59
9	04:07	11:12	00:00	23:59
10	03:28	10:34	00:00	23:59
11	02:15	13:43	00:00	23:59
12	04:26	13:12	00:00	23:59
13	04:04	10:32	00:00	23:59
14	03:07	11:37	00:00	23:59
15	03:41	12:44	00:00	23:59
16	03:12	12:21	00:00	23:59
17	03:41	11:39	00:00	23:59
18	03:22	09:33	00:00	23:59
19	02:13	12:23	00:00	23:59
20	02:27	11:13	00:00	23:59
21	03:13	10:43	00:00	23:59
22	02:31	12:08	00:00	23:59
23	04:24	12:23	00:00	23:59
24	03:42	14:04	00:00	23:59
25	03:42	10:15	00:00	23:59
26	02:13	12:32	00:00	23:59
27	03:12	14:12	00:00	23:59
28	03:12	14:23	00:00	23:59
29	03:34	10:32	00:00	23:59
30	02:13	13:23	00:00	23:59
31	03:45	14:12	00:00	23:59

Таблица 3 - Данные об использования ВП за февраль 2019 г.

Число	Тнф	Токф	Тн	Ток
1	04:15	12:45	04:00	14:00
2	04:24	13:48	04:00	14:00
3	04:12	14:00	04:00	14:00
4	04:11	10:24	04:00	14:00
5	04:24	09:27	04:00	14:00
6	04:12	13:48	04:00	14:00
7	04:24	12:34	04:00	14:00
8	04:25	13:39	04:00	14:00
9	04:07	12:19	04:00	14:00
10	04:28	11:23	04:00	14:00
11	04:15	12:45	04:00	14:00
12	04:26	13:10	04:00	14:00
13	04:04	09:04	04:00	14:00
14	04:19	10:23	04:00	14:00
15	04:11	13:12	04:00	14:00
16	04:25	12:43	04:00	14:00
17	04:11	11:25	04:00	14:00
18	04:29	09:33	04:00	14:00
19	04:23	13:43	04:00	14:00
20	04:23	12:56	04:00	14:00
21	04:18	11:21	04:00	14:00
22	04:21	12:03	04:00	14:00
23	04:04	13:21	04:00	14:00
24	04:13	14:00	04:00	14:00
25	04:12	09:07	04:00	14:00
26	04:25	12:32	04:00	14:00
27	04:28	12:29	04:00	14:00
28	04:22	13:16	04:00	14:00

В качестве примера эффективности использования ВП возьмем данные представленные в таблице 2 и 3 об использовании ВП БПЛА в районе населенного пункта Хамитово.

Исходя, из выше приведенных данных видно, что, как правило, пользователи ВП заканчивают свою деятельность задолго до окончания действия режима установленного для них.

Проведем расчет и оценку эффективности использования ВП[3] (рисунок 4). Данные для расчета приведены в таблице 2 и 3. Воспользуемся следующей методикой.

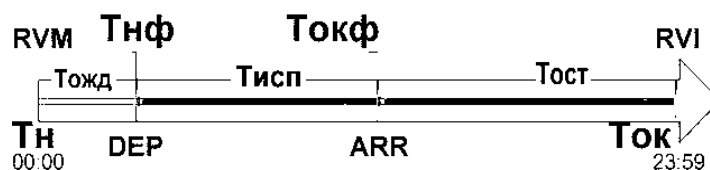


Рисунок 4- Временная диаграмма использования воздушного пространства БАС

Вычислим фактическое время использования ВП:

$$t_{\text{исп}} = t_{\text{окф}} - t_{\text{нф}} \quad (1)$$

где $t_{\text{исп}}$ – фактическое время использования ВП,
 $t_{\text{нф}}$ – фактическое время начала использования ВП,
 $t_{\text{окф}}$ – фактическое время окончания использования ВП.

Вычислим оставшееся время, после посадки БПЛА до окончания действия режима ограничения использования ВП:

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{ок}} - t_{\text{окф}} \quad (2)$$

где $t_{\text{ост}}$ – время, оставшееся до конца действия режима ограничения использования ВП после посадки БПЛА,
 $t_{\text{ок}}$ – время окончания действия режима ограничения использования ВП.

Вычислим процентное отношение фактического использования ВП:

$$t_{\text{исп}\%} = \frac{t_{\text{исп}}}{(t_{\text{ок}} - t_{\text{н}})} \cdot 100\% \quad (3)$$

где $t_{\text{н}}$ – время начала использования ВП по плану.

Вычислим процентное отношение оставшегося времени использования ВП:

$$t_{\text{ост}\%} = \frac{t_{\text{ост}}}{(t_{\text{ок}} - t_{\text{н}})} \cdot 100\% \quad (4)$$

Вычислим процентное отношение времени ожидания (задержки) перед использованием ВП:

$$t_{\text{ожд}\%} = 100 - t_{\text{исп}\%} - t_{\text{ост}\%} \quad (5)$$

Вычислим среднее (математическое ожидание) времени фактического использования ВП, оставшегося времени использования ВП, времени ожидания (задержки) перед использованием ВП:

$$\overline{t_{\text{исп}}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{исп}j}}{n} \quad (6)$$

$$\overline{t_{\text{ост}}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{ост}j}}{n} \quad (7)$$

$$\overline{t_{\text{ожд}}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{ожд}j}}{n} \quad (8)$$

ИЛИ

$$\overline{t_{\text{исп}}} = \frac{t_{\text{исп}1} + t_{\text{исп}2} + \dots + t_{\text{исп}n}}{n} \quad (9)$$

$$\overline{t_{\text{ост}}} = \frac{t_{\text{ост}1} + t_{\text{ост}2} + \dots + t_{\text{ост}n}}{n} \quad (10)$$

$$\overline{t_{\text{ожд}}} = \frac{t_{\text{ожд}1} + t_{\text{ожд}2} + \dots + t_{\text{ожд}n}}{n} \quad (11)$$

Произведем вычисления фактического времени использования ВП за август 2018г:

Таблица 4 - Таблица сводных параметров использования ВП

Число	$t_{окф}$	$t_{нф}$	$t_{исп}$	$t_{ост}$	$t_{исп\%}$	$t_{ост\%}$	$t_{ожд\%}$
1	13:42	02:17	11:25	10:17	47,603	42,877	9,521
2	12:36	03:12	09:24	11:23	39,194	47,464	13,343
3	14:12	02:37	11:35	09:47	48,297	40,792	10,910
4	11:32	02:23	09:09	12:27	38,151	51,911	9,937
5	09:39	03:23	06:16	14:20	26,129	59,764	14,107
6	11:24	04:13	07:11	12:35	29,951	52,467	17,582
7	12:37	03:42	08:55	11:22	37,179	47,394	15,427
8	12:36	04:25	08:11	11:23	34,121	47,464	18,416
9	11:12	04:07	07:05	12:47	29,534	53,301	17,165
10	10:34	03:28	07:06	13:25	29,604	55,942	14,454
11	13:43	02:15	11:28	10:16	47,811	42,808	9,382
12	13:12	04:26	08:46	10:47	36,553	44,962	18,485
13	10:32	04:04	06:28	13:27	26,963	56,081	16,956
14	11:37	03:07	08:30	12:22	35,441	51,564	12,995
15	12:44	03:41	09:03	11:15	37,735	46,908	15,358
16	12:21	03:12	09:09	11:38	38,151	48,506	13,343
17	11:39	03:16	08:23	12:20	34,955	51,425	13,621
18	09:33	03:22	06:11	14:26	25,782	60,181	14,038
19	12:23	02:13	10:10	11:36	42,391	48,367	9,243
20	11:13	02:27	08:46	12:46	36,553	53,231	10,215
21	10:43	03:13	07:30	13:16	31,272	55,316	13,412
22	12:08	02:31	09:37	11:51	40,097	49,409	10,493
23	12:23	04:24	07:59	11:36	33,287	48,367	18,346
24	14:04	03:42	10:22	09:55	43,224	41,348	15,427
25	10:15	03:37	06:38	13:44	27,658	57,262	15,080
26	12:32	02:13	10:19	11:27	43,016	47,741	9,243
27	14:12	03:12	11:00	09:47	45,865	40,792	13,343
28	14:23	03:19	11:04	09:36	46,143	40,028	13,829
29	10:32	03:34	06:58	13:27	29,048	56,081	14,871
30	13:23	02:13	11:10	10:36	46,560	44,197	9,243
31	14:12	03:45	10:27	09:47	43,572	40,792	15,636

На рисунке 5 показано процентное распределение времени на всех этапах использования ВП БАС.

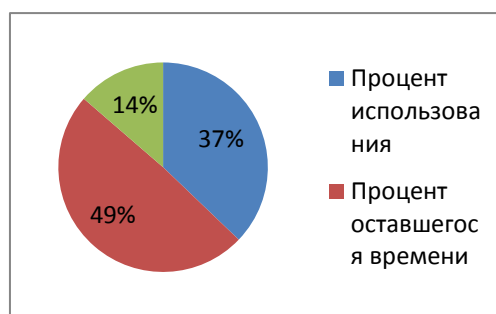


Рисунок 5 - График распределения времени использования ВП

Для сравнения параметров использования ВП произведем расчеты для февраля 2019г.:

Таблица 5 - Таблица сводных параметров использования ВП

Число	$t_{окф}$	$t_{нф}$	$t_{исп}$	$t_{ост}$	$t_{исп\%}$	$t_{ост\%}$	$t_{ожд\%}$
1	04:15	12:45	08:30	01:15	85,000	12,500	2,500
2	04:24	13:48	09:24	00:12	94,000	2,000	4,000
3	04:12	14:00	09:48	00:00	98,000	0,000	2,000
4	04:11	10:24	06:13	03:36	62,167	36,000	1,833
5	04:24	09:27	05:03	04:33	50,500	45,500	4,000
6	04:12	13:48	09:36	00:12	96,000	2,000	2,000
7	04:29	12:34	08:05	01:26	80,833	14,333	4,833
8	04:25	13:39	09:14	00:21	92,333	3,500	4,167
9	04:07	12:19	08:12	01:41	82,000	16,833	1,167
10	04:28	11:23	06:55	02:37	69,167	26,167	4,667
11	04:15	12:45	08:30	01:15	85,000	12,500	2,500
12	04:26	13:10	08:44	00:50	87,333	8,333	4,333
13	04:04	09:04	05:00	04:56	50,000	49,333	0,667
14	04:19	10:23	06:04	03:37	60,667	36,167	3,167
15	04:11	13:12	09:01	00:48	90,167	8,000	1,833
16	04:25	12:43	08:18	01:17	83,000	12,833	4,167
17	04:11	11:25	07:14	02:35	72,333	25,833	1,833
18	04:29	09:33	05:04	04:27	50,667	44,500	4,833
19	04:18	13:43	09:25	00:17	94,167	2,833	3,000
20	04:23	12:56	08:33	01:04	85,500	10,667	3,833
21	04:18	11:21	07:03	02:39	70,500	26,500	3,000
22	04:21	12:03	07:42	01:57	77,000	19,500	3,500
23	04:04	13:21	09:17	00:39	92,833	6,500	0,667
24	04:13	14:00	09:47	00:00	97,833	0,000	2,167
25	04:12	09:07	04:55	04:53	49,167	48,833	2,000
26	04:25	12:32	08:07	01:28	81,167	14,667	4,167
27	04:28	12:29	08:01	01:31	80,167	15,167	4,667
28	04:22	13:16	08:54	00:44	89,000	7,333	3,667

На рисунке 6 представлено процентное распределение времени использования ВП за февраль 2019г. Из которого следуют значительное увеличение процентного соотношения фактического использования ВП, что говорит об увеличении эффективности использования ВП.



Рисунок 6 - График распределения времени использования ВП

Из выше представленных диаграмм следует, что процент времени использования ВП увеличился на 42%, процент времени ожидания и оставшегося времени был уменьшен на 31% и 11% соответственно.

В качестве рекомендаций касательно телеграфных сообщений AFTN, следует активно использовать поле 18 (RMK), специально установленное для донесения дополнительной информации. Целесообразно связывать сообщения типа RVM-DEP и ARR-RVI указанием номера режима ограничения использования ВП, либо бортового номера БПЛА (рисунок 7). Данный подход улучшает читаемость информации поступающей диспетчеру и как следствие повышает оперативность обработки сообщений в ЗЦ. Все это сказывается на повышении качества обслуживания пользователей ВП и эффективности его использования.

```
ФФ УСЦМЭТЗЪ  
051423 УСССЗДЗЪ  
{RVI-MR958-DATA/0603 DATA/0703 DATA/0803 DATA/0903-RMK/ СНЯТЫ  
ОГРАНИЧЕНИЯ И ЗАПРЕТЫ В РАЙОНЕ ЗАПРЕТ НЕ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ НА ВВС ТИП:  
ZALA Ч21, БОРТ 75435, ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ-ООО ЦСТ ИДР/118757}
```

Рисунок 7 – Пример подробного заполнения телеграммы типа RVI

Библиографический список

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ [Текст]: [Электронный ресурс] / Консультант Плюс/ [Официальный сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/.
2. Фетисов В.С. (ред.) Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. Монография. — Уфа: ФОТОН, 2014. — 217 с.: ил. — ISBN 978-5-9903144-3-6.
3. Фролов А.Н. (ред.) Краткий курс теории вероятностей и математической статистики. Учебное пособие. Издательство «Лань» 2017. - 304с.: ил. - ISBN 978-5-8114-2460-3.

УДК 622.6

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА МАГНИТОГОРСК В РЕЖИМЕ ВЗЛЕТ-ПОСАДКА

Шаваев А.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Шестаков И.Н.

*Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации, г.Санкт-Петербург*

В данной работе проведен анализ организации воздушного пространства района аэродрома Магнитогорск, отмечены факторы, влияющие на формирование интервалов между прилетающими и вылетающими воздушными судами.

Проведены расчеты на основе первой модели [1,2,3], составлена информационная таблица помогающая диспетчерам непосредственного УВД в работе.

Ключевые слова: формирование безопасных интервалов, расчетные позиции, первая модель, район аэродрома, воздушные суда.

В настоящее время в зоне взлета и посадки аэропорта Магнитогорск существуют два вида схем прибытия воздушных судов. Первый основан на использовании традиционных средств навигации и самолетовождения, а второй использует средства зональной навигации RNAV-GNSS.

Схемы RNAV-GNSS предполагают использование значительно более коротких траекторий прибытия, что положительно сказывается на уменьшении времени нахождения ВС в воздухе и соответствующей экономией топлива. В виду незначительных различий в протяженности и профилях схем прибытия традиционной и зональной навигации для ВПП 36, в данной работе были рассмотрены лишь первые.

При рассмотрении особенностей аэродрома Магнитогорск, были учтены следующие виды ограничений:

- Наличие горного массива к западу от аэродрома R=17 км (ограничительные пеленги 355 и 190)
- Ограничений по векторению воздушных судов в восточной части зоны взлета и посадки R=10км-25км (пеленги 60 и 100)

Ограничения для ВС на площади маневрирования:

- Одна действующая РД
- Отсутствие РД скоростного схода
- Отсутствует возможность быстрого освобождения ВПП для ВС типа А-321 или аналогичных (требуется прорудить в карман для разворота ВС)
- Малое количество действующих стоянок – 4, одна из которых не предполагает самостоятельного заруливания/выруливания воздушных судов

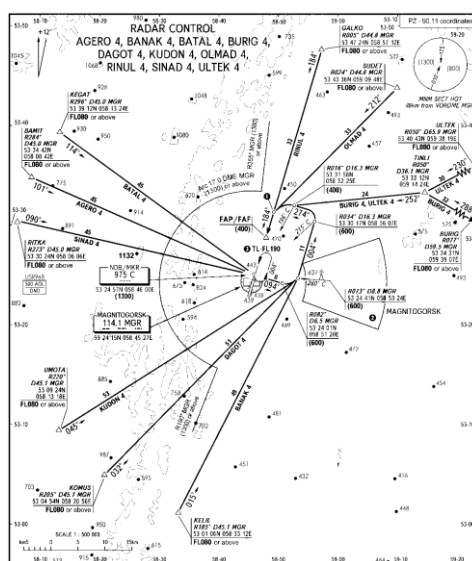


Рисунок 1 - Схема маршрутов прибытия для ВПП 18

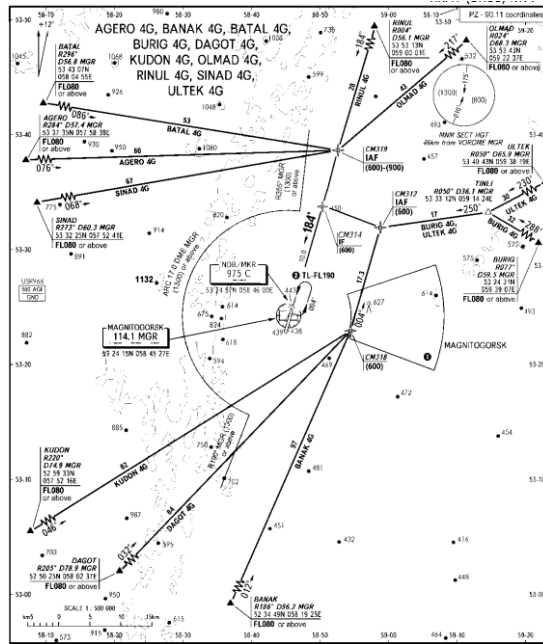


Рисунок 2 - Схема маршрутов прибытия для ВПП 18 с использованием средств RNAV-GNSS.

В виду незначительных различий в протяженности и профилях схем прибытия традиционной и зональной навигации для ВПП 36, в данной работе будут рассмотрены лишь первые.

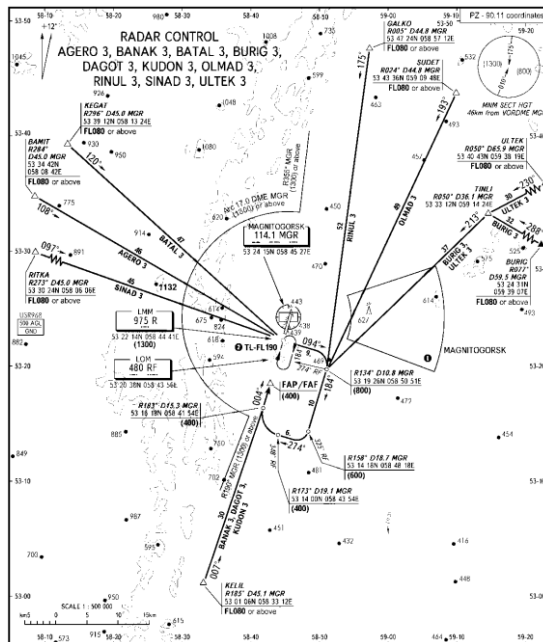


Рисунок 3 - Схема маршрутов прибытия для ВПП 36.

В качестве образца исследуемого типа ВС приведем сводную таблицу характеристик для СУ-95 (таблица 1).

Таблица 1 - Экспериментальные данные для ВС типа СУ-95

№	Тип ВС	МК ВПП	Три	Тзи	Трв	Тнр	Тотр	Тнаб	Занятость ВПП					
									X1		X2		X3	
1	СУ95	184	1:43:18	1:47:51	1:48:01	1:48:36	1:49:21	1:50:47	04:43	283	05:18	318	06:03	363
2	СУ95	184	1:07:10	1:12:03	1:12:08	1:12:38	1:13:08	1:14:19	04:58	298	05:28	328	05:58	358
3	СУ95	184	1:11:07	1:15:48	1:15:56	1:16:38	1:17:13	1:18:45	04:49	289	05:31	331	06:06	366
4	СУ95	184	1:02:18	1:07:20	1:07:30	1:08:02	1:08:37	1:10:30	05:12	312	05:44	344	06:19	379
5	СУ95	184	1:05:14	1:09:59	1:10:04	1:10:43	1:11:15	1:12:51	04:50	290	05:29	329	06:01	361
6	СУ95	184	1:01:30	1:06:13	1:06:23	1:07:14	1:07:56	1:09:27	04:53	293	05:44	344	06:26	386
7	СУ95	184	1:05:12	1:10:24	1:10:34	1:11:15	1:11:50	1:13:26	05:22	322	06:03	363	06:38	398
8	СУ95	184	1:06:52	1:11:45	1:11:52	1:12:39	1:13:11	1:15:07	05:00	300	05:47	347	06:19	379
9	СУ95	184	1:07:34	1:12:16	1:12:23	1:13:12	1:13:45	1:15:17	04:49	289	05:38	338	06:11	371
10	СУ95	184	1:08:11	1:13:12	1:13:22	1:14:15	1:14:57	1:15:59	05:11	311	06:04	364	06:46	406
11	СУ95	4	1:02:13	1:06:55	1:07:05	1:07:37	1:08:07	1:09:56	04:52	292	05:24	324	05:54	354
12	СУ95	4	1:04:26	1:08:56	1:09:04	1:09:48	1:10:24	1:11:28	04:38	278	05:22	322	05:58	358
13	СУ95	4	1:02:28	1:06:54	1:07:04	1:07:38	1:08:10	1:09:20	04:36	276	05:10	310	05:42	342
14	СУ95	4	1:06:12	1:10:30	1:10:40	1:11:24	1:12:07	1:13:24	04:28	268	05:12	312	05:55	355
15	СУ95	4	1:08:24	1:13:10	1:13:16	1:13:50	1:14:34	1:15:59	04:52	292	05:26	326	06:10	370
16	СУ95	4	1:03:22	1:07:50	1:07:55	1:08:26	1:08:57	1:10:39	04:33	273	05:04	304	05:35	335
17	СУ95	4	1:01:49	1:05:51	1:05:56	1:06:29	1:07:01	1:08:12	04:07	247	04:40	280	05:12	312
18	СУ95	4	1:09:50	1:14:31	1:14:37	1:15:16	1:15:46	1:16:49	04:47	287	05:26	326	05:56	356
19	СУ95	4	1:04:43	1:08:56	1:09:04	1:09:37	1:10:15	1:12:09	04:21	261	04:54	294	05:32	332
20	СУ95	4	1:07:53	1:12:29	1:12:35	1:13:18	1:13:49	1:15:11	04:42	282	05:25	325	05:56	356

В данной работе проведены исследования параметров прилетающих воздушных судов для установленной точки L=6км. В качестве образца приведем данные для СУ-95 (таблица 2) [1].

Таблица 2 - Экспериментальные данные для ВС типа СУ-95

№	Тип ВС	МК ВПП	V, км/ч	V, м/с
1	СУ95	184	268	74.4
2	СУ95	184	265	73.6
3	СУ95	184	265	73.6
4	СУ95	184	231	64.2
5	СУ95	184	270	75.0
6	СУ95	184	246	68.3
7	СУ95	184	270	75.0
8	СУ95	184	257	71.4
9	СУ95	184	232	64.4
10	СУ95	184	257	71.4
11	СУ95	4	242	67.2

Продолжение таблицы 2

№	Тип ВС	МК ВПП	V, км/ч	V, м/с
12	СУ95	4	246	68.3
13	СУ95	4	232	64.4
14	СУ95	4	251	69.7
15	СУ95	4	232	64.4
16	СУ95	4	263	73.1
17	СУ95	4	246	68.3
18	СУ95	4	234	65.0
19	СУ95	4	260	72.2
20	СУ95	4	232	64.4

Для расчета допустимых удалений прилетающих ВС при выдаче разрешения исполнительного вылетающего воспользуемся следующей методикой.

$$D = \max \begin{cases} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{cases} \begin{cases} D_1 = S_1 + L_1 \\ D_2 = S_2 + L_2 \\ D_3 = S_3 + L_3 \end{cases} \quad (1)$$

где D – допустимое удаление для выдачи разрешения вылетающему ВС.

$$S\{P_0 \leq 0,05\} = m_V \cdot m_X + k \sqrt{\sigma_V^2 \cdot m_X^2 + \sigma_X^2 \cdot m_V^2 + \sigma_X^2 \cdot \sigma_V^2} \quad (2)$$

где S – расчетное удаление, при котором может быть выдано разрешение на занятие исполнительного,

σ_V – среднеквадратичное отклонение скорости,

σ_X – среднеквадратичное отклонение времени руления,

m_V – средняя скорость,

m_X – среднее время руления ВС.

$$m_V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = \frac{1}{n} (V_1 + \dots + V_n) \quad (3)$$

где V_n - значение скорости в установленной точке.

Среднее время руления вычисляется аналогично средней скорости по вышеприведенной формуле (3).

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_n - m_V)^2}{n}} \quad (4)$$

Среднеквадратичное отклонение времени руления вычисляется аналогично среднеквадратичному отклонению скорости по вышеприведенной формуле (4).

Согласно вышеприведенной методике произведем расчет допустимых удалений для ВС типа СУ-95 для ВПП 18:

Согласно формулы (3) найдем средние значения скорости и среднего времени руления ВС.

$$m_v = \frac{74,4 + 73,6 + 73,6 + 64,2 + 75,0 + 68,3 + 75,0 + 71,4 + 64,4 + 71,4}{10} = 71,1 \text{ м/с}$$

$$m_x = \frac{318 + 328 + 331 + 344 + 329 + 344 + 363 + 347 + 338 + 364}{10} = 340,6 \text{ с}$$

Теперь, согласно формулы (4) получим значения среднеквадратичных отклонений скорости и времени руления:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(74,4 - 71,1)^2 + (73,6 - 71,1)^2 + (73,6 - 71,1)^2 + (64,2 - 71,1)^2 + (75,0 - 71,1)^2 + (68,3 - 71,1)^2 + (75,0 - 71,1)^2 + (71,4 - 71,1)^2 + (64,4 - 71,1)^2 + (71,4 - 71,1)^2}{10}} = 3,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(318 - 340,6)^2 + (328 - 340,6)^2 + (331 - 340,6)^2 + (344 - 340,6)^2 + (329 - 340,6)^2 + (344 - 340,6)^2 + (363 - 340,6)^2 + (347 - 340,6)^2 + (338 - 340,6)^2 + (364 - 340,6)^2}{10}}$$

$$= 14,2 \text{ с}$$

$$S = 71,1 \cdot 340,6 + 1,645 \sqrt{3,9^2 \cdot 340,6^2 + 14,2^2 \cdot 340,6^2 + 14,2^2 \cdot 3,9^2} = 26989,7 = 27 \text{ км.}$$

$$D = 27 + 6 = 33 \text{ км}$$

Аналогичным образом рассчитаем параметры для ВПП 36:

$$m_v = \frac{67,2 + 68,3 + 64,4 + 69,7 + 64,4 + 73,1 + 68,3 + 65,0 + 72,2 + 64,4}{10} = 67,7 \text{ м/с}$$

$$m_x = \frac{354 + 358 + 342 + 355 + 370 + 355 + 312 + 356 + 332 + 356}{10} = 312,3 \text{ с}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(67,2 - 67,7)^2 + (68,3 - 67,7)^2 + (64,4 - 67,7)^2 + (69,7 - 67,7)^2 + (64,4 - 67,7)^2 + (73,1 - 67,7)^2 + (68,3 - 67,7)^2 + (65,0 - 67,7)^2 + (72,2 - 67,7)^2 + (64,4 - 67,7)^2}{10}} = 3,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(354 - 312,3)^2 + (358 - 312,3)^2 + (342 - 312,3)^2 + (355 - 312,3)^2 + (370 - 312,3)^2 + (355 - 312,3)^2 + (312 - 312,3)^2 + (356 - 312,3)^2 + (332 - 312,3)^2 + (356 - 312,3)^2}{10}}$$

$$= 14,9 \text{ с}$$

$$S = 67,7 \cdot 312,3 + 1,645 \sqrt{3,1^2 \cdot 312,3^2 + 14,9^2 \cdot 312,3^2 + 14,9^2 \cdot 3,1^2} = 23435,3$$

$$= 23,4 \text{ км}$$

$$D = 23,4 + 6 = 29,4 \text{ км}$$

В соответствии с вышеописанной методикой расчета произведем вычисления для других типов ВС.

Таблица 3 - Расчетные параметры для ВПП МК 184

Тип ВС	ВПП	m_V , м/с	m_X	σ_V , м/с	σ_X	Спотр, км	D
СУ95	184	71.1	340.6	3.9	14.2	27.0	33.0
Б735	184	73.9	343.7	4.4	14.6	28.5	34.5
Б738	184	71.6	337.9	2.1	12.3	26.1	32.1
А320	184	68.3	340.3	3.7	15.6	26.0	32.0

Таблица 4 - Расчетные параметры для ВПП МК 004

Тип ВС	ВПП	m_V , м/с	m_X	σ_V , м/с	σ_X	Спотр, км	D
СУ95	4	67.7	312.3	3.1	14.9	23.4	29.4
Б735	4	71.6	321.7	5.6	30.2	27.7	33.7
Б738	4	69.9	325.1	3.5	17.3	26.0	32.0
А320	4	69.1	308.6	2.9	17.3	23.8	29.8

Используя выше приведенные таблицы 3 и 4, произведем расчет допустимых удалений для всех типов ВС.

Таблица 5 - Допустимые удаления для ВПП МК 184

№	Тип ВС	184			
		СУ95	Б735	Б738	А320
1	СУ95	33.0	34	32.4	31.9
2	Б735	33.3	34.5	32.7	32.1
3	Б738	32.7	33.8	32.1	31.6
4	А320	33.1	34.3	32.5	32.0

Таблица 6 - Допустимые удаления для ВПП МК 004

№	Тип ВС	004			
		СУ95	Б735	Б738	А320
1	СУ95	29.4	31.8	30.3	29.8
2	Б735	31.5	33.7	32.4	32.0
3	Б738	30.5	32.8	31.4	31.0
4	А320	29.4	31.7	30.2	29.8

В качестве рекомендаций для диспетчеров УВД были разработаны таблицы 5 и 6 допустимых удалений для каждого типа ВС и направления рабочей ВПП.

Библиографический список

1. Алешин А.В., Алешин В.И., Крыжановский Г.А. Вероятностные математические модели для определения расчетных позиций воздушных судов в системе УВД при взлете и посадке. В кн.: "Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации", №4 (13), Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2016, С. 97-107. Тираж 500 экз..

2. Алёшин В.И., Бабаев Н.В., Крыжановский Г.А. и др. Методические рекомендации по организации управления потоками прилетающих и вылетающих воздушных судов в районе аэродрома. - М.: Воздушный транспорт, 1993.

3. Крыжановский Г.А. Организация управления воздушным движением - М: Транспорт, 1988 - 264с.

УДК 621.891

ВАРИАНТЫ РЕГИСТРАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОТКРЫТЫХ ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ НОЖНИЦ 14 МН

Гулиашвили Л.Ш.

Научный консультант: канд. техн. наук, доцент Воскресенский В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк.*

Рассматривается сравнение контроля температурного режима во вкладыше подшипника скольжения термосопротивлением прямым замером сопротивления с полумостовой потенциометрической схемой.

Ключевые слова: вкладыш подшипника скольжения, температура зоны трения, терморезистор прямого контроля, полумостовая схема, экспериментальное исследование.

Контроль температуры в подшипниках скольжения, один из важных факторов для длительной и безотказной работы. Известно, что температура влияет на состояние масляного слоя, который при превышении температурным режимом допустимого предельного уровня снижает свои свойства. Нарушение режима смазки ведёт к утрате способности масла разделять трущиеся поверхности, что в свою очередь приводит к прямому контакту поверхностей трения между собой. Такой контакт вызывает задиры в точках контакта, возможные схватывание трущихся поверхностей и даже вырыв металла из фрикционных поверхностей. Например, производственной инструкцией по эксплуатации стана 1250 для ножниц 14 Мн предписывается

постоянный контроль температуры подшипников скольжения, но способа контроля не сообщается, нет о нём упоминания и в документации по ножницам. Поэтому, рассматривается возможный контроль температуры с помощью термосопротивления, размещенного во вкладыше подшипника скольжения. Такая работа ранее проводилась [1].

У способа прямого замера величины термосопротивления есть недостаток – учитывается суммарная температура окружающей среды и зоны трения. В случае, когда необходимо оценить температуру только зоны трения, следует учесть в показаниях температуру окружающей среды. Такой способ контроля выполняется, если будет собрана мостовая или полумостовая измерительная схема сопротивлений, в которой компенсационное термосопротивление будет установлено вне вкладыша, но недалеко от подшипника скольжения, что исключит влияние внешней окружающей среды на показания рабочего термосопротивления.

Для проверки предлагаемого способа температурной регистрации нагрева вкладыша подшипника, проведены следующие два вида экспериментальных измерения. Первый – замер при нагревании мультиметром величины термосопротивления, через меняющуюся от температуры сопротивление, как функцию тока в измеряемой цепи (рисунок 1,а), по шкале градуированной в значениях сопротивления. Второй эксперимент – по способу полумостовой потенциметрической схемы, при которой два одинаковых термосопротивления соединены последовательно в цепь с источником питания (рисунок 1,в). Такое соединение образует полумостовую электрическую цепь, на которой следует контролировать падение напряжения на рабочем терморезисторе, установленном во вкладыше. Второй терморезистор компенсационный, находящийся недалеко, но во внешней среде.

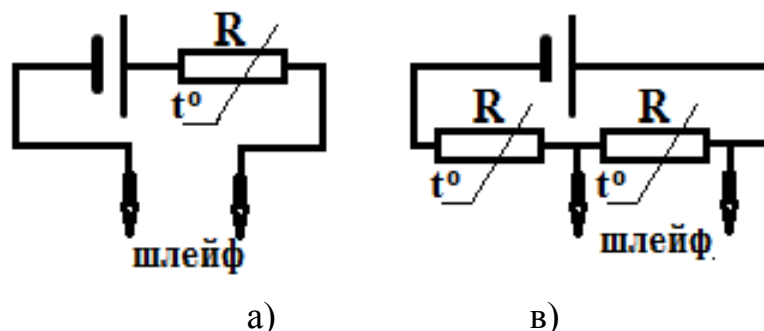


Рисунок 1 - Схема контроля терморезистора по току (а) и по напряжению (в)

С целью проверки и выяснения варианта в одних и тех же условиях были проведёны лабораторные эксперименты.

Терморезистор устанавливали непосредственно в тело вкладыша подшипника скольжения, вплотную с датчиком контролирующим нагрев вкладыша в этой зоне. Используемый терморезистор ТОС-М, дисковый диаметром 6 мм, его холодное номинальное сопротивление при 20° С 6,0

кОм, обладает отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), т.к. по мере нагревания его сопротивление уменьшается. Такой вариант терморезисторов в технике именуется термисторами. Термистор устанавливался в заглублённое отверстие диаметром 6,8 мм, глубиной 50 мм и в это же отверстие помещался датчик контрольного безинерционного электронного термометра RST 02197, со шкалой измерения до 0,1° С.

Эксперименты проводились на вкладыше Бр.А10ЖЗМц2, что соответствует материалу рабочих втулок на эксцентриковом валу ножниц 1400 т стана 1250. В качестве источника нагрева, использовалось жало электрического паяльника, которое располагалось в собственном таком же отверстии на удалении 5 мм от термистора, что создавало локальную температуру нагрева. Эксперименты дублировались.

Схему (рисунок 1,а) собирали в цепь, состоящей из источника напряжения, термистора и мультиметра, регистрирующего через шлейф изменение сопротивления (R) от температуры. Одновременно и автономно измерялась температура термистора по шкале прибора RST. Обработанные результаты эксперимента представлены на рисунок 2, а.

В варианте (рисунок 1,в) с тем же термистором в качестве рабочего была собрана полумостовая потенциметрическая схема. В этой схеме измеряли падение напряжения U на этом же термисторе в зависимости от температуры. Графические результаты представлены на рисунок 2, в.

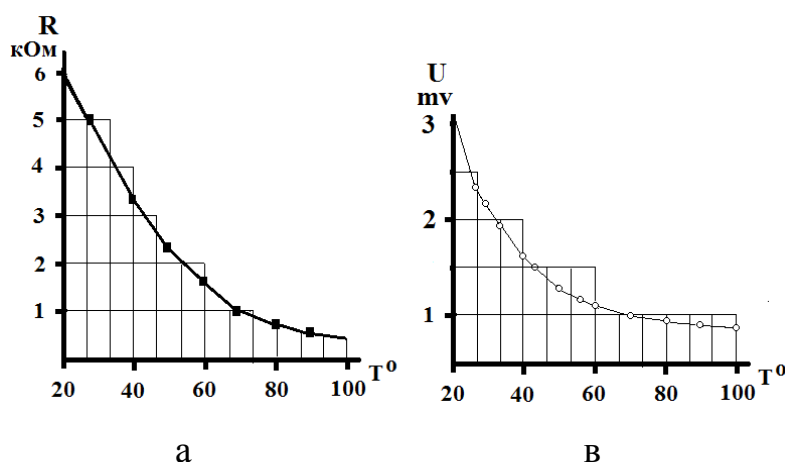


Рисунок 2 - Результаты изменения температуры по сопротивлению (а) и напряжению (в)

Представленные графические зависимости, демонстрируя общее сходство, обращают внимание на нелинейный характер перепада измеряемых параметров: сопротивления и напряжения. Термисторы характеризуются температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) [2], что характеризует изменение сопротивления на один градус. Если отнести общий ТКС отношений значения рассматриваемых величин к диапазону температур, то для прямого замера сопротивления он составляет 0,071, а для замера через по-

лумостовую схему 0,031. Для практической рекомендации контроля температуры в работающем вкладыше, наибольшее важное значение представляет диапазон от 70 до 100⁰ С, т.к. это реальный рабочий режим, а 100⁰ С это уже по инструкции ножниц запрещающая эксплуатация температура.

Для температурного диапазона 70-100⁰С при прямом замере сопротивления температурный коэффициент сопротивления (ТКС) составил 0.023, для потенциометрической схемы 0,0066. Отличие между ними в 3,48 раза. Малое значение ТКС менее чувствительны на изменение температуры и значительнее влияют на погрешности измерений.

Из проведённых экспериментов сделан вывод:

- применение термисторов для контроля температуры подшипников скольжения актуально и реально;
- полумостовые схемы имеют более низкий ТКС, чем прямая оценка меняющегося сопротивления.

Библиографический список

1. Чепенко В.Е. Контроль температуры во вкладышах подшипников скольжения /В.Е. Чепенко - Сб.Наука и молодёж: 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.2017. – Вып. 21.- Ч.V. Технические науки.- 390с.

2. Терморезисторы. Справочная таблица.- Электронный ресурс.- Режим доступа:/ www.electrosad.ru.

V. ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 66

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Сабиров Р.Ф.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Махоткин А.Ф.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: sabirov.9090@mail.ru*

Выполнен анализ способов обеспечения экологической безопасности производства серной кислоты. Мировой объем потребления данной кислоты превысил 180 млн. тонн в год, поэтому задача оптимизации производства, экономии ресурсов и снижения выбросов в атмосферу стоит сейчас особенно остро, потому что даже малый удельный эффект, помноженный на огромный объем производства даст значительную экономию и выгоду.

Ключевые слова: сера, серная кислота, экология, производство, очистка.

При производстве серной кислоты в атмосферный воздух вследствие негерметичности оборудования и неполноты превращения диоксида серы в серный ангидрид выбрасываются значительные количества оксидов серы. Например, при одинарном контактировании степень превращения SO_2 в SO_3 [1] достигает 98 % и содержание диоксида серы в отходящих газах превышает допустимые нормы выброса в атмосферу в 5 и более раз. Поэтому для таких систем предусматриваются специальные установки очистки отходящих газов. Получение серной кислоты методом двойного контактирования [2] обеспечивает конверсию до 99,8 %, при этом выбросы SO_2 [3] в атмосферу снижаются в 2 - 3 раза по сравнению с одностадийным контактированием и никакой дополнительной очистки газа не требуется. Производительность системы увеличивается на 20-25 %, повышается коэффициент использования сырья.

Неорганизованные выбросы аэрозолей серной кислоты от олеумных установок составляют от 0,5 до 5 кг/т готовой продукции. Для очистки отходящих газов сернокислотного производства наиболее широко используются аммиачные способы: аммиачно-сульфатный с получением товарного сульфата аммония или его растворов и аммиачно-циклический с получением 100 %-ного диоксида серы и товарного бисульфита аммония. Указанные способы очистки газов позволяют утилизировать диоксид серы [4] и одновременно получить ценные продукты. Таким образом, производство серной кислоты постепенно становится безотходным. В настоящее время загрязнения воздуха обычно улавливают с помощью одного из следующих методов:

- Модификация технологического процесса с целью предотвращения или минимизации образования загрязняющего продукта.

- Установка новых более эффективных аппаратов.

- Электрофильтры, циклоны, промывные башни и т.д.

- Использование химических или физических процессов, например адсорбции, абсорбции, дожигания, двойного контактирования, каталитического обезвреживания и т.д.

- Конструктивные решения, например двойные, а не одинарные затворы, закрытые вентиляльные системы, улавливающие выбросы.

- Конструкция установки должна обеспечивать надежную и безопасную работу аппаратов, возможность осмотра и очистки, промывки, продувки и ремонта, а также проведения необходимых испытаний.

- Трубопроводы, баллоны, цистерны окрашивают в цвета, соответствующие их содержимому, и снабжают надписью с наименованием хранимого или транспортируемого вещества. Для наблюдения за режимом процесса производства серной кислоты устанавливаются средства автоматического контроля.

При получении диоксида серы из серного колчедана образуется пиритный огарок. Пиритные огарки состоят главным образом из железа (40-63 %) с небольшими примесями серы (1-2 %), меди (0,33-0,47 %), цинка (0,42-1,35 %), свинца (0,32-0,58 %), драгоценных (10-20 г/т) и других металлов.

Выходящий из обжиговой печи газ загрязнён огарковой пылью и другими примесями. Концентрация пыли в диоксиде серы в зависимости от конструкции печей, качества и степени помола сырья составляет от 1 до 200 г/м³. Объём обжиговых газов составляет сотни тысяч кубометров в сутки. Перед переработкой эти газы очищают в циклонах и сухих (агарковых) электрофильтрах до остаточного содержания пыли около 0,1 г/м³. Печные газы подвергают дополнительной очистке путём последовательной промывки охлаждённой 60-75 %-й (в полых башнях) и 25-40 %-й (в насадочных башнях) серной кислотой с улавливанием образующегося тумана в мокрых электрофильтрах. Процесс дополнительной очистки печных газов от пыли сопровождается образованием шламов, накапливающихся в аппаратуре промывного отделения и мокрых электрофильтрах.

Таким образом, твердыми отходами производства серной кислоты из серного колчедана являются пиритные огарки, пыль циклонов и сухих электрофильтров, шламы промывных башен, собирающиеся в отстойниках, сборниках и холодильниках кислоты, и шламы мокрых электрофильтров.

При обжиге серного колчедана отходы пиритных огарков составляют ~70 % от массы колчедана [5]. На 1 т производимой кислоты выход огарка в лучшем случае составляет 0,55 т. Так как сырьем для получения серной кислоты наряду с серным колчеданом, добываемым специально для этой цели, являются отходы, образующиеся при обогащении сульфидных руд флотационным методом и отходы, образующиеся при обогащении каменных углей, то различают три вида пиритных огарков (огарки из колчеданов, огарки из

флотационных хвостов обогащения сульфидных руд, углистые огарки), значительно отличающихся друг от друга как по химическому составу так и по физическим характеристикам. Огарки первых двух типов отличаются значительным содержанием меди, цинка, серебра, золота и других металлов.

Утилизация пиритных огарков возможна по нескольким направлениям: для извлечения цветных металлов и производства чугуна и стали, в цементной и стекольной промышленности, в сельском хозяйстве и др.

Предельно-допустимые концентрации газов, паров и пыли в производстве серной кислоты показано в таблице 1.

Таблица 1- Предельно-допустимые концентрации газов, паров и пыли в производстве серной кислоты

Вещества	В воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м ³	В атмосферном воздухе населенных мест	
		максимальная разовая, мг/м ³	среднесуточная, мг/м ³
Аммиак	20	—	—
Минеральная и растительная пыль, не содержащая SiO ₂ и токсических веществ	10	0,5	0,15
Мышьяковый и мышьяковистый ангидриды	0,3	—	0,003
Мышьяковистый водород	0,3	—	—
Оксиды азота (в пересчете на N ₂ O ₃)	5	0,3	0,1
Оксид углерода	20	6	1
Пыль цемента, глины, минералов и их смесей, не содержащая свободной SiO ₂	6	—	—
Пыль пентоксида ванадия	0,5	—	0,003
Ртуть металлическая	0,01	—	0,0003
Свинец и его неорганические соединения	0,01	—	—
Селен аморфный	2	—	—
Селенистый ангидрид	0,1	—	—
Серная кислота, серный ангидрид	1	0,3	0,1
Сернистый ангидрид	10	0,5	0,15
Сероводород	10	0,008	0,008
Теллур	0,01	—	—
Фосфорный водород	1	0,15	0,05
Фтористый водород	0,5	0,03	0,01
Хлор	1	0,1	0,03
Хлористый водород и соляная кислота (в пересчете на HCl)	5	0,05	0,015

Выводы:

Серная кислота в наши дни достаточно хорошо изучена, найдены многие сферы ее применения, и по объемам мирового производства она вышла на первое место.

Мировой объем потребления данной кислоты превысил 180 млн. тонн в год, поэтому задача оптимизации производства, экономии ресурсов и снижения выбросов в атмосферу стоит сейчас особенно остро, потому что даже малый удельный эффект, помноженный на огромный объем производства даст значительную экономию и выгоду.

Химическое производство в наши дни является неотъемлемой частью нашей жизни, химия окружает нас, а иногда химия уже внутри нас в виде искусственных зубов, синтетических протезов, органов, поэтому, чем эффективнее и продуктивнее будет химическое производство, тем лучше будет наша жизнь.

Библиографический список

1. Лазарев М.Ю., Шарафисламов Ф.Ш., Махоткин И.А., Исследование кинетики реакции каталитического окисления SO₂ в SO₃ на новом и регенерированном катализаторе СВД / Вестник технологического университета. 2012, т.15, в.5, с.32-34

2. Гасанов А. А. О., Ширинова Д. Б. К., Атаев М. Ш. О. Усовершенствования технологии получения серной кислоты методом двойного контактирования //Проблемы современной науки и образования. – 2016. – №. 16 (58).

3. Бубнов В. П., Довнар Д. А. Исследование эколого-экономических показателей систем очистки газовых выбросов от диоксида серы //Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2013. – №. 1.

4. Носков А. С., Пай З. П. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики //Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 1996. – №. 40. – С. 1-156.

5. Амелин А. Г., Яшке Е. В. Производство серной кислоты. – Химия, 1967.

УДК 669.04674:62.56

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОТОПЛЕНИЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

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 котлов I очереди Западно-Сибирской ТЭЦ (ЗС ТЭЦ) при использовании в качестве топлива

каменного угля и коксо доменной смеси. Вариантом снижения вредных выбросов в атмосферу может быть перевод отопления котлоагрегата с твердого топлива на газообразное.

Ключевые слова: тепловая электростанция, атмосфера, уголь, коксо доменная смесь, выбросы.

Энергетика России – одна из ключевых отраслей промышленности страны, и ей принадлежит определяющая роль в организации надежного энергообеспечения различных отраслей экономики, предприятий и организаций бюджетной сферы и населения. При этом ее функционирование не должно приводить к недопустимой деградации окружающей среды в зоне влияния энергопредприятий. Электроэнергетика должна развиваться опережающими темпами для безусловного обеспечения роста экономики при минимизации ее вредного влияния на окружающую среду. Указанное влияние обусловлено технологическими особенностями энергетического производства и не может быть полностью исключено, однако уменьшение негативного влияния энергообъектов на окружающую среду является главной задачей.

От функционирования ТЭЦ в атмосферу выбрасываются следующие вредные компоненты: диоксид азота, оксид азота, сернистый ангидрид, оксид углерода, твердые частицы и бенз[а]пирен. Полностью предотвратить выброс перечисленных компонентов в атмосферу невозможно, но мероприятия, которые помогут снизить их количество есть.

Одно из предлагаемых мероприятий – перевод котлоагрегатов ТЭЦ с твердого топлива на газообразное. Газообразное топливо представляет собой наиболее безопасное органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются оксиды азота, серы и бенз[а]пирен. При неполном сгорании в выбросах присутствует оксид углерода (СО).

В данной работе, на примере Западно – Сибирской ТЭЦ, проведен перерасчет вредных выбросов от сжигания угольного и газообразного топлив I очереди котельной, состоящей из 6 котлов.

Котлы I очереди относятся к типу БКЗ-210-140 и имеют следующие характеристики:

1. Паропроизводительность, т/ч	210
2. Рабочее давление в паросборной камере, кгс/см ²	140
3. Давление перегретого пара, кгс/см ²	140
4. Температура перегретого пара, °С	560
5. Температура питательной воды, °С	230

В качестве твердого топлива на I очереди ЗС ТЭЦ используется уголь марки Д (таблица 1). В таблице 2 приводится состав коксо доменной газовой смеси.

Таблица 1 – Состав горючей массы угля марки Д

Вещество	C	H	O	N	S	A	W
φ, %	75,59	8,9	12,9	1,94	0,64	15,11	15,56

Таблица 2 - Состав коксодоменной смеси

Компонент	CO	H ₂	CH ₄	C _m H _n	CO ₂	N ₂	H ₂ S	H ₂ O	Σ,%
Коксодоменная смесь	9,04	49,6	22,9	1,56	4,03	8,47	0,23	4,17	100

Расчет образующихся вредных выбросов при работе котлоагрегатов на твердом топливе и коксодоменной смеси выполнен при условии равной тепловой мощности, затраченной на выработку 1 тонны пара по методикам [4] и [5]. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сводная таблица результатов расчета вредных выбросов от сжигания угольного и газообразного топлив

Компонент	Выброс вредных веществ при сжигании угля, т/час						Выброс вредных веществ при сжигании коксодоменной смеси, т/час					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
№ котла												
Диоксид азота	0,024	0,0213	0,0256	0,028 ₁	0,028 ₆	0,0266	0,00021	0,00028 ₉	0,00031	0,00033	0,00029 ₆	0,00027
Оксид азота	0,019 ₂	0,017	0,0168	0,017 ₃	0,017 ₆	0,018	0,005	0,0047	0,00456	0,00462	0,00481	0,0049
Ангидрид сернистый (SO ₂)	0,027	0,029	0,026	0,031	0,03	0,033	0,00003 ₉	0,00004 ₁	0,00003 ₉	0,00004 ₃	0,00004 ₅	0,00004 ₇
Оксид углерода	0,075	0,065 ₆	0,066	0,058	0,068	0,061	0,00116	0,00113 ₉	0,00114	0,00111	0,00115	0,00114 ₂
Твердые частицы	0,053 ₈	0,042 ₄	0,043	0,039	0,042 ₇	0,0496	-	-	-	-	-	-
Бенз(а)пирен	0,000062 ₈₁	0,0000036	0,0000023	0,0000035	0,00000383	0,00000032	0,000000042	0,000000467	0,000000049	0,000000046	0,000000047	0,000000043
Всего	0,199	0,175	0,178	0,174	0,187	0,158	0,00641	0,00617	0,00598₉	0,0061	0,0063	0,00635
Сумма	0,9288						0,0373					

По данным таблицы видно, что при сжигании газообразного топлива (коксодоменной смеси) количество вредных выбросов значительно сокращается.

Анализ результатов произведенных расчетов позволяет сделать следующие выводы: использование газообразного топлива приводит к существен-

ному сокращению массы выброса вредных веществ в атмосферу, что в процентном соотношении составляет 95,98 %; при сжигании коксодоменной смеси отсутствуют такие вредные компоненты как зола и сажа (твердые частицы), что позволяет отказаться от использования электрофильтра, и тем самым сократить затраты на электроэнергию.

Библиографический список

1. С.Г. Коротков, Сазонова Я.Е. Сокращение вредных выбросов на ТЭЦ с переводом отопления котлов на газообразное топливо // Труды XX Международной научно-практической конференции Ч. 2 «Металлургия: технологии, инновации, качество» / Министерство образования и науки РФ; редкол.: Е.В. Протопопов (гл. ред.) [и др.]. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – С. 366-369.

2. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнов О.С. Топливо и теория горения. Ч.1 Топливо: учебное пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2011. – 84 с.: ил. 15.

3. Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) для предприятия. – М.: Госкомприрода, 1989. – С. 21.

4. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных: Методическое пособие по выполнению практических занятий по курсу “Промышленная экология” для студентов специальности 320700 “Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов” / Сост. Л.И. Бондалетова, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев. - Томск: Изд. ТПУ, 2000. - 39 с.

5. Расчет процессов горения топлива :практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т ; сост.: О.А. Полях. – Новокузнецк : Изд. Центр Сибггу, 2015. – 23с., ил.

УДК 622.1

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДОГРЕВА ДОБАВОЧНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ КОТЛОАГРЕГАТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЭЦ

Адыбаев Д.Е.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Стерлигов В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, e - mail: diiiman27@mail.ru*

В данной статье представлено предложение по повышению энергоэффективности паросиловой установки (ПСУ) за счёт применения тепловых насосов и использования теплоты конденсата отработавшего пара.

Ключевые слова: ПСУ, энергоэффективность, энтальпия, тепловой насос.

Теплоэнергетика – это отрасль энергетики, в центре внимания которой находятся процессы преобразования тепла в другие виды энергии. Задача теплоэнергетики заключается в изучение тепловых процессов и совершенствования или изобретения новых систем производства тепловой и электроэнергии для нужд населения.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) – разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов).

Технология комбинированного производства электрической и тепловой энергии представляет собой процесс преобразования химически связанного тепла, выделяющегося из топлива при его сжигании, в электрическую и тепловую энергию в паротурбинной установке (ПТУ), основными элементами которой являются котел, турбина, конденсатор и электрический генератор. Рабочим телом в ПТУ являются вода и пар, топливом - уголь, газ. В котле, представляющим собой систему поверхностей нагрева для производства пара из непрерывно поступающей в него питательной воды, в результате химических реакций окисления (горения) органического топлива происходит выделение теплоты, которая передается воде и образуемому водяному пару. Полученный в котле перегретый пар высокого давления поступает в турбину, где его теплота (потенциальная энергия высоких параметров - давления и температуры) превращается в механическую (кинетическую) энергию вращения ротора турбины. С последним связан электрический генератор, в котором механическая энергия превращается в электрическую. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, представляющий собой поверхностный теплообменник с большим числом трубок, внутри которых проходит (циркулирует) охлаждающая вода, подаваемая циркуляционным насосом от гидротехнических сооружений ТЭЦ. В конденсаторе, отработавший в турбине пар, отдает свою теплоту охлаждающей воде, превращаясь в конденсат. Нагретая охлаждающая вода сбрасывается в пруд-охладитель, где за счет испарения с его поверхности охлаждается настолько, насколько она подогрелась в конденсаторе и возвращается в охлаждающий контур турбины. Необходимость отбора теплоты отработавшего пара диктуется требованиями II закона термодинамики, по которому нельзя всё подводимое тепло преобразовать в работу, часть тепла утилизируется («сбрасывается»), для чего и используется конденсатор. Полученный конденсат перекачивается конденсатным насосом через регенеративный подогреватель низкого давления (ПНД) в деаэратор, где освобождается от агрессивных газов (кислорода, углекислоты), вызывающих коррозию оборудования. Сюда поступает хлоридно-сульфатная добавочная вода от водоподготовительной установки (ВПУ) ТЭЦ, восполняющая потери пара и конденсата в цикле. Из деаэратора вода питательным насосом через регенеративный подогреватель высокого давле-

ния (ПВД) подается в паровой котел. Таким образом, замыкается цикл рабочего тела в ПСУ.

Регенеративный подогрев конденсата в ПНД и ПВД за счет использования отборного пара турбины, повышает экономичность ПСУ. Часть пара, отработавшего в турбине, используется для производства тепловой энергии (тепла) для нужд промышленности и населения. Тепло отпускается непосредственно с паром, который расходуется на технологические нужды, и с горячей водой, нагреваемой в бойлерных установках, которая подается на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Для восполнения потерь в системах водоснабжения (горячий водоразбор) осуществляется добавка химически очищенной водой от ВПУ ТЭЦ.

Принцип утилизации тепла, уходящего из технической установки, приводит нас к мысли о возможности использования «сбрасываемого» охлаждающей водой тепла для подогрева конденсата, возвращаемого в котёл. Но в данном случае нельзя использовать традиционный теплоутилизатор (рекуператор), в котором температура уходящих вторичных ресурсов выше температуры подогрева. Для условий используемой задачи можно использовать особый тип устройства - так называемый «тепловой насос».

Тепловой насос (ТН) - устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине [1]. 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 (рисунок 1) картина обратная.

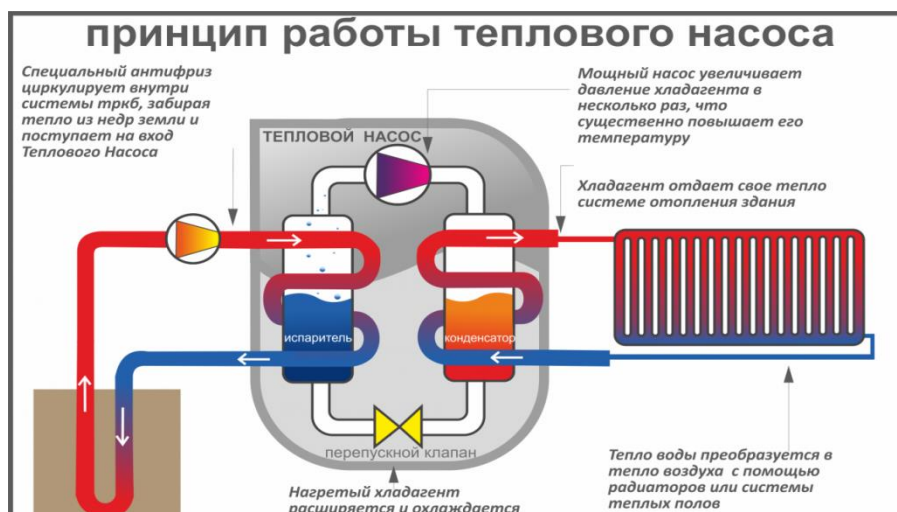


Рисунок 1– Принципа работы теплового насоса

Отбор тепла от охлаждающей воды после конденсатора и перевод этого тепла на более высокий потенциальный уровень с использованием его в

цикле ПСУ, приводит к повышению КПД котлоагрегата.

Термический КПД определяется выражением [2]:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_{п.в}}$$

где i_1 – энтальпия перед турбиной ,

i_2 – энтальпия после турбины в конденсаторе,

$i_{п.в}$ – энтальпия питательной воды

Как видно из уравнения повышение $i_{п.в}$ ведёт к повышению η_t .

Существуют различные схемы включения теплового насоса в схему ПСУ чаще всего для использования тепла из конденсата для систем отопления [3]. В настоящей работе предлагается использования этого тепла для повышения энергоэффективности цикла путём подогрева воды, подаваемой в систему химводоочистки (ХВО). Что касается установки теплообменника для подвода тепла, существует два возможных варианта подключения теплообменника теплового насоса перед или после ХВО. Если на процессы очищения вода в цехе ХВО должна быть подогрета, то выбирается компоновка подключения насоса перед ХВО, если нет, то после ХВО как показано на рисунок 2.

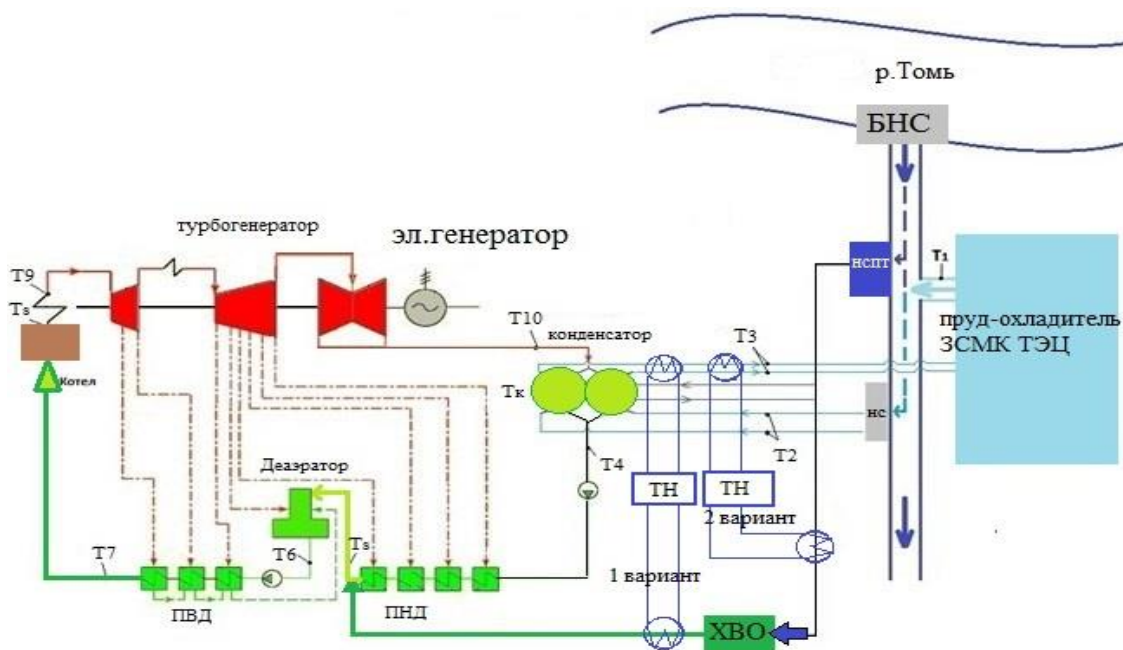


Рисунок 2 – Схема подключения теплового насоса (ТН) в цикл ПСУ

Температура исходной воды зависит от места забора воды. Для нормальной работы водоочистки температура перед ней должна быть $25...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зависит от схемы химводоочистки). Поэтому перед химводоочисткой вода должна быть нагрета горячей водой из котла в водоводяном теплообменнике. После ХВО температура воды на $0...5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже температуры воды перед ней. Для нормальной работы деаэрагора после ХВО устанавливают водово-

дяной теплообменник. Учитывая это, наиболее выгодным вариантом подключением теплового насоса, будет 2 вариант (подогрев воды перед цехом химводоочистки).

В конденсатор обычно поступают перегретые пары теплоносителя, которые охлаждаются до температуры насыщения и конденсируясь, переходят в жидкую фазу. Для конденсации пара необходимо отвести от каждой единицы его массы теплоту, равную удельной теплоте конденсации. В зависимости от охлаждающей среды (теплоносителя) конденсаторы могут быть разделены на следующие типы: с водяным охлаждением, с водо-воздушным (испарительным) охлаждением, с воздушным охлаждением, с охлаждением кипящим холодильным агентом в конденсаторе-испарителе, с охлаждением технологическим продуктом [4]. Выбор типа конденсатора зависит от условий применения. На ТЭЦ чаще всего используется водяное охлаждение конденсатора, когда вода проходя по трубкам расположенным в рабочей среде конденсатора забирает тепло пара тем самым охлаждая его после чего нагретая охлаждающая вода с температурой $t=30-35$ °С сбрасывается в пруд - охладитель и не как не используется в цикле ПСУ.

Библиографический список

1. Каплан А.М. Тепловые насосы, их технико-экономические возможности и области применения. Работы ЦКТИ. Кн. 4, вып. 1.- М.- Л.: Машгнз, 1947, с. 3 - 30.
2. Кушнырёв В.И. и др. Техническая термодинамика и теплопередача. - М.: Стройиздат. 1986. – 464с.
3. Ундриц Г.Ф. Использование холодильных машин для целей отопления. - Изв. Энергет. ин-та нм. г. М. Кржижановского, 1933, т. 1, – 132с.
4. Теплотехника А.М. Архаров, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; Под общ. ред. В.И. Крутова. М., 1986.-432 с.

УДК 502.174 : 662. 613. 53

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ (ПЕЛЛЕТОВ) КАК АЛЬТЕРНИВЫ ТРАДИЦИОННЫМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯМ

Алшынбаев С.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

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

В статье проводится сравнительный анализ использования биотоплива (пеллет) и традиционных энергоносителей.

Ключевые слова: Кузбасс, нетрадиционная энергетика, экология, био-

топливо, пеллеты, уголь.

Анализируя климатические условия Кемеровской области, необходимо отметить, что сочетание тепла, влаги и солнечного света в вегетационный период, несмотря на короткое лето, создает благоприятные условия для роста и развития древесной и кустарниковой растительности на территории области.

Лесистость территории Кемеровской области составляет 61,9 процента, а в пределах административных районов колеблется от 10,2 процента в Ленинск-Кузнецком до 96,2 процента в Таштагольском районах.

В соответствии с приказом Рослесхоза от 16.10.2008 № 300 "Об определении количества лесничеств на территории Кемеровской области и установлении их границ" на землях лесного фонда Кемеровской области создано 19 лесничеств, в составе которых 87 участковых лесничеств, объединяющих леса государственного лесного фонда и леса, расположенные на землях бывших сельхозформирований [1].

Этот ресурс в первую очередь мог бы использоваться предприятиями лесопромышленного комплекса, но их энергоснабжение является централизованным, электроэнергия к производственным участкам подается по высоковольтным электрическим сетям энергетических систем общего пользования и, несмотря на рост тарифов, предприятия такая схема пока вполне устраивает. Отопление также осуществляется централизованно, поэтому большинство предприятий практически не пользуется имеющейся возможностью применять древесные отходы в целях производства тепловой энергии для собственных нужд. Тем не менее, в 2014г. в поселке Калары Таштагольского района открылся завод по производству топливных гранул - пеллет. Местная компания первой в Кузбассе освоила альтернативное топливо, производимое из опилок. И это - в угольном регионе, где жилые дома и большинство промышленных предприятий традиционно отапливаются углем, а регион наполнен шахтами и разрезами. Инвестиционный проект по производству пеллет был включен в перечень приоритетных региональных проектов Кемеровской области. В прошлом году компания - резидент Кузбасского технопарка закупила необходимое оборудование для производства на сумму 25 миллионов рублей, начался монтаж и установка линий. Это направление поможет обеспечить полную безотходность лесозаготовительного производства [2].

Основным аргументом в пользу использования биологического сырья стало то, что биомасса является возобновляемым альтернативным источником энергии, и запасы пропадающей зря биомассы очень велики, особенно в России, с ее огромной пустующей территорией. Их рациональная переработка позволила бы частично решить энергетическую проблему, особенно для удаленных регионов. Существуют и противники биотоплива, главными доводами которых является риск роста цен на сельскохозяйственные культуры, экологическая опасность производства и масштабные вырубki лесов. Однако проблема вырубki лесов в связи с производством биотоплива, скорее, надумана,

потому что древесные отходы часто не находят эффективного применения. Об этом говорят цифры. В настоящее время ежегодно в России заготавливается около 140 млн. м³ древесины от рубок главного пользования и рубок ухода за лесом. При этом более половины приходится на отходы лесозаготовки и деревопереработки. В ближайшие 5-7 лет объем лесозаготовок может возрасти до 200 млн. м³. При проведении рубок ухода за лесом до 60 % древесины является низкокачественной, не имеющей товарной ценности. Общий объем образующихся отходов и низкосортной древесины составляет не менее 40-45 млн. м³ в год, или не менее 10-12 млн. т условного топлива в год.

Древесные отходы лесозаготовок тоже остаются на лесосеке неиспользованными. Эта биомасса создает дополнительные помехи лесному хозяйству в виде засорения древесиной, ветровала, что является причиной увеличения сроков и затрат на последующее лесовосстановление. Древесная биомасса в лесу, а также биоотходы перерабатывающих предприятий создают риск возникновения пожара, размножения вредителей леса, а также являются источником парниковых газов при гниении биомассы.

Производимые сегодня топливные пеллеты – это биологически чистые, экологически безопасные гранулы, получаемые в процессе технологической переработки отходов сельского хозяйства, природного топлива или древесного производства. Для изготовления пеллет подойдет только сырье, которое содержит лигнин, природный полимер. Для производства топливных гранул может использоваться: некачественная древесина; отходы деревообработки; куриный помет; солома; торф; лузга подсолнечника; отходы крупяного производства. Одним из перспективных видов вторичного сырья являются такие отходы лесопромышленности, как опилки. Именно на их основе производятся топливные древесные пеллеты или, иначе говоря, опилочные гранулы. Пеллеты могут отличаться по своему составу. Они могут быть из чистой древесины безо всяких примесей, а также из древесины вместе с корой, кроме того, в них довольно часто добавляют шелуху подсолнечника, солону и т.д.

Пеллеты как вид топлива появились сравнительно недавно, но благодаря натуральности и высокой теплоте сгорания они получили большое распространение в Европе, странах Северной Америки, Японии. Рост их потребления обусловлен возможностью использования гранул на промышленных теплоэлектростанциях и установках, предназначенных для частного применения. В готовом виде пеллеты представляют собой цилиндры диаметром 6-10 мм длиной до 50мм [3]. Хранение даже больших запасов такого теплоносителя не требует особых мер предосторожности и контроля. В отличие от древесной щепы и опилок, пеллеты не подвержены самовозгоранию. По теплоте сгорания древесные гранулы аналогичны углю, или 2 кг пеллет заменяют 1 кг дизельного топлива.

Пеллеты являются энергетически стабильным, безотходным и экологичным видом топлива. В качестве исходного материала для производства топливных гранул в большинстве случаев используют отходы деревообра-

творяющих производств и сельскохозяйственной промышленности. Проблема утилизации таких отходов стоит в любой стране. Ранее данные виды отходов просто вывозились на полигоны захоронения, где впоследствии гнили и через некоторое количество времени воспламенялись или, в лучшем случае, начинали тлеть. Один из наиболее эффективных способов решения проблемы – это переработка отходов в топливные брикеты и пеллеты.

При сжигании пеллет достигается КПД до 94 %, газа – 92 %, дров - до 70 %, угля – 75 %. По своим тепловым свойствам пеллеты превосходят дрова, щепу и бурый уголь. Гранулы производят без использования химических укрепителей. Экологические показатели вне конкуренции: в выбросах практически отсутствует сера, эмиссия углекислого газа ниже в 10 — 50 раз, чем у любого другого вида топлива. Зольность пеллет 0,5 – 3 %, газа – 0 %, дров 3-6 %, угля 35-60 %. Сравнительные характеристики разных видов топлива представлены в таблице и построены диаграммы, где представлено процентное соотношение теплоты сгорания и зольности различных видов топлива (Таблица 1).

Таблица 1– Сравнительные характеристики различных видов топлива

Вид топлива	Влажность в %	Зольность в %, весовая	Сера в %, весовая	Теплота сгорания, мДж/кг	Удельный вес, кг/м ³	Содержание CO ₂ в дымовых газах	КПД установки сжигания, в %	Экологический ущерб	Стоимость ед. произведенного тепла, руб/Гкал
Щепа, опилки	8-60	2	0-0,3	16-18	200-350	0	60	Отсутствует	470
Топливные гранулы	8-10	0,4-0,8	0-0,3	19-21	550-700	0	90	Отсутствует	677,5
Каменный уголь	10-40	25-35	1-3	15-17	1200-1500	60	70	высокий	720
Дизельное топливо	0,1-1	1	0,2	42,5	820-890	78	90	высокий	2008
Мазут	1-5	1,5	1,2	42	940-970	78	80	высокий	1133
Электрическая энергия	-	-	-	4300 мДж/м ³	-	-	100	Отсутствует	2106
Газ	3-5	-	0-0,3	9000 мДж/м ³	-	0	95	Отсутствует	762

Пеллеты не содержат пыль и споры, которые вызывают аллергию у людей. Они не имеют запаха в отличие от стандартных видов топлива. При хранении топливные гранулы не самовоспламеняются от повышения температуры, не взрывоопасны в отличие от газа, могут сохраняться в непосред-

ственной близости от жилищных помещений, не набирают влаги из воздуха, поэтому их высокая теплота сгорания не снижается со временем. Гранулы удобно транспортировать и хранить – необходимая площадь в два раза меньше, чем при транспортировке и хранении дров, торфобрикетов, легко поддаются автоматизации за счет хорошей сыпучести, которая делает их удобными в использовании. Пепел, который остается при сгорании деревянных и торфяных гранул, с успехом применяется как удобрение на приусадебных газонах или грядках.

Иными словами, это те же самые дрова, сформированные в удобную для транспортировки, хранения и применения форму. В качестве склеивающей составляющей используется природный компонент древесины – лигнин, который при достижении определенной температуры склеивает частицы. Сырьем для производства пеллет могут быть как деловая древесина, так и древесные отходы: кора, опилки, щепка и другие отходы лесозаготовки и лесопереработки. Устойчивое теплоснабжение на основе местного возобновляемого топлива в зимний период – это решение актуальной проблемы для многих отдаленных поселений.

Использование древесного биотоплива – это вклад в реализацию Киотского протокола с учетом характерных для Российской Федерации высоких энергетических затрат на одного человека в год на уровне 4,2 тонн условного топлива (т.у.т.). Анализ мирового опыта показывает, что эффективность преобразования энергии, получаемой при сжигании древесины с использованием передовых технологий, становится сравнимой с традиционными генераторами, работающими на ископаемом топливе. Использование древесного биотоплива представляется перспективным для проектов совместного осуществления в рамках «механизмов гибкости» Киотского протокола. Пеллеты являются частью натурального круговорота CO в окружающей среде.

Пеллеты являются экологически чистым топливом, так как при их сгорании выделяют ровно столько CO, сколько было впитано деревом при его росте (закрытый углеродный обмен), в отличие от угля и др., т.е. при сжигании топливных гранул количество выделяемого углекислого газа в атмосферу не превышает объем выбросов, который образовался бы путем естественного разложения древесины. Пеллеты относятся к возобновляемым источникам энергии, в отличие от угля, нефти и газа. Известно, что от котельной, работающей на дизельном топливе или на угле, зачастую исходит неприятный запах. Пеллеты при горении не имеют запаха, и, как правило, за счет высокого КПД котельного оборудования дым от пеллет практически бесцветен. За счет низкого содержания серы в пеллетах уменьшаются выбросы в атмосферу двуокиси серы, а это, в свою очередь, ведет к уменьшению количества кислотных дождей. Пеллеты также выигрывают по всем позициям у каменного угля и жидкого топлива в области выброса других вредных веществ.

Как видим, у такого продукта, как древесные гранулы, довольно широкий круг применения. Помимо вышеописанного, пеллеты иногда заменяют

дрова в обычных каминах (для этого гранулы помещают в специальные металлические корзинки, которые ставят в камин); в Европе пеллетами часто засыпают детские площадки; пеллеты в качестве адсорбента можно применять наряду со стружкой для уборки разлитых нефтепродуктов на АЗС, в автосервисных мастерских и т. п.

Производителям и трейдерам древесных гранул нужно творчески подходить к решению вопроса реализации продукции, и тогда постепенно отпадут проблемы с ее сбытом, особенно в летний период.

Библиографический список

1. Сливной В.Н. Перспективы возобновляемой энергетики в Кузбассе. III Международная конференция «Возобновляемая энергетика – проблемы и перспективы». – Махачкала, 2014. – С.43-46.
2. Перспективы возобновляемой энергетики Кемеровской области. Кемерово, 2008. – 234 с.
3. Лосюк Ю.А., Кузьмич В. В. Нетрадиционные источники энергии. – Минск, УП «Технопринт». – 2005. – 233 с.
4. Рябов Г.А., Долгушин И.А. Использование на ТЭЦ технологии циркулирующего кипящего слоя при совместном сжигании биомассы и ископаемых топлив / Электрические станции, №10. – 2012. – 15 с.
5. Аблаев А.Р. Биотопливо и биоэнергетика в России и в мире. Международный Конгресс по Биодизелю, 26 Ноябрь, 2008. – Международный торговый центр, Москва, Россия.
6. Васильев Р.Г. Бионенергетика как основа устойчивого развития регионов России. – Международный конгресс по биодизелю. – 27 ноября, 2008. – Москва, 2008.

УДК 674.816.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Арсланова Г.Р., Габидуллин А.М., Гильмутдинов И.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Сафин Р. Г.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: al_gabidullin@mail.ru; 94arslanovagulshat@mail.ru.*

Изучен химический состав древесины лиственницы. Построены экспериментальные зависимости выхода биологически активных веществ из древесины лиственницы в зависимости от температуры и удельной поверхности щепы.

Ключевые слова: Экстракция, лиственница, биологически активные вещества.

Развивающийся кризис органического сырья способствует привлечению внимания ученых и исследователей к возможности использования возобновляемых растительных ресурсов, к их переработке с целью получения ценных компонентов. Одним из перспективных видов органического сырья является древесина лиственницы и отходы ее переработки в химико-лесной промышленности [1].

Особое внимание ученых и исследователей привлекают большие запасы лиственницы в нашей стране, особенности ее физико-химических свойств и состава. Лиственница содержит в себе множество ценных компонентов. Так, например, хвоя дерева содержит эфирное масло, состоящее из пинена, барнеола и борнилацетата, аскорбиновую кислоту, клеящее вещество [2]. Кора и древесина лиственницы содержит дубильные вещества, камедь, катехины, флавонолы, антоцианы, органические кислоты, дигидрокверцетин и арабиногалактан. В состав живицы входят эфирное масло и канифоль (твердая смола). Наибольший интерес представляют собой такие ценные компоненты, как флавоноиды, с преобладающим (более 80 %) содержанием дигидрокверцетина [3].

Флавоноиды – одна из самых многочисленных и широко распространенных групп природных соединений, привлекающая все больше внимания в настоящее время, из-за их необычайно широкого спектра биологической активности [4]. Исследование флавоноидных соединений коры лиственницы было начато в 70-х годах [5].

Данные исследования посвящены изучению мономерных флавоноидов и их гликозидов, по некоторым данным их суммарное содержание не превышает 20–30% от общего содержания экстрагируемых флавоноидных соединений. Основную долю составляют би-, олиго- и полимерные флавоноиды.

При изучении бифлавоноидов, процианидинов и конденсированных танинов лиственницы для определения их мономерных блоков возникла необходимость систематизации ранее идентифицированных флавоноидных соединений.

Данные полезные компоненты могут использоваться в различных областях промышленности. А также одновременно могут решить экологическую проблему по утилизации отходов [6].

На базе кафедры переработки древесных материалов были проведены эксперименты по экстракции древесины лиственницы. Изучен выход биологически активных веществ при экстракции ядровой древесины лиственницы. Экстрактивные вещества извлекались из измельченной древесины этиловым спиртом. Затем экстракт упаривался при 60°C и обрабатывался горячей водой для выделения основного продукта – дигидрокверцетина. Затем экстракт отфильтровывался и высушивался.

В результате этой операции получалась субстанция, содержащая до 5 % биологически активных веществ, где основным веществом являлся дигидрокверцетин до 92÷94 %. Выделяемые вместе с ним сопутствующие флавоноиды □ дигидрокемпферол (до 6 %) и нарингенин (до 2 %) □ обладают менее выраженной аналогичной биологической активностью.

На базе кафедры были проведены исследования по экстрагированию древесины лиственницы по описанному выше методу. Материалом для экспериментов послужила ядровая древесина лиственницы, собранная на территории г. Казани. Проводились эксперименты при различной температуре, влажности исходного сырья, а также при различной удельной поверхности щепы. На рисунке 2 показан выход биологически активных веществ в зависимости от температуры при различной влажности щепы: 0,5 %; 15 %; 30 %; 60 %.

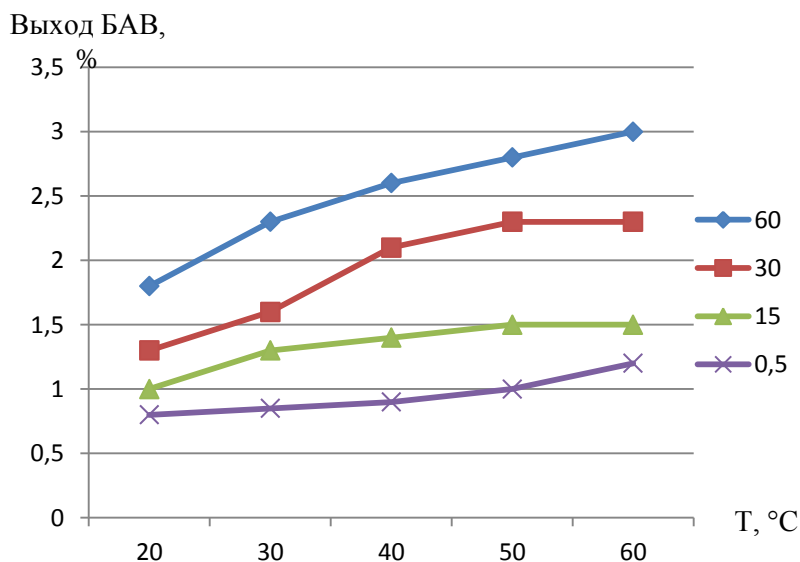


Рисунок 2 - Выход биологически активных веществ в зависимости от температуры при различной влажности щепы: 0,5%; 15%; 30%; 60%.

Также были проведены эксперименты с сырьем разного удельного объема. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3.

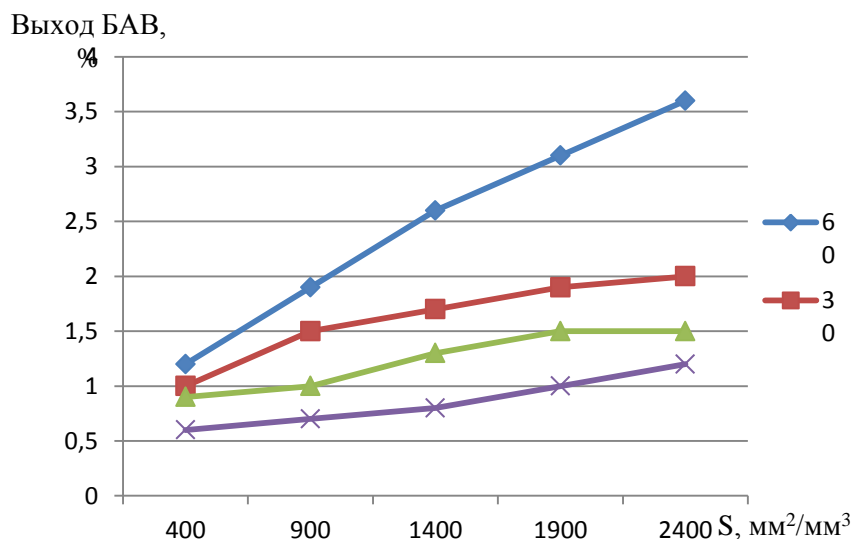


Рисунок 3 - Выход биологически активных веществ в зависимости от удельной поверхности щепы при различной влажности 0,5%; 15%; 30%; 60%

Результаты данных экспериментов показывают, что на выход биологически активных веществ оказывают влияние влажность исходного сырья, температура проведения процесса и удельная поверхность исходного сырья. Чем выше данные показатели, тем больше выход биологически активных веществ из лиственницы можно получить.

Несмотря на разнообразие практически ценных свойств биологически активных веществ, входящих в состав лиственницы и относительную ее доступность, в России нет промышленного производства по извлечению данных компонентов. Результаты исследований дают надежду на то, что в ближайшее время ситуация изменится, и биологически активные вещества из лиственницы займут достойное место среди продуктов лесохимии в нашей стране.

Библиографический список

1. Воронин, А. Е., Зиятдинова, А. Р. Способы получения полезных продуктов из отходов деревопереработки, преимущественно древесной зелени. М.: Деревообрабатывающая промышленность, 2012. – 32 с.
2. Зиятдинова Д. Ф. Экспериментальная установка для получения хвойного экстракта из древесной зелени / Д. Ф. Зиятдинова, Р. С. Альмухаметов, Г. Р. Арсланова, А. Р. Шакиров // Международная научно-практическая конференция «Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств». – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016. - С. 429-431.
3. Сайфутдинов, Д.М. Обзор отечественных исследований в области получения биологически активных веществ из биомассы березы / Д.М. Сайфутдинов, А.В. Сафина, Р.Г. Сафин, А.Р. Хайрутдинова, К.В. Валеев, Л.Ш. Асаева, Д.А. Шайхутдинова // Журнал «Деревообрабатывающая промышленность». -2018. - В.1. -с.56-64.
4. Арсланова, Г. Р. Закономерности процесса экстракции растительного сырья / Г. Р. Арсланова, Т. О. Степанова, А. М. Габидуллин // Международная научная конференция Areas of scientific thought, 2017. – 19-22 с.
5. Тимербаев Н. Ф. Повышение энергоэффективности процесса экстракции / Н. Ф. Тимербаев, А. В. Сафина, Г. Р. Арсланова, Д. Ф. Зиятдинова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. – Т. – 19. - № - 5-6. – С. 35-40
6. Зиятдинова, Д. Ф. Экспериментальная установка для получения хвойного экстракта из древесной зелени / Д. Ф. Зиятдинова, Р. С. Альмухаметов, А. Р. Шакиров, Г. Р. Арсланова.// Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 624 с.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ

Ахметова Д.А., Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р.

Научный руководитель: д-р техн.наук, профессор Сафин Р.Г.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: pdm_d@list.ru*

В настоящее время наблюдается тенденция к извлечению биологически активных веществ из растительного сырья. Они обладают большим спектром лекарственных свойств и являются ценным сырьем для разных областей промышленности. В связи с этим разработка новых подходов к комплексной переработке древесины с целью снижения техногенных загрязнений, повышения экологической безопасности и рентабельности производства весьма актуальна.

Ключевые слова: биомасса, сырье, экстракция, смола, лиственница.

Биомасса дерева используется как сырьё и как источник энергии, при этом рациональное использование лесных ресурсов: глубокая переработка древесины, сокращение отходов ЦБП, увеличение использования вторичного волокна – является одной из актуальнейших задач во всём мире. Для России рациональное природопользование неразрывно связано с комплексным использованием лесных ресурсов Сибири и Дальнего Востока, где господствующей хвойной породой является лиственница [1, 2].

Отличительной особенностью этого вида древесины является наличие в ней большого содержания водорастворимых полисахаридов арабиногалактана (АГ) и т.д., что приводит к затруднениям при глубокой переработке биомасс. Особое внимание к древесине лиственницы определяется ее большими запасами в нашей стране, особенностями ее физико-химических свойств и составом компонентов. Наибольший интерес биомасса лиственницы представляет благодаря наличию в ней специфических экстрактивных веществ с широким спектром полезных свойств. Промышленное освоение лиственничных лесов сдерживается экономическими и экологическими факторами, обусловленными все более жесткими требованиями к регламентации отходов производства. Существующие в настоящее время производства по переработке древесины чаще всего узкопрофильные, что приводит к образованию многотоннажных отходов. В связи с этим разработка новых подходов к комплексной переработке древесины с целью снижения техногенных загрязнений, повышения экологической безопасности и рентабельности производства весьма актуальна.

Экстрактивные вещества извлекаются из измельченной древесины горячим этилацетатом. После упаривания этилацетата экстракт обрабатывается

горячей водой для удаления из него основного количества дигидрокверцетина. В результате этой операции получается субстанция, содержащая 92-94 % основного вещества - ДКВ. Выделяемые вместе с ним сопутствующие флавоноиды - дигидрокемпферол (до 6 %) и нарингенин (до 2 %) – обладают менее выраженной аналогичной биологической активностью [3].

Смола лиственничная экстракционная (СЛЭ) – так названа фракция, представляющая собой сумму веществ, оставшихся в экстракте после удаления ДКВ. Предварительные испытания биологической активности этого продукта показали перспективность его использования в сельском хозяйстве (регулятор роста растений) и медицине (бактерицидное и ранозаживляющее действие). Выход фракции СЛЭ составляет около 3 % от массы древесины. До 30 % состава СЛЭ представлено полимерными производными ДКВ различной степени полимеризации. Предлагаемая технология извлечения ДКВ, АГ и СЛЭ отличается от существующих высокими технологическими и экономическими показателями. Степень извлечения ДКВ достигает 90-95 %, АГ – 80-90 %, суммарных экстрактивных веществ – 85-90 %. Потери растворителя составляют не более 1 %. При этом следует отметить, что все извлекаемые экстрактивные вещества сохраняют свои нативные свойства и обладают высокой биологической активностью. Особенностью данной технологии является отсутствие отходов производства, замкнутый водооборот, минимальные затраты тепло- и энергоресурсов.

Библиографический список.

1. Антоновский, С.Д. Получение и переработка водорастворимых гемицеллюлоз древесины лиственницы / С.Д. Антоновский, В.Н. Кулакова, А.Ф. Чочиева // Химия древесины. - 1971. - №8. - С. 147-154.
2. Бобров, Е.Г. Лесообразующие хвойные породы СССР / Е.Г. Бобров. - Л.: Наука, 1978. - 189 с.
3. Дылис, Н.В. Лиственница / Н.В. Дылис. - М.: изд-во "Лесная промышленность", 1981. - 96 с.

УДК 661.183.2

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Ахметова Д.А., Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Сафин Р.Г

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: pdm_d@list.ru*

Представлен обзор современного состояния процесса термомодификации древесных материалов. В работе показана эффективная и энергосберегающая технология по получению термомодифицированной древесины.

Проведен аналитический расчет процессов сушки и нагревания, коллоидных капиллярно-пористых тел.

Ключевые слова: термодревесина, температура обработки, технология обработки, сушка, термообработка.

Термомодификацией называется процесс обработки древесины высокотемпературной средой (150-280 °С): паром, инертным газом, жидкостью. В результате модифицирования древесина изменяет свои свойства: цвет, биостойкость, степень набухания, механические свойства, сорбционные характеристики [1, 2].

Одним из наиболее актуальных и новых направлений является создание и внедрение новых материалов с высокими эксплуатационными характеристиками. Именно к таким новшествам относится термомодифицированная древесина. Она отличается усовершенствованными характеристиками. При этом российский рынок термодревесины (ТМД) находится на стадии разработки и усовершенствования. Рынок развития по ТМД удерживается. На это есть ряд причин. Во-первых, по причине того, что термодревесина практически неизвестна ни среди пиломатериалов, ни на рынке продукции глубокой переработки древесины. Во-вторых, распространение инновационного материала имеет затяжные темпы из-за достаточно высоких на неё цен. Следует отметить, что эти же причины, которые оказывают сдерживающее влияние на развитие рынка ТМД, называют и европейские специалисты. Говоря о термодревесине, представляется целесообразным разделить ее на два типа: первая из них – это термодревесина, изготовленная из пород, имеющих быстрый темп роста, такие как береза, ель, осина, сосна; вторая – это термодревесина, произведенная из ценных пород древесины (бук, дуб, ясень, некоторые тропические виды). И если первая предполагает придание быстрорастущим породам высоких потребительских качеств, приближающих их к ценным породам, а, зачастую, и превосходя их, то вторая – это дорогостоящая продукция, где на первое по значимости место выходит эксклюзивность и уникальность материала, обладающего новыми, неповторимыми характеристиками и преимуществами (к примеру, древесина недавно свежего дуба приобретает параметры мореного); данная категория рассчитана на потребителей с достаточно высокими доходами, значительно выше среднего [3, 4].

Именно по этой причине в зависимости от модифицируемого материала и требуемой глубины и степени обработки, европейские стандарты подчеркивают три класса термодревесины:

Класс 1. Обработка ведется в промежутке температур 190 – 210 °С. Никаких значительных изменений физических свойств материала не происходит. Главное назначение этого режима – присвоение определенных декоративных свойств древесине: ее цвет темнеет, приобретает коричневатый, красноватый или желтоватый тон. Обработанную таким образом древесину

рекомендуется использовать в тех же случаях, что и древесину не подвергшуюся термообработке.

Класс 2. Температура обработки колеблется от 210 до 230 °С. В результате обработки примерно в 3-4 раза повышается устойчивость к гниению, но в то же время снижаются гибкость и эластичность. Из такой древесины производят наиболее качественные пиломатериалы, садово-парковые конструкции, отделочные панели и полы, мебель для дома и сада, окна, двери и ещё много изделий [5÷7].

Класс 3. Обработка ведется при температуре свыше 230 °С. Термодревесина с таким классом обработки рекомендуется в тех случаях, когда нужна очень высокая устойчивость к гниению и способность противостоять сырости. При этом снижаются гибкость и высокоэластичность. Например, для изготовления окон, наружных дверей, наружной отделки стен, уличных настилов, оград, конструкций детских площадок и многих других изделий.

Аналитический расчет процессов сушки и нагревания коллоидных капиллярно-пористых тел базируется на решении дифференциальных уравнений теплопереноса. Для описания и объяснения изменения во времени полей влажности и температуры по толщине материала используют уравнения, предложенные А.В. Лыковым в следующей форме:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) + a_m \delta \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right),$$
$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a_r \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right).$$

Библиографический список

1. Ананьин П.И., Петри В.Н. Высокотемпературная сушка древесины. – М.: Гослесбуиздат, 1963. – 127 с.
2. Андреева А.А., Преловская А.А. Сравнительная оценка методов расчета продолжительности сушки пиломатериалов. // Деревообрабатывающая промышленность. – 1970. – № 11. – С. 12-14.
3. Беляев Е.Ю. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // Химия растительного сырья // №2. – 2000. – С. 5-15.
4. Воскобойников И.В. Технология производства активированных углей из древесных отходов / И.В. Воскобойников, А.О. Шевченко, В.М. Щелоков // «Лесной вестник». – 2012. – №8 – С.56-58.
5. Кинле Х. Активные угли и их промышленное применение: пер. с нем. / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л. : Химия, 1984. – 216 с.
6. Хабибуллина А.Р. Пирогенетическая переработка древесных отхо-

дов в активированный уголь: дис. канд. техн. наук – М., 2018.

7. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 336 с.

7. Юрьев Ю. Л. Технология лесохимических производств. Ч. 1. Пиролиз древесины. – Екатеринбург: УГЛТА, 1997. – 99 с.

УДК 504.054 (571.17)

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДА НОВОКУЗНЕЦКА

Шарипова Н.В., Богданова Я.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nadya_v2015@mail.ru*

В данной статье рассмотрена проблема загрязнения вод города Новокузнецка. Представлены основные источники загрязнения водных объектов и основные водопотребители города. Приведена методика исследования и анализ качества вод г.Новокузнецка.

Ключевые слова: качество воды, источники загрязнения, аммоний, нитриты, нитраты, фториды, водородный показатель рН.

В течение как минимум двух тысячелетий качество воды постоянно ухудшается и достигает таких уровней загрязнения, когда использование воды в разных целях сильно ограничено или вода может быть вредна для человека. Это ухудшение связано с социально-экономическим развитием в пределах бассейна реки, но атмосферный перенос загрязнителей на далекие расстояния теперь изменил эту картину: даже удаленные районы могут быть подвергнуты непрямоу загрязнению.

В последние годы все водные объекты испытывают все более мощное антропогенное влияние. Это связано с бурным ростом городов, с работой промышленных предприятий, которые оказывают непосредственное влияние на поверхностные воды, осуществляя сбросы нагретых и загрязненных вод в водные объекты.

Новокузнецк расположен в бассейне р.Томи. Река Томь и ряд ее притоков являются наиболее загрязненными водотоками на юге Западной Сибири, а г.Новокузнецк - наиболее загрязненным пунктом контроля реки. По территории г. Новокузнецка протекают более 10 рек и речек.

Основными источниками воздействия на данные водные объекты являются: ЗАО «Водоканал»; АОО «ЗСМК»; Шахта «Антоноваская»; Шахта «Полосухинская»; АОО «КМК»; АОО «НКАЗ»; Абагурская аглофабрика; Зап-Сиб ТЭЦ; Завод «Универсал»; АО «Органика» и прочие, более подробная инфор-

мация с объемом загрязняющих веществ представлена в таблице 1 [1].

Таблица 1- Сброс сточных вод в поверхностные водоемы предприятий г. Новокузнецка

Предприятие	Объем сточных вод (тыс. м ³ /год)	Сброс загрязняющих веществ (т/год)	Удельный вес (%)
Всего по городу	225343,36	65368,42 (в 1997 году 70912,79)	100%
в т. ч. предприятия вносящие наибольший вклад в загрязнение водоемов:			
ЗАО «Водоканал»	99685	31591,69	48,33
ОАО «ЗСМК»	39786	17951,95	27,46
Шахта «Антоновская»	3546	7994,41	12,23
Шахта «Полосухинская»	1158	3402,11	5,20
ОАО «КМК»	41987	908,35	1,39
ОАО «НКАЗ»	3871	2493,55	3,81
Абагурская аглофабрика	135	193,96	0,30
Зап-Сиб ТЭЦ	7279	232,82	0,35
Завод «Универсал»	338	78,11	0,12
АО «Органика»	82	0,84	0,001
Прочие	27475,36	520,63	0,809

Основными водопотребителями города являются:

- ОАО «КМК» - 109,073 млн.м³/год
- ОАО «ЗСМК» - 124,25 млн.м³/год
- ЗАО «Водоканал» - 99,40 млн.м³/год
- Западно-Сибирская ТЭЦ - 109,72 млн.м³/год
- Кузнецкая ТЭЦ - 24,59 млн.м³/год [1]

При изучении проблематики загрязнения вод г. Новокузнецка было проведено исследование и анализ уровня загрязнения водных ресурсов г. Новокузнецка. А именно, воды с реки Есаулка (Деревня Есауловка, Новокузнецкий р-он) и снега с улицы Чекалина 14 (Кузнецкий р-он). Точки забора проб представлены на рисунке 1.

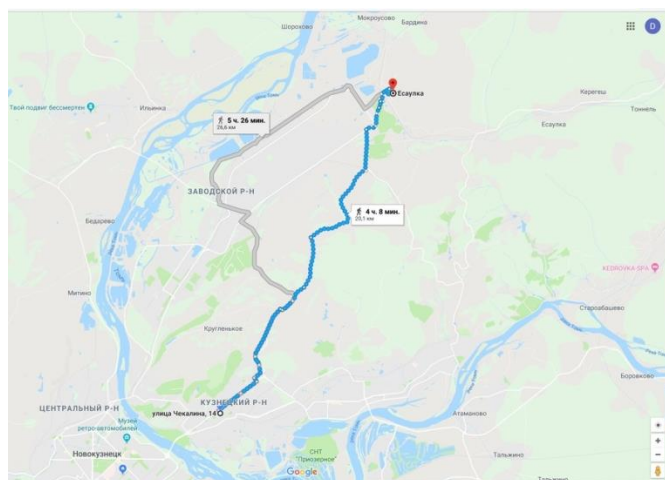


Рисунок 1- Точки забора проб воды и снега в г. Новокузнецк

Для проведения исследований было использовано лабораторное оборудование: спектрофотометр ПЭ 5400 ВИ, анализатор воды АНИОН – 7051 (рН-метр), анализатор воды АНИОН 4100 (иономер), фотоколориметр КФК-2 УХЛ.4. Оборудование показано на рисунках 2-5.

Спектрофотометр ПЭ 5400 ВИ (рисунок 2) предназначен для измерения коэффициента пропускания, оптической плотности и концентрации жидких проб различного назначения.

Принцип действия спектрофотометра основан на сравнении светового потока Φ_0 , проведенного через растворитель или контрольный раствор, по отношению к которому проводится измерение, и светового потока Φ , прошедшего через исследуемую среду.

Световые потоки Φ и Φ_0 преобразуются фотоприемником в электрические сигналы U , U_0 . Также измеряется U_1 – сигнал неосвещенного приемника. По величинам этих сигналов микропроцессором спектрофотометра рассчитывается и отображается на дисплее результат измерения в виде коэффициента пропускания, оптической плоскости или концентрации в зависимости выбранного режима измерения.



Рисунок 2 - Спектрофотометр ПЭ 5400 ВИ

Анализатор воды АНИОН – 7051 (рН-метр) (рисунок 3) предназначен для измерения показателя активности ионов водорода (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и температуры водных растворов. Измерение рН, Еh и температуры осуществляется с помощью измерительного преобразователя и набора электродов.

Прибор представляет собой комплект, включающий преобразователь, блок сетевого питания и набора электродов.



Рисунок 3 - Анализатор воды АНИОН – 7051 (рН-метр)

Лабораторный анализатор жидкости АНИОН 4100 предназначен для измерений ЭДС, pH, молярной, массовой концентрации ионов, удельной электрической проводимости и солесодержания, концентрации растворенного кислорода, а также температуры водных сред при анализа природных и техногенных вод.



Рисунок 4 - Анализатор воды АНИОН 4100 (иономер)

Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2 предназначен для измерения в отдельных участках диапазона длин волн 315...980 нм, выделяемых светофильтрами, коэффициентов пропускания и оптической плотности жидкостных растворов и твердых тел, а также определения концентрации веществ в растворах методом построения градуировочных графиков.

Фотоколориметр КФК-2 позволяет также производить измерения коэффициентов пропускания рассеивающих взвесей, эмульсий и коллоидных растворов в проходящем свете.



Рисунок 5- фотоколориметр КФК-2

Отбор проб воды осуществлялся в марте 2019 года. Для данного исследования были выбраны следующие объекты:

Проба №1. Река Есаулка. Деревня Есауловка (Новокузнецкий р-он) .

Проба №2. Снег на ул. Чекалина 14 г. Новокузнецк (Кузнецкий р-он).

Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты лабораторных исследований

	Деревня Есауловка (Новокузнецкий р-он) Река Есаулка, мг/л	Г. Новокузнецк (Кузнецкий р-он) Ул. Чекалина 14 (снег), мг/л	ПДК, мг/л [4]
Дата отбора	20.03.19 года	21.03.19 года	
рН	7,48	6,0	6-9
Аммоний, мг/л	0,172	1,03	0,39
Нитриты, мг/л	0,023	0,047	0,02
Нитраты, мг/л	3,267	0,889	9
Фториды, мг/л	0,415	2,05	0,75

- ПДК – предельно допустимая концентрация примеси, установленная Минздравом России.

На рисунке 6 представлена диаграмма соотношения ПДК к измерениям полученным в результате проведенного анализа по данным загрязнителям водных объектов г. Новокузнецка.

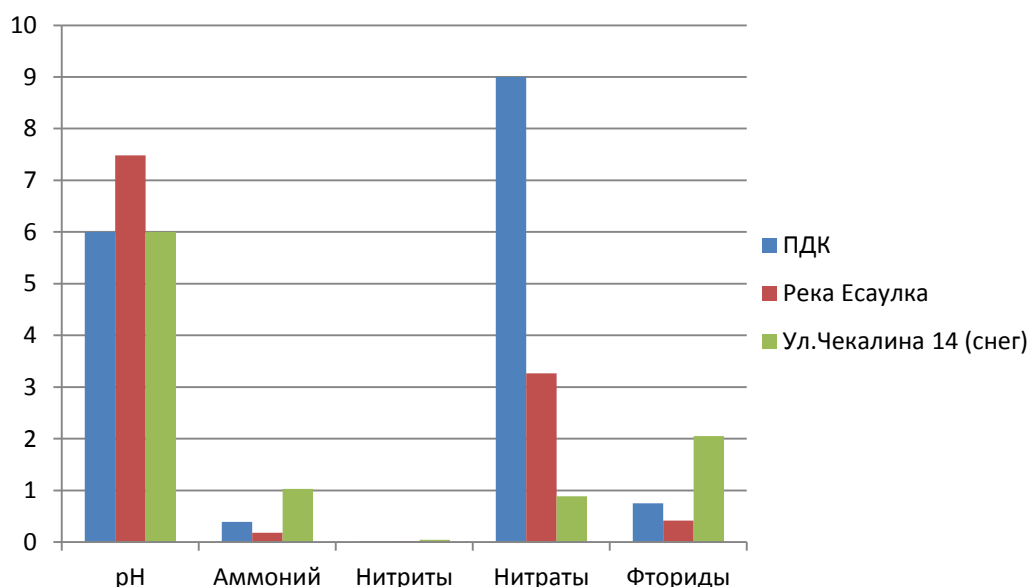


Рисунок 6- Диаграмма динамики изменения показателей загрязнения воды в г. Новокузнецк

Концентрация ионов водорода, выраженная величиной рН – один из важнейших показателей качества воды. Величина рН имеет решающее значение при протекании многочисленных химических и биологических процессов в природной воде. Именно от величины рН зависит, какие растения и организмы будут развиваться в данной воде, каким образом будет происходить миграция элементов, от этой величины также зависит степень коррозионной активности воды на металлические и бетонные конструкции.

От величины рН зависят пути превращения биогенных элементов и степени токсичности загрязняющих веществ.

Аммоний-ион (NH_4^+) - в природных водах накапливается при растворении в воде газа - аммиака (NH_3), образующегося при биохимическом распаде азотсодержащих органических соединений. Растворенный аммиак поступает в водоем с поверхностным и подземным стоком, атмосферными осадками, а также со сточными водами.

Присутствие аммония в концентрациях порядка 1 мг/дм³ снижает способность гемоглобина рыб связывать кислород. Признаки интоксикации - возбуждение, судороги, рыба мечется по воде и выпрыгивает на поверхность. Механизм токсического действия - возбуждение центральной нервной системы, поражение жаберного эпителия, гемолиз (разрыв) эритроцитов. Токсичность аммония возрастает с повышением рН среды [9]. Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта, процесс загрязнения поверхностных и подземных вод, в первую очередь, бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

Повышенное содержание нитратов в поверхностных водоемах ведет к их зарастанию, азот, как биогенный элемент, способствует росту водорослей и бактерий. Это называется процессом эвтрофикации. Процесс этот весьма опасен для водоемов, так как последующее разложение биомассы растений израсходует весь кислород в воде, что, в свою очередь, приведет к гибели фауны водоема.

Опасны нитраты и для человека. Различают первичную токсичность собственно нитрат-иона; вторичную, связанную с образованием нитрит-иона, и третичную, обусловленную образованием из нитритов и аминов нитрозаминов. Смертельная доза нитратов для человека составляет 8-15 г. При длительном употреблении питьевой воды и пищевых продуктов, содержащих значительные количества нитратов, возрастает концентрация метгемоглобина в крови. Снижается способность крови к переносу кислорода, что ведет к неблагоприятным последствиям для организма [3].

Концентрация нитритов в поверхностных водах составляет сотые (иногда даже тысячные) доли миллиграмма в 1 дм³; в подземных водах концентрация нитритов обычно выше, особенно в верхних водоносных горизонтах (сотые, десятые доли миллиграмма в 1 дм³). Сезонные колебания нитритов характеризуются отсутствием их зимой и появлением весной при разложении неживого органического вещества [2].

Фториды присутствуют почти во всех источниках воды, но в различной концентрации. Как недостаток, так и избыток фтора могут приводить к серьезным заболеваниям, поэтому содержание фторидов в воде должно контролироваться. В основном, повышенная концентрация фторидов встречается в подземных водах [3].

Из полученных результатов лабораторных исследований качества воды следует, что наш город действительно является одним из самых загрязненных.

Библиографический список

1. ИНЭКА консалтинг. Поверхностные воды Новокузнецка [Электронный источник] <http://ineca.ru/?dr=library &library= bulletin/ 1999/ 0042/002>.
2. Мировые водные технологии. Химия воды Новокузнецка [Электронный источник] <http://wwtec.ru/index.php?id=212>
3. ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА [Электронный источник] <http://www.waterstation. pro/info/ stati/ vliyanie-kachestva-vody.php>.
4. ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный источник] <http://www.gosthelp.ru /text/GN21568998Predelnodopusti.html>.

УДК 504.064.45:[691:669.1]

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Брызгалова А.Ю.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nyrkabryzgalova1995@mail.ru*

Актуальность и необходимость утилизации отходов производства с каждым годом возрастают вследствие истощения запасов богатых руд, сложившейся структуры их добычи, увеличения потребности в строительных материалах и обострения проблемы хранения отходов.

Ключевые слова: шлак, черная и цветная металлургия, шлам, цемент, окружающая среда, комплексное использование, безотходная технология.

Высокие темпы развития материального производства, ускорение научно - технического прогресса обуславливают все более интенсивное использование природных ресурсов, особенно полезных ископаемых. Важность проблемы обеспечения минеральным сырьем народного хозяйства определяется, с одной стороны, тем, что последние являются основой развития промышленности, ее эффективность зависит от степени обеспеченности ресурсами, а с другой стороны, тем, что экономика страны функционирует при ограниченных запасах полезных ископаемых.

Вследствие постоянного роста взаимодействия между обществом и природой окружающая нас среда становится все более синтетической, и ее естественная структура вступает в конфликт с производительными силами

и общественным потреблением. Назревает необходимость контроля над качеством окружающей среды. Проблему эффективного использования минерального сырья и, в частности, переход на безотходную технологию следует рассматривать с точки зрения устранения противоречий между экономическим ростом (необходимостью все большего вовлечения ресурсов в производство) и «производительной возможностью» окружающей среды (истощение запасов, снижение качества минеральных ресурсов, нарушение экологического баланса). Решение этих противоречий вероятно при рациональном и комплексном использовании добываемых ресурсов, а также отходов производства. Главное направление снижения объема отходов производства – их утилизация в различных отраслях народного хозяйства и, особенно, в строительной индустрии.

Развитие и совершенствование производства строительных материалов имеют решающее значение для выполнения программы строительных работ. Основные строительные материалы (цемент и другие вяжущие, стеновые материалы, хризотилцементные изделия, строительная керамика, тепло-, гидро- и звукоизоляционные материалы, строительное и техническое стекло и др.) производятся, в основном, на предприятиях Агропромышленного комплекса России.

Минерально-сырьевые отходы находят широкое применение в производстве строительных материалов.

Так, например, широко применимы отходы предприятий черной металлургии. Наиболее широкое применение при производстве строительных материалов находят доменные шлаки, выход которых на отечественных металлургических заводах составляет примерно 0,5–0,6 т на 1 т чугуна. При переработке доменных шлаков получают гранулированный шлак для производства цемента, закладки выработанного пространства, производства местных и шлакощелочных вяжущих заполнителей бетонов, шлакощелочной пемзы, используемой в качестве заполнителей бетона, минеральной шлаковой ваты, шлакоситаллов, щебня и песка.

Применение этих материалов в строительстве позволяет экономить первичные минеральные ресурсы (песок, известь, глину, щебень), клинкерный цемент и топливо. Так, например, использование гранулированных шлаков в качестве заполнителей бетона дает значительную экономию. Применение шлакового щебня и песка для строительных целей позволяет получить не только экономию средств, но и также исключить использование при производстве естественных заполнителей [1].

Одним из наиболее рентабельных видов употребления доменных шлаков является шлаковое литье. Разработана технология производства двухслойных металлошлаковых труб и отводов шлаковых плит и других изделий. Трубы предназначены для пневмо-гидротранспортирования абразивных материалов – щебня, песка, руд, бетона и др. Замена ими стальных трубопроводов позволила на каждом километре трубопровода экономить 150 т металла.

Ферросплавные шлаки используются для производства местных и шлакощелочных вяжущих в качестве заполнителей бетонов. При этом наблюдается снижение расхода естественных заполнителей. Большую ценность для производства автоклавных материалов представляют шлаки, получаемые при выплавке коуглеродистого феррохрома. При охлаждении шлак феррохрома в результате силикатного распада превращается в дисперсный порошок. Добавка шлака (3–4 %) к силикатной массе позволяет улучшить ее формовочные свойства, повысить прочность сырца, снизить расход извести.

Шлаки ферросплавного производства могут стать эффективным заполнителем огнеупорных бетонов. Огнеупорные бетонные композиции на основе заполнителей из ферросплавных шлаков могут применяться в различных тепловых агрегатах. Бетон на заполнителе из шлаков ферросплавного производства характеризуется высокой термостойкостью и может применяться в качестве высокотемпературной футеровки с циклическим режимом нагрева и охлаждения.

Основной потребитель шлаков – цементная промышленность, использующая до 75 % их объема для производства гидравлических добавок производства портландцементов, шлакопортландцементов, шлакощелочных цементов высоких классов. Немало цементных заводов расположены непосредственно около металлургических заводов. Это позволяет эффективно использовать шлаки для производства высококачественных цементов.

Широкое применение также получили отходы предприятий цветной металлургии. Из минерально-сырьевых отходов цветной металлургии применение получили шлаки и шламы. Исследования физико-химических, физико-механических и технологических свойств шлаков, образующихся на горно-металлургических комбинатах вследствие переработки руд цветных металлов, показали, что для производства строительных материалов пригодны шлаки, полученные при переработке медных никелевых руд, которые по прочностным характеристикам, теплофизическим свойствам, износостойкости, кислотостойкости, как правило, значительно превосходят аналогичные показатели доменных шлаков.

Гранулированные шлаки этих производств являются хорошим сырьем для приготовления вяжущих веществ автоклавного твердения. На таком вяжущем получают бетоны следующих видов: тяжелый на крупном заполнителе, плотный мелкозернистый, легкий на пористом заполнителе, ячеистый. Такие материалы не нуждаются в дополнительной переработке, они лучше пиритных огарков.

Переработка шлаков руд цветных металлов на песок и щебень после извлечения ценных металлов – наиболее перспективный и экономически выверенный путь решения проблемы их утилизации.

Однако в настоящее время доля переработки шлаков на предприятиях цветной металлургии остается на низком уровне. Большую их часть сливают или вывозят в отвалы. В натуральном виде эти гранулированные шлаки мо-

гут быть использованы в качестве мелкого заполнителя в бетонах. В то же время проблема использования шлаков предприятий цветной металлургии, которых накопились сотни миллионов тонн в народном хозяйстве, остается актуальной как с позиции комплексного использования минерального сырья, снижения себестоимости конечного продукта, так и с позиции охраны окружающей среды.

Перспективны для утилизации шлаки, получаемые при выплавке никеля. Они пригодны для переработки в строительный песок, дефицит которого непрерывно возрастает [2].

К настоящему времени разработана технология переработки гранулированных шлаков в качественный мелкий заполнитель. Тяжелые бетоны с заполнителем на шлаковом песке по расходу цемента, прочностным и деформативным характеристикам, морозостойкости соответствуют нормативным требованиям и не уступают бетонам, произведенным на основе природного стандартного песка.

Могут применяться гранулированные шлаки никелевого производства и в качестве кремнеземистого компонента автоклавного вяжущего. При этом требуемое количество извести снижается в 3–4 раза по сравнению с использованием кварцевого песка. Данным гранулированным шлаком можно полностью заменить природный песок в силикатной смеси при производстве кирпича. От такой замены не только повышается прочность кирпича, но и улучшаются теплоизоляционные свойства материала.

Заслуживают внимания шламы как побочный продукт при переработке глиноземсодержащего сырья. Они могут, по предварительным данным, использоваться для изготовления цемента. Каолиновый шлам по своему химическому составу близок к портландцементу. Нефелиновый (белитовый) шлам – побочный продукт (отходы) при производстве глинозема, на протяжении многих лет используется в промышленности строительных материалов. Промытый белитовый шлам – хорошее сырье для изготовления цемента высокой активности.

Производство цемента на основе этих шламов вследствие значительного количества в них готового двухкальциевого силиката является более экономичным. Так, расход известняка сокращается на 50–60 %, производительность вращающихся печей повышается на 25–30 %.

В результате совместного помола нефелинового шлама с портландцементным клинкером и гипсом получают высококачественные цементы самых разнообразных классов, отвечающие требованиям государственного стандарта и техническим условиям.

На нефелиновом цементе при расходе 200–230 кг/м³ можно получать конструкционно-изоляционный газобетон (например, керамзитобетон) хорошего качества крупнозернистой структуры.

В нашей стране много лет применяется безотходная технология по производству содопродуктов и цемента на базе комплексного использования

нефелинов. Из каждых 4 т нефелинового концентрата и 15 т известняка получают без отходов 1 т глинозема, 1 т содопродуктов и 10 т цемента.

Кроме цементного производства на основе нефелинового шлама он может применяться в производстве строительных изделий (кирпич, блоки, плиты); в дорожном строительстве для укрепления грунтов в качестве подстилающего слоя; при производстве вяжущего для асфальтобетона, огнеупоров в качестве одного из основных компонентов шихты; при изготовлении цветного стекла.

Красные бокситовые шламы, образующиеся при производстве алюминия, могут использоваться в цементном производстве, при производстве шлакокаменного сырья, шлакошесня, шлакоситаллов, различных составов местных вяжущих, для закладки горных выработок, устройства дорожных покрытий и т. д.

С 90-х годов XX века прослеживались два основных направления переработки красных бокситовых шламов:

- комплексная переработка шламов с последовательным получением ряда ценных продуктов (чугуна, глинозема, цемента и др.);

- непосредственное использование шлама в качестве добавки при производстве различных видов строительных материалов, например, цемента.

Утилизация красных бокситовых шламов связана с небольшим объемом капитальных вложений в специализированные производства. Однако при погрузке, транспортировании и разгрузке их влажность не должна превышать 15–20 %. Исследования показали, что красный бокситовый шлам глиноземного производства является сырьем для промышленности строительных материалов, позволяющим интенсифицировать процесс производства портландцементного клинкера [3].

Таким образом, можно заключить, что использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной отрасли является перспективным направлением промышленного комплекса, поскольку при его развитии представляется возможным снижение напряженности во многих сферах народного хозяйства.

Библиографический список

1. Бобович Б.Б. Переработка отходов производства и потребления / Б. Б. Бобович, В.В. Девяткин.– Интермет инжиниринг, 2000. –496 с.

2. Маннанова Г.В. Техника и технология утилизации твердых отходов / Г. В. Маннанова. – Москва : Знание, 2007.– 24 с.

3. Аксенова Л. Л., Хлебенских Л. В. Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии / Технические науки в России и за рубежом: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). – Москва : Буки-Веди, 2014.–С. 106-108. – Режим доступа: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/90/5669/>

ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ И ПОЛИЭТИЛЕНА В ДРЕВЕСНО-КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

Валеев К.В., Саттарова З.Г.

Научный руководитель: д-р техн.наук, профессор Сафин Р.Г

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, e-mail: kirval116@mail.ru*

В статье представлен способ получения древесно-композиционного материала из коры древесных пород (ивы, осины, липы). Показана актуальность разработки, описана технология производства материала и важные технологические параметры.

Ключевые слова: древесина, отходы, полиэтилен, переработка, термомодификация.

В настоящее время наблюдается большой спрос на использование экологически чистых строительных материалов взамен на материалы, содержащие в составе токсичные вещества. Одним из таких экологически чистых материалов является древесно-композиционный материал (ДКМ), который имеет высокую технико-экономическую эффективность, при использовании различных древесных отходов, а именно, коры и отходов полиэтилена. Так же в качестве связующего компонента может использоваться полиэтилентерефталат (ПЭТ).

Использование древесных отходов и отходов полиэтилена для изготовления ДКМ, улучшение его свойств и применение его в строительстве являются актуальными и научные исследования в этой области продолжаются.

Способ получения древесно-композиционного материала заключается в смешивании коры и полиэтилена с последующим прессованием. Получение древесно-композиционного материала разделяют на несколько этапов.

Первый этап заключается в подготовки сырья. Для проведения технологического процесса используется кора и полиэтилен, измельченные в дисмембраторе. Кору измельчают до размеров фракций от 1 мм до 2,5 мм. А при использовании волокнистых пород (осина, ива, липа) перед измельчением проводят термомодификацию, для повышения адгезионных свойств. Измельченную кору рассеивают через сито, где она распределяется на различные фракции (до 1 мм, от 1 до 1,5 мм, от 1,5 до 2,5 мм). Измельченную кору высушивают при температуре 101 °С на протяжении 90 минут.

Второй этап получения ДКМ заключается в подготовки смешения древесной коры и полиэтилена. После сушки кору распределяют на фракции в рассеиватели и отправляют для дальнейшего перемешивания. Для перемешивания используют вальцовочный смеситель, где валы предварительно прогреваются. Используемый в качестве связующего гранулированный по-

лиэтилен вальцами прогревают до температуры 170-180°C. Для быстрого расплавления связующего производят непрерывное перемешивание. После того, как связующее вещество расплавилось, засыпается измельченная кора. Процесс перемешивания производится на протяжении 40 минут при средней температуре 176°C при использовании полиэтилена

Третий этап получения ДКМ заключается в формировании изделия. Полученный после вальцевания композит передают через шнековый транспортер в подогретую, специально подготовленную пресс-форму, где спрессовывают между двумя нагревательными плитами. Процесс прессования происходит на протяжении 10 минут, при температуре 182°C. Микропроцессорная система управления позволяет поддерживать в заданных пределах рабочее давление, температуру плит, время прессования и количество подпрессовок.

Древесно-полимерная плита (ДПП) представляет собой древесно-композиционный материал из коры и связующего компонента полиэтилена, которые компонируются под действием высокой температуры и давления.

Выводы

Таким образом, предлагаемый способ позволяет создать эффективную технологию получения древесно-композиционного материала на основе древесной коры и полиэтилена с повышенными эксплуатационными характеристиками. Полученный материал может использоваться в среде с повышенной влажностью.

Библиографический список

1. Сафин, Р.Г. Исследование эксплуатационных свойств древесно-наполненного пенополиуретана / З.Г. Саттарова, В.А. Салдаев, Д.Б. Провирников, Р.Г. Сафин, О.С. Салдаев, В.В. Степанов // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - № 20. - С. 181-185. (из перечня рецензируемых журналов, №254).

2. Сафин, Р.Г. Современное направление переработки лесных ресурсов / Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова, И.Г. Хабибуллин, Р.Р. Зиатдинов, Т.О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. - №21. - С.90-93. (из перечня рецензируемых журналов, №254).

3. Саттарова, З.Г. Климатические исследования напольного настила изготовленного на основе древесных отходов и вторичных полимеров /З.Г. Саттарова, И.М. Галиев // В сборнике: Энергетика: эффективность, надежность, безопасность. Материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции. В 2 томах. – 2015. – С. 49-51.

4. Саттарова, З.Г. Комплексная переработка отходов древесины лиственницы / К.В. Валеев, А.Р. Хайрутдинова, Д.М. Сайфутдинов // Деревообрабатывающая промышленность. - 2017. №3. - С.36-40. (из перечня рецензируемых журналов, №1984).

5. Sattarova, Z.G. Multi-layer wood-polymer composite / D.V. Tuncsev, Z.G. Sattarova, I.M. Galiev // Solid State Phenomena. - Volume 265, Pages: 47-52

(рецензируется в базе Scopus).

6. Safin, R.G. Technology of wood waste processing to obtain construction material / R.G. Safin, Z.G. Sattarova, E.R. Khairullina // Solid State Phenomena. - Volume 265, Pages: 245-249 (рецензируется в базе Scopus).

УДК: 628.4.038

ОЦЕНКА ОПАСНОСТЕЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПАО «ДОРОГОБУЖ»

Гуртовенко А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.Б.

*Московский политехнический университет,
г. Москва, e-mail: ashpina@mail.ru*

Проведен качественный и количественный анализ вредных выбросов в атмосферу при эксплуатации полигона по захоронению промышленных отходов ПАО «Дорогобуж». Оценка опасностей от загрязнения атмосферного воздуха по результатам двухгодичного мониторинга показала, что данный объект не имеет экологических проблем.

Ключевые слова: опасность загрязнения, полигон промышленных отходов, отходы производства и потребления, критерии оценки.

ПАО «Дорогобуж» является крупным производителем минеральных удобрений, жидкой углекислоты, аммиачной воды. Предприятие относится к промышленным объектам I класса опасности.

Полигон по захоронению промышленных отходов введен в эксплуатацию взамен ранее закрытого в 2018 году, предназначен для захоронения собственных отходов производства и потребления II-V класса опасности, образующихся на предприятии ПАО «Дорогобуж», и представляет собой источник распространения загрязняющих веществ в компоненты природной среды, оказывая вредное воздействие на них.

Атмосферный воздух является начальным звеном в цепочке загрязнений природных сред и объектов. В отдельных случаях почва и поверхностные воды могут быть источниками вторичного загрязнения атмосферы или, наоборот, показателем ее загрязнения. Такое положение определяет необходимость, прежде всего, проведение оценки загрязнения воздушного бассейна.

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха при эксплуатации полигона в штатном режиме: автотранспорт, обслуживающий объект при движении по площадке; дорожная техника, осуществляющая захоронение отходов, строительство и рекультивацию отработанных карт; пересыпка сыпучих материалов (грунт, щебень) для закрытия, строительства карт.

Неорганизованный источник выброса в атмосферу имеет место, в том числе, при образовании биогаза в результате биотермического анаэробного распада органических составляющих промышленных отходов. При этом в атмосферу поступают диоксид азота, аммиак, оксид азота, диоксид серы, оксид углерода, метан.

При перемещении техники для рекультивации и строительства карт по территории полигона, а также при выгрузке и перемещении сыпучих материалов (щебень, грунт), в атмосферу поступает пыль неорганическая, содержащая 20-70% SiO_2 .

Всего при эксплуатации полигона в атмосферный воздух поступают 16 загрязняющих вещества. При полном предусмотренном сроке эксплуатации полигона (20 лет) вклад этих веществ в валовый выброс, согласно выполненным расчетам, будет различным. Так, вклад в общий объем выбросов 2-х веществ II опасности составит 0,172245%; 9-ти веществ III класса – 19,741314%; 3-х веществ IV класса опасности – 3,904590%; 2-х веществ, класс опасности которых не установлен, (ОБУВ) вклад в валовый выброс составит 76,181852%.

Основной вклад в валовый выброс вносят углерод оксид (IV класс опасности) – 3,1%; пыль неорганическая 70-20% SiO_2 (III класс опасности) – вклад составляет 14,5%; после 2-х лет эксплуатации полигона и активизации анаэробных процессов основной вклад в валовые выбросы будет вносить метан (ОБУВ) – 74,4%; Вклад остальных веществ в валовый выброс – около 8 %.

Общее количество заглубленных карт для заполнения отходами II и III классов опасности составит 10 карт, аналогично для отходов IV и V классов опасности.

Отсыпка отходов IV и V класса опасности в две первые карты осуществляется послойно с разравниванием и уплотнением каждого слоя. Заполненные отходами карты будут изолированы уплотненным слоем местного грунта толщиной 0,5 м с добавлением 10% растительного грунта в верхнем слое толщиной 0,2 м.

Отсыпка отходов II и III класса опасности в две другие эксплуатируемые карты осуществляется по принципу «от себя» сразу на полную высоту. При этом засыпанный до проектной поверхности участок котлована сразу покрывается защитным слоем грунта толщиной не менее 0,5 м.

Для оценки опасностей от загрязнения атмосферы в течение двух лет проводился мониторинг по основным загрязнителям: аммиак, диоксид азота, оксид углерода, сероводород, диоксид серы и взвешенные вещества.

Посты контроля атмосферного воздуха располагались согласно плану проведения работ, с учетом местных погодных условий и особенностей размещения полигона. Расположение точек наблюдения выбиралось в местах наиболее полно охватывающих исследуемую территорию и максимально приближенных к стационарным потенциальным источникам загрязнения.

Определение содержания загрязнителей в воздухе осуществлялось с

помощью многокомпонентного переносного газоанализатора ГАНК-4.

Для оценки опасностей загрязнения воздушной среды использовались фактические максимально разовые, среднесуточные и среднегодовые [1] концентрации в период 2017-2018 годы. Результаты измерений обрабатывались и представлялись для каждого поста, вещества и года наблюдения. По каждому веществу анализировалось более 200 проб.

Степень загрязнения воздуха оценивалась по кратности и частоте превышения ПДК с учетом класса опасности, суммы биологического действия загрязняющих веществ. Уровень загрязнения воздуха веществами разных классов опасности определялся «приведением» их концентраций, нормированных по ПДК, к концентрациям веществ III класса опасности [2].

Установлено, что для всех анализируемых веществ процент измерений выше ПДК составляет не более 10, а кратность превышения ПДК в 2017 году отмечена только по максимально-разовым концентрациям для взвешенных веществ ($K=1,7$), что существенно ниже критериев для отнесения исследуемой территории к зоне экологического бедствия.

При этом в 2018 году, после строительства первых карт и запуска полигона в эксплуатацию, кратность превышения ПДК для взвешенных веществ не отмечалась.

Таблица 1– Критерии оценки загрязнения атмосферы по максимальным разовым концентрациям

Выбросы	К (кратность превышения ПДК)		% измерений выше ПДК	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.
Оксид углерода	0,8	0,9	5,7	7,2
Диоксид серы	0,6	0,7	7,3	5,6
Оксиды азота	0,5	0,5	9,6	7,5
Аммиак	0,5	0,4	8,3	4,5
Взвешенные вещества	1,7	0,9	10	9,8
Сероводород	0,5	0,6	9,2	6,7

Для комплексной оценки уровня химического загрязнения атмосферы определялся также комплексный индекс среднегодового загрязнения атмосферы (КИЗА), который позволяет учитывать вклад в загрязнение нескольких веществ и представить загрязнение одним критерием. При этом учитывается класс опасности вещества, и его фактическая среднегодовая концентрация приводится к степени загрязнения воздуха диоксидом серы, исчисляясь в долях ПДК диоксида серы [3].

Приведение загрязнения воздуха токсикантами к концентрациям диоксида серы обусловлено тем, что диоксид серы приводит к существенному увеличению заболеваемости людей, в частности заболеваний верхних дыха-

тельных путей, и обладает выраженной токсичностью по отношению к растительности.

Согласно показателю КИЗА, который в период мониторинга составлял менее 3, можно утверждать, что данный объект – полигон промышленных отходов ПАО «Дорогобуж» – не имеет экологических проблем.

Библиографический список

1. ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных мест»
2. Касьяненко А. А. Современные методы оценки рисков в экологии: Учебное пособие. – М.: Изд-во РУДН 2008. – 271 с.
3. Орлов А. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учебное пособие для вузов / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, И. Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2002. – 234 с.

УДК: 504.054:504.064.43

СОДЕРЖАНИЕ ВАЛОВЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БУРОВОМ ШЛАМЕ НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Тарасова С.С., Быцко А.А.

Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Гаевая Е.В.

*Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, e-mail: tarasovass@tyuiu.ru*

Источником поступления загрязняющих веществ в окружающую среду при бурении скважин являются отходы бурения (буровой шлам). Буровой шлам на углеводородной основе относится к градации глины тяжелой, так как содержание физической глины преобладало по отношению к содержанию физического песка. При сравнении с ПДК (ОДК) тяжелых металлов для глинистых групп, выявлено превышение по хрому, остальные ионы тяжелых металлов находились на уровне установленных нормативов.

Ключевые слова: буровой шлам, тяжелые металлы, концентрация, физическая глина.

Загрязнение окружающей природной среды производственно-технологическими отходами бурения (буровыми шламами) связано с ростом объема добычи нефти и газа в эксплуатационном бурении. При этом буровые шламы преимущественно размещаются в шламовых амбарах, которые могут стать источником поступления загрязняющих веществ в окружающую среду [1]. Буровой шлам, образованный в процессе бурения скважин с использованием бурового раствора на углеводородной основе, представляет

собой мягкопластичную пастообразную массу черного цвета, маслянистую на ощупь и имеющую запах нефти. [2]. Буровой шлам, поступающий в шламовый амбар, в основном состоит из выбуренной породы, которая образуется при разрушении горной породы в недрах с помощью породоразрушающего инструмента (бурового долота) и поднимается на дневную поверхность буровым раствором.

Токсические свойства буровых шламов связаны с химическим составом используемых при бурении буровых растворов. Назначение реагентов растворов состоит в регулировании таких характеристик, как водоотдача, снижение коэффициента трения, пеногашение и т.п. Компоненты буровых растворов, которые содержат тяжелые металлы (кобальт, марганец, медь, никель, хром и т.д.) и соединения солей, могут оказывать отрицательное воздействие на компоненты окружающей природной среды, при размещении буровых отходов в шламовых амбарах [3].

Цель исследований – изучить процентное содержание первичных частиц различной крупности по фракциям, а также концентрации валовых форм тяжелых металлов в буровом шламе на углеводородной основе.

Исследования проб бурового шлама проводились в аккредитованной испытательной лаборатории, в соответствии с методиками, внесенными в государственный реестр методик количественного химического анализа или нормативным документом, включенным в область аккредитации испытательной лаборатории.

Лабораторные испытания гранулометрического состава по определению характеристики бурового шлама проводились на лазерном анализаторе частиц «Analysette 22» Micro Tec Plus. Процентное содержание первичных (не агрегированных) частиц различной крупности по фракциям, выраженное по отношению их массы к общей массе грунта представлено на рисунке 1.

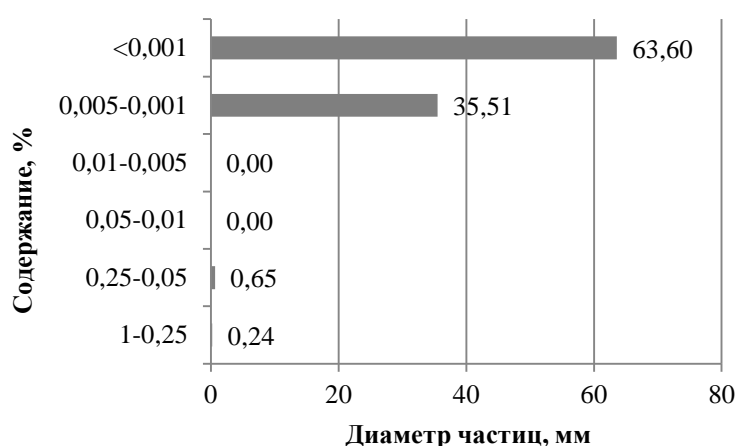


Рисунок 1 – Результаты исследования гранулометрического состава бурового шлама на углеводородной основе

Результаты исследований показали, что содержание фракций пыли средней (0,01-0,005 мм), входящей в состав физической глины, и пыли круп-

ной (0,05-0,01 мм), в составе физического песка, не обнаружено.

По данным исследования содержание физической глины (<0,005 мм) преобладало по отношению к содержанию физического песка и составило 99,11 %, что позволяет отнести буровой шлам на углеводородной основе к градации глины тяжелой.

Результаты исследования содержания валовых форм тяжелых металлов в пробах бурового шлама на углеводородной основе представлены на рисунке 2.

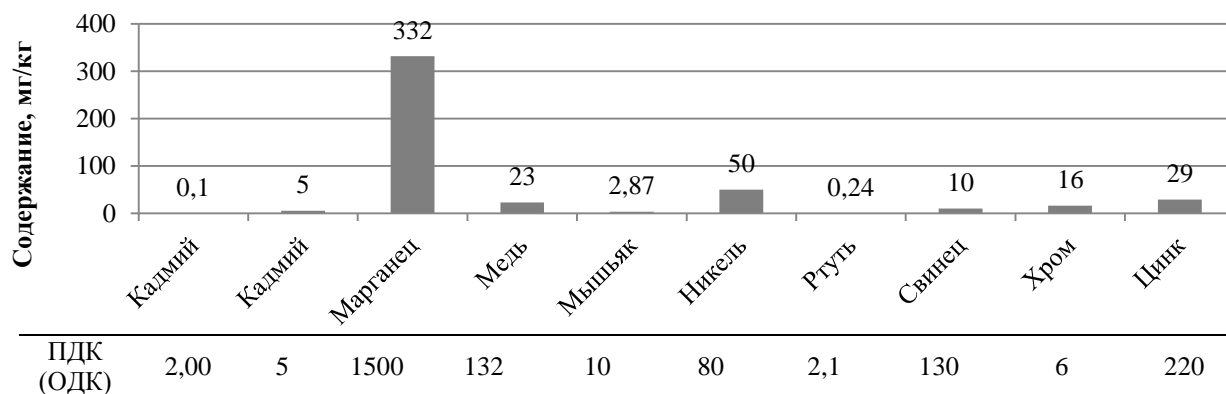


Рисунок 1 – Результаты исследования содержания тяжелых металлов в пробах бурового шлама на углеводородной основе

К наиболее опасным экотоксикантам относятся, прежде всего, тяжелые металлы, особенность циркуляции которых в окружающей среде определяется их устойчивостью, биологической доступностью и вероятностью вызывать негативные эффекты в очень малых концентрациях.

Общеизвестно, что химическое загрязнение почв тяжелыми металлами – наиболее опасный вид деградации почвенного покрова, поскольку самоочищающая способность почв от тяжелых металлов минимальна, почвы прочно аккумулируют их. Тем самым почва становится одним из важнейших геохимических барьеров для большинства токсикантов на пути их миграции из атмосферы в грунтовые и поверхностные воды. В составе бурового шлама на углеводородной основе отмечается повышенное содержание хрома в 2,67 раза при сравнении с ПДК (ОДК) для почв глинистых групп. В указанном аспекте хром является ярчайшим представителем этой группы химических элементов, особенности миграции которого, способность к биоаккумуляции и биомagniфикации лежат не только в основе характеристики ксенобиотического профиля биогеоценозов, но и определяют картину хронических (отсроченных) и острых токсических эффектов.

Свойства образующегося в процессе бурения бурового шлама обусловлены минералогическим составом выбуренной породы, пластовых флюидов и остатками бурового раствора. За счет адсорбции на поверхности частиц шлама химических реагентов, используемых для обработки буровых растворов, он проявляет ярко выраженные загрязняющие свойства.

Содержание кадмия находилось на уровне установленных ПДК и соответствовало 5 мг/кг. Максимальное значение наблюдалось по марганцу и составило 332 мг/кг, что не превышало предельно допустимые концентрации по этому элементу. Концентрация остальных определяемых тяжелых металлов была ниже ПДК (ОДК) [4,5].

Исследования бурового шлама на углеводородной основе показали, что по гранулометрическому составу он относится – глине тяжелой. При сравнении с ПДК (ОДК) тяжелых металлов для глинистых групп, выявлено превышение по хромю, остальные ионы тяжелых металлов находились на уровне установленных нормативов.

Библиографический список

1. Пат. 2093478 Российская Федерация, МПК C02F 3/34, B09C 1/10, C12N 1/20, C12R 1/01, C12R 1/40, C12R 1/125, B09C 101/00. Способ очистки почвы от нефти, нефтепродуктов и полимерных добавок в буровой раствор / Ягафарова Г. Г., Мавлютов М. Р., Барахнина В. Б., Спивак А. И., Абызгильдина М. Ю. ; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный нефтяной технический университет, Ягафарова Г. Г. - 95100110/13 ; заявл. 05.01.1995 ; опубл. 20.10.1997. – 5 с.

2. Тарасова С. С. Характеристика бурового раствора на углеводородной основе и его влияние на свойства выбуренной породы / С. С. Тарасова, А.А. Быцко, Д. П. Друзь // Энергосбережение и инновационные технологии в топливноэнергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 10-летию создания Института промышленных технологий и инжиниринга. – Тюмень : ТИУ, 2018. – С. 326-329.

3. Климова, А.А. Содержание химических элементов и оценка токсичности бурового шлама нефтяных месторождений / Е. Г. Язиков, С. В. Азарова // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. Материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. – Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018 – С. 353-356.

4. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – Взамен ГН 2.1.7.2042-06 ; введ. 2009-07-01. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.

5. СанПиН 42-128-4433-87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. – Введ. 1987-09-30. – Москва: Мин-во здравоохранения СССР, 1988. – 56 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

Гумеров Д.Р., Степанова Т.О., Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р.
 Научный руководитель: д-р техн.наук, профессор Сафин Р.Г.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
 г. Казань, e-mail: gdr96@yandex.ru

В рамках разработки эффективной технологии производства активированного угля, обеспечивающей определение требуемых оптимальных режимов процесса при максимальном выходе продукта и минимальных затратах энергетических ресурсов, собрана экспериментальная установка для активации древесного угля, получение на выходе активированного угля с большой удельной поверхностью и большим объемом пор, обладающим большей адсорбционной способностью.

Ключевые слова: активированный уголь, сорбент, активация угля.

Активированный уголь широко применяется в качестве сорбента для поглощения вредных веществ и примесей при водоподготовке и в ликероводочном производстве, при очистке воздуха, газов, пищевых, фармацевтических и других продуктов. Активированный уголь получают, в частности, обработкой древесного угля паром при температуре 800–1000 °С [1, 2]. В качестве сырья при производстве активированного угля используются различные материалы органического происхождения, такие как: древесина, каменный уголь, скорлупа кокосовых орехов и т.д. Целью данного проекта является получение более очищенного, с большой удельной поверхностью и большим объемом пор активированного угля.

На рисунках 1 и 2 представлена схема и внешний вид экспериментального стенда.

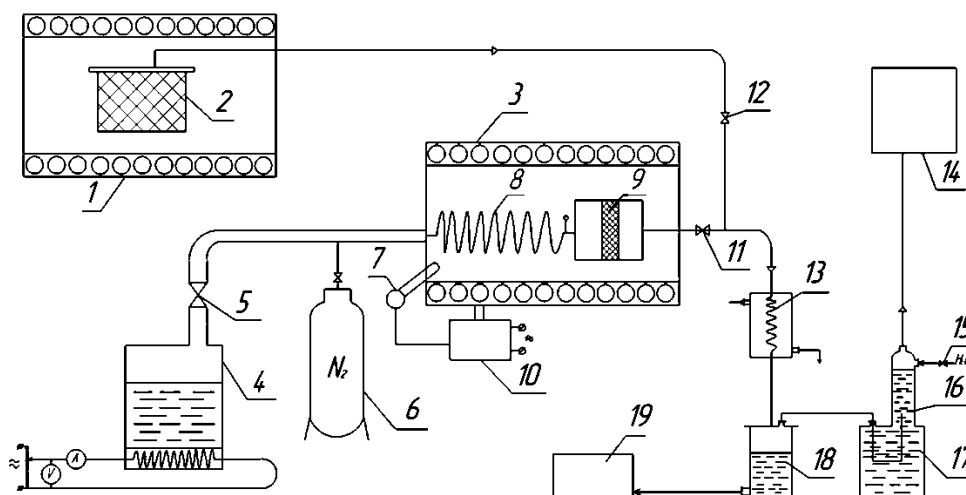


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки для активации угля

Экспериментальная установка для определения требуемых оптимальных режимов процесса состоит из: муфельной печи 1 и 3, узла пиролиза 2, парогенератора 4, клапана для подачи пара 5, клапана для подачи воды 15, баллона с азотом 6, термодпары 7, узла активации 8 и 9, регулятора температуры 10, клапана для отбора жижки 11 и 12, сепаратора 13, газоанализатора 14, клапана для подачи воды 15, сборника газа 17, сборника жижки 18, хроматографа 19.

На рисунке 3 представлен узел активации в собранном и разобранном виде, включающий основные элементы: пароперегреватель – 8, и емкость 9–1 с крышкой 9–2, в которую помещается уголь для активации.



Рисунок 2 - Установка для активации угля

Методика проведения эксперимента выглядит следующим образом: измельченные древесные отходы взвешиваются на аналитических весах и закладываются в узел пиролиза размещенный в муфельной печи, Пиролиз производится при температуре 200-450°C. В результате на выходе получаем древесный уголь. Полученный уголь взвешивается. Затем древесный уголь отправляется в муфельную печь с узлом активации. На данной стадии уголь при помощи перегретого водяного пара, подаваемого по трубопроводу из парогенератора, активируется.

Температура подаваемого перегретого водяного пара варьируется в пределах 900-1100°C. Температура контролируется термодпарой ТХА, установленной на узле активации.



Рисунок 3 - Узел активации: а – в собранном виде, б – в разобранном виде

Полученный активированный уголь охлаждают. Далее активированный уголь взвешивают и пропускают через него азот. При этом происходит капиллярная конденсация азота в порах активированного угля, затем повторно взвешивают. По разнице весов рассчитывается удельная поверхность активированного угля. Затем уголь десорбируют и закладывают в эксикатор вместе с эталонным активированным углем для сравнения их адсорбционных способностей. В сепараторе происходит разделение ПГС на фракции, газ и жижка. Затем газ направляется в газоанализатор для определения состава газа, а жижка направляется в хроматограф, также для определения состава.

В конечном итоге мы получаем активированный уголь с большой удельной поверхностью и большим объемом пор, что позволит обладать высокой адсорбционной способностью.

Библиографический список

1. Кинле Х. Активные угли и их промышленное применение: пер. с нем. / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л. : Химия, 1984. – 216 с.
2. Юрьев Ю. Л. Технология лесохимических производств. Ч. 1. Пиролиз древесины. – Екатеринбург: УГЛТА, 1997. – 99 с.
3. Е.Ю. Беляев. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // Химия растительного сырья // №2. – 2000. – С. 5-15.
4. Воскобойников И.В. Технология производства активированных углей из древесных отходов / И.В. Воскобойников, А.О. Шевченко, В.М. Щелоков // «Лесной вестник». – 2012. – №8 – С.56-58.
5. Хабибуллина А.Р. Пирогенетическая переработка древесных отходов в активированный уголь: дис. канд. техн. наук – М., 2018.

УДК 622.6

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ И ЭКОЛОГИЯ

Зверев Р.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Стерлигов В.В.

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

В статье освещаются вопросы, связанные с проведением технического анализа углей Кузбасса, с анализом некоторых параметров технического исследования показателей углей и оценкой возможных последствий для указанного региона.

Ключевые слова: технический анализ углей, спекаемость, петрографический анализ, технологии, технологические характеристики, экология, экологическая ситуация.

В современном мире, когда развитие технологий идет огромными шагами и развитие в сфере альтернативных источников энергии не являются исключением, вопрос повышения качества добываемого кокса имеет особую актуальность. Самым важным параметром является снижение удельного расхода кокса на выплавку чугуна, также необходимо увеличивать объем доменных печей, что требует применение технологических решений для интенсификации процесса доменной плавки. Это становится реализовывать сложнее в связи с истощением запасов сырьевой базы коксования, с нестабильностью состава поставляемых углей, непостоянством показателей их качества. Эти проблемы можно компенсировать если управлять или повышать уровень качества угольных шихт, которое зависит от показателей химико-технологических свойств добываемого сырья. Из этого получается, что исследовать добываемые угли комплексной оценкой их качества является актуальной темой.

Целью данной работы является провести технический анализ углей Кузбасса и оценить последствия, которые могут затронуть экологию данного района.

В качестве объекта исследования выберем обычные товарные марки углей, которые были получены на предприятиях Кузбасса.

Технический анализ проводили обычными стандартными методами. Изначально определили химический состав золы углей в соответствии с ГОСТ 10538 - 87. Зольные остатки получали при 815°С согласно ГОСТ 11022 - 95. Золу для анализа получали медленным озолением аналитических проб углей в муфельной печи при температуре 815°С согласно ГОСТ 11022-95. Микроанализ золообразующих элементов осуществляли с использованием растрового электронного микроскопа JSM - 6390 LA "JEOL", имеющего в качестве аналитической приставки рентгеноспектральный анализатор JED-2300. Петрографический анализ выполняли на автоматизированном комплексе оценки марочного состава углей системы «SIAMS-620» (Россия) в среде масляной иммерсии. Подсчет микрокомпонентов производился автоматически при увеличении в отраженном свете в 300раз. Толщину пластического слоя определяли по ГОСТ 1186 - 87, индекс свободного вспучивания – по ГОСТ 20330 - 91, тип кокса по Грей - Кингу – по ГОСТ 16126 - 91, пластичность угля по методу Гизелера согласно американскому промышленному стандарту ASTM – D 2639 - 96.

Все выбранные нами образцы углей являются среднеглиноземными. Во всех образцах соотношения оксида кремния к оксиду алюминия имеют довольно высокие значения равные около 3. Это нам указывает на наличие в составе гидрослюд.

Петрографический анализ позволил нам получить данные и проанализировать технологические параметры углей и позволил уточнить марочную принадлежность исследуемых нами углей.

При анализе полученных данных можно сделать вывод, что большинство образцов относится к группе слабоспекающихся углей.

Важным параметром является толщина пластического слоя. Для определения толщины пробу необходимо подвергнуть медленному нагреванию, давление при этом не изменяется. В интервале температур 390 - 650 °С проводят измерение уровней пластического слоя.

В результате экспериментов было установлено что толщина пластического слоя исследуемых нами углей изменяется в широком диапазоне.

Основным показателем спекаемости угля является индекс свободного вспучивания. В соответствии с ГОСТ 20330 - 91 наш образец необходимо измельчить до размеров 0,2 мм. Далее образец необходимо поместить в тигель и помещают в электропечь, где происходит нагревание образца до температур 850 °С. Нагревания проводят обычно в течение 150 секунд. Затем тигель необходимо вынуть и охладить. Со шкалой стандартных профилей сравнивают нелетучий остаток, где к каждому присвоен свой номер. Номер шкалы это и есть индекс свободного вспучивания. Шкала состоит из 17 пунктов от 1 до 9 с интервалом в 0,5. В ходе эксперимента установлено, что индекс вспучивания углей с Кузбасса изменялся от нулевых значений до 9.

Индекс свободного вспучивания связан с толщиной пластического слоя. Так как с ростом толщины пластического слоя линейно увеличивается индекс свободного вспучивания.

Спекаемость углей можно определять по методу Грей - Кинга. Установка для определения типа кокса включает электрическую трубчатую печь, кварцевую реторту, запаянную с одного конца, и приёмник для жидких продуктов разложения. Навеску угля, измельчением менее 0,2 мм в количестве 20 г, помещают в реторту, затем её устанавливают горизонтально в печь, предварительно нагретую до 325 °С. Далее продолжают медленное нагревание до температуры 600 °С со скоростью 5 о/мин и выдерживают при этой температуре 15 мин. По аналогии с индексом свободного вспучивания полученный нелетучий остаток сравнивают со шкалой эталонных образцов, каждому из которых присвоено определенное буквенное обозначение. Буквенным обозначениям параметра GR присвоены определенные числа с шагом в одну единицу. Например, A=1, B=2, C=3, D=4, E=5 G10=17.

Известно, что тип кокса, определяемый по методу Грей - Кинга для углей Кузбасса колеблется во всем диапазоне от А до G10 [3]. Как и другие характеристики качества углей, показатель GK зависит от основных генетических факторов и корреляционно связан с ними.

Анализ приведенного уравнения показывает, что с повышением толщины пластического слоя показатель Грей – Кинга увеличивается. Оценка спекаемости углей проведена по индексу свободного вспучивания (ГОСТ 20330 – 91) и методу Грей – Кинга (ГОСТ 16126 - 91, ИСО 502:1982).

Технологические показатели спекаемости указывают на возможность использования исследуемых углей в коксохимическом производстве, как в рядовом, так и в обогащенном виде.

Таким образом, технологические характеристики показывают, что из

кузнечных углей может быть получен кокс с высокими показателями механической прочности. Полученные при этом показатели петрографической характеристики и неоднородности концентрата можно использовать для расчёта соответствующих показателей угольной шихты с целью оценки и прогноза качества кокса.

Далее рассмотрим экологическую ситуацию в районе Кузбасса. Добыча угля в Кузбассе все чаще ведется открытым способом – так гораздо дешевле. Но угольные разрезы наносят страшный ущерб экологии и здоровью людей. Интенсивные открытые разработки вызывают оползни и даже землетрясения.

В определенном смысле предлагаемый ниже материал можно считать чуть ли не информационным прорывом. Кузбасс - самый большой угольный бассейн в стране. Здесь добывают почти 60% всего российского угля, действуют 120 угледобывающих предприятий (66 шахт и 54 разреза) и 52 обогатительные фабрики и установки.

Сегодня Россия добывает больше угля, чем может потреблять. По разной информации, больше 10 миллионов тонн находится на складах и место заканчивается. Прирост добычи идет в основном за счет Кузбасса – в год добывают порядка 360 миллионов тонн угля, примерно половина идет на экспорт. 70% топлива добывается открытым способом – это дешевле. Экологические последствия такой добычи гораздо страшнее. Правительство России намеревается наращивать внутреннее потребление, а также экспорт, уменьшая долю газа и, соответственно, увеличивая долю угля. Согласно госпрограмме развития угольной отрасли к 2030 году доля угля в энергопотреблении должна возрасти в полтора раза. Ряд электростанций общей мощностью более 10 гигаватт будут введены в строй между 2020 и 2022 годами.

Планируется экспортировать 50 миллиардов киловатт-часов в Китай, поднять процент поставок на азиатский рынок с 5 % до 16 %. Однако неясно, насколько желания правительства совпадают с возможностями, так как не только Европа отказывается от угля, но и Китай снижает его потребление. В 2014 году там впервые потерпели убытки угледобывающие компании. В 2016 году отмечено падение спроса. В целом угольная отрасль находится в глубоком кризисе. До половины угольных предприятий в мире работают в убыток.

Такие объемы добычи угля ведут к экологическим катастрофам. В ближайшее время необходимо найти решения, чтобы не нанести непоправимый ущерб природе. Либо уменьшать долю добычи угля, либо разрабатывать новые, более технологически чистые методы добычи угля. В последнее время в России ведется много разработок в этой теме, и мы надеемся, что в скором будущем мы будем получать тепло, не нанося ущерб природе. Учитывая какими угольными запасами человечество обладает на сегодняшний день, полностью отказаться от его добычи и прибегнуть к альтернативным источникам получения энергии вряд ли получится. Так как альтернативными источниками на сегодняшний день, не получить столько тепла и также это выйдет очень дорого, на что пока не пойдет ни одна страна в мире.

Библиографический список

1. Артемьев В.Б., Петрография углей и их эффективное использование /В.Б. Артемьев, И.В. Еремин, С.Г. Гагарин. – М.: Недра коммюникейшенс ЛТД, 2000. – 334 с.
2. Ерёмин, И.В. Марочный состав углей и их рациональное использование / И.В. Ерёмин, Т.М. Броновец. М.:Недра,1994.–256 с.
3. Ерёмин И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса /И.В. Ерёмин, А.С. Арцер, Т.М. Броновец. – Кемерово : При- томское, 2001.–399 с. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015, №5125.
4. Добронравов В.Ф. Взаимосвязь показателей спекаемости и петро- графического состава для углей Кузбасса /В.Ф. Добронравов, Т.А. Вертико- ва, М.П. Ганова// Химия твердого топлива, 1982.-№2.-С.24 - 39.
5. Скляр М.Г. О механизме перехода углей в пластическое состояние /М.Г.Скляр, И.В. Нестеренко// Коксохимия, 2000.-№11-12.–С. 2 - 4.
6. Никитин Н.И. О кинетике образования угольной пластической мас- сы /Н.И. Никитин, И.Н. Никитин // Коксохимия, 2004.-№3.–С. 12 - 17.

УДК622.6

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УГЛЕЙ КУЗБАССА КАК ИНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Зверев Р.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Стерлигов В.В.

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

Доклад посвящен вопросам технического анализа углей Кузбасса, ко- торый используется как инструмент мониторинга и рационального использо- вания природных ресурсов.

Ключевые слова: технический анализ углей Кузбасса, зольность, влажность, летучие вещества, элементный состав, органическая масса, минеральные примеси, мониторинг, рациональное использование природных ресурсов, экология.

В настоящее время, имеющаяся топливно-энергетическая ситуация го- ворит о том, что ТЭЦ и котельные, как промышленные, так и муниципаль- ные, останутся основным источником тепловой и электрической энергии. И ведущую роль в энергетике они сохранят за собой на далекую перспективу.

Также следует отметить, что в выработке тепловой и электрической энергии основная роль будет за твердым топливом, среди которых бурые и каменные угли. Для обеспечения надежности, экологической безопасности и

экономичности работы ТЭЦ и котельных, необходимо обеспечивать выполнение контроля качества сжигаемого топлива. Для электростанций к выполнению контроля качества используемого топлива предъявляются особенно жесткие требования, так как очень сложно обеспечить выполнения данных требований при сжигании углей. В силу специфики своего состава у них наблюдаются достаточно большие колебания качества. В этой связи сейчас на практике применяются современные методы анализа качества угля, которые включают в себя следующие этапы [3]:

- отбор проб угля;
- подготовка проб к анализу;
- технический анализ.

Технический анализ выполняется по методикам, которые утверждены ГОСТ, а в ряде случаев – ОСТ (отраслевыми стандартами).

В настоящее время уголь остается самым распространенным в мире энергетическим ресурсом. И соответственно при использовании углей в качестве топлива вопросы экологии и рационального использования природных ресурсов занимают важное место. Кемеровская область является одним из ведущих индустриальных регионов России. На ее территории расположен Кузнецкий бассейн (Кузбасс), который входит в число крупнейших разрабатываемых каменноугольных бассейнов мира.

В Кузбассе при выработке тепловой энергии в муниципальных котельных в топках слоевого сжигания главным образом используется каменный уголь. Применяемая технология дает возможность обеспечить требования по полноте сгорания, эффективности, рационального использования угля и экологическую безопасность.

Для обеспечения требуемых параметров сжигания необходимо осуществлять входной технический анализ угля, поступающего на котельную. Технический анализ необходим, чтобы оценить качество твердого топлива и выбрать рациональный метод его сжигания при выработке тепловой энергии.

В твердом топливе содержится [2]:

- сухая масса (высушиванием);
- органическая масса;
- выход летучих веществ;
- горючая масса;
- минеральная часть (зола);
- влажность.

Органическая масса представлена углеродом, водородом, кислородом, азотом и органическими соединениями серы. Горючая масса включает в себя органическую массу и горючую серу в составе минеральной части. Минеральная часть содержит силикатные соединения щелочных и щелочноземельных металлов, железо, алюминий, сульфаты, сульфиды, карбонаты. Она относится к негорючей части топлива (кроме сульфидов) и после сгорания составляет золу.

Важнейшая часть технического анализа заключается в определении состава исходного угольного сырья. На практике методами технического анализа определяется [1]:

- элементный анализ угля;
- его влажность и зольность;
- количество и состав органической массы;
- наличие минеральных примесей.

В технический анализ обычно объединены методы, которые предназначены для определения в углях, как было отмечено выше, зольности, содержания влаги, серы и фосфора, выхода летучих веществ, теплоты сгорания, спекаемости и некоторых других характеристик качества углей и их технологических свойств [1, 3]. Следует отметить, что полный технический анализ проводится не всегда. Зачастую бывает достаточно выполнить сокращенный технический анализ, который заключается в определении влажности, зольности и выхода летучих веществ. В связи с чем, к показателям технического анализа относятся влага аналитическая, зольность и выход летучих веществ. Они определяют из аналитической пробы топлива, которая доведена до воздушно-сухого состояния. Для их определения применяются известные методы, регламентированные нормативными документами.

Количество точечных проб, которые отбираются в объединенную пробу от партии топлива при определении зольности, рабочей влаги и удельной теплоты сгорания составляет [3]:

- для обогащенного топлива и брикетов – 16;
- для необогащенного топлива – 32.

Более подробно остановимся на особенностях технического анализа влаги, содержащейся в поступающем на котельные угле. Самая важная характеристика угля как топлива - его удельная теплота сгорания. При этом специалистами отмечается, что поставщик угля в удостоверении качества оперирует различными понятиями теплоты сгорания топлива, вводя тем самым в заблуждение потребителей угля.

Для оценки качества топлива применяют два понятия: высшая и низшая теплота сгорания топлива [3]. При этом под высшей теплотой сгорания $Q_{рв}$ подразумевают теплоту сгорания, которая определяется без учета расхода теплоты на испарение влаги топлива и влаги, полученной при сгорании свободного и связанного водорода. Низшая теплота сгорания $Q_{рн}$ – это теплота сгорания, которая определяется с учетом расхода теплоты на испарение влаги. В расчетах теплового баланса и тарифа на тепловую энергию берется низшая теплота сгорания $Q_{рн}$.

В исходном топливе согласно ГОСТ Р 52911-2013 содержатся следующие виды влаги:

- общая влага, которая выделяется при высушивании исходного топлива до постоянной массы W_o ;
- рабочая влага, присутствующая в отгружаемом угле W_p ;

- общая влага, содержащаяся в аналитической пробе W_a ;
- аналитическая, общая в лабораторной пробе W_d ;
- внешняя влага и часть общей, которая выделяется при получении угля в воздушно-сухом состоянии $W_{вн}$;
- влага воздушно-сухая, т.е. часть общей влаги, которая осталась в угле после его подсушивания до воздушно – сухого состояния $W_{авс}$.

При техническом анализе угля нет необходимости определять столько параметров влажности. Из всех параметров, приведенных в ГОСТ, достаточно определять два из них: $W_{об}$ и W_a . При этом влага W_a очень близка к влаге в угле, приведенном в воздушно-сухое состояние при 20 °С и влажности воздуха 65 %.

Отметим, что для вновь открываемых видов топлива основные характеристики играют важную роль при определении способов и методов их дальнейшего использования. В связи с этим на практике необходимо выполнять их технический анализ, так как от этого зависит надежность работы источников тепла и электрической энергии, их экологическая безопасность и эффективность, а также рациональное использование природных ресурсов. При этом отбор проб должен осуществляться очень тщательно согласно ГОСТ, так как выполненный самый точный анализ пробы, неправильно взятой, приводит к неверному представлению о составе и свойствах анализируемого угля.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 53357-2013 (ИСО 17246:2010) Топливо твердое минеральное. Технический анализ.
2. ГОСТ 17070-87 Угли. Термины и определения.
3. Физико-химические свойства горючих ископаемых и методы их исследования: учеб. пособие для вузов / В. Г. Самойлик. – Донецк: ДОННТУ, 2017 – 193 с.

УДК 629.014.8

АККУМУЛЯТОРЫ КАК ОСНОВНАЯ ОПАСНОСТЬ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ИНФРАСТРУКТУРУ МОСКВЫ

Мустафин Т.И.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.Б.

*Московский политехнический университет,
г. Москва, e-mail: ashpina@mail.ru*

Проанализирована возможность переработки либо вторичного использования отслуживших свой срок аккумуляторов от электромобилей. Рассмотрены варианты решения проблемы применительно к Москве.

Ключевые слова: электромобиль, литий-ионный аккумулятор, транс-

портная инфраструктура.

В настоящее время рынок электромобильного транспорта в России находится в стадии зарождения. В связи с этой ситуацией эксплуатация, популяризация, а в будущем и замена транспорта с двигателями внутреннего сгорания на электромобильный транспорт, а, следовательно, и исследование влияния этого процесса на окружающую среду – важнейшая задача для специалистов в сфере экологии.

Тем не менее, у электрификации транспорта есть свои оборотные стороны, свои минусы и свой вред для экологии. Это не так очевидно на первый взгляд, но положительный экологический эффект от перевода значительной части автопарка на электрическую тягу может быть не только нивелирован, но и оказаться еще большей проблемой для экологии.

Основными элементами питания для электромобилей на сегодняшний день являются литий-ионные аккумуляторы. Литий-ионный аккумулятор (Li-ion) представляет тип электрического аккумулятора, который широко распространен в современной бытовой электронной технике и находит свое применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Это самый популярный тип аккумуляторов в электромобилях.

Первый литий-ионный аккумулятор выпустила корпорация Sony в 1991 году. На сегодняшний день даже в Европе с ее более развитой культурой использования электрического транспорта лишь около 5-7 % литий-ионных батарей уходит на переработку [1]. Производство и переработка литий-ионных аккумуляторов – достаточно энергоемкий и грязный процесс. При повреждении аккумуляторов могут выделяться токсичные газы, кислоты и щелочи, а материалы, из которых производят аккумуляторы – литий и кобальт – в природе находятся в крайне ограниченном количестве, и, соответственно, как любые металлы, являются невозобновляемыми ресурсами.

Тем не менее, основной объем аккумуляторных батарей, поступающих на переработку и утилизацию, – это аккумуляторы от бытовой электроники и техники. Связано это с тем, что электромобилей пока не так много, и они в основной своей массе новые – переработка и утилизация батарей пока не требуется.

Но, очевидно, что количество электромобилей, и, как следствие, батарей подлежащих утилизации и переработке, будет расти. Учитывая Парижское соглашение по климату, по расчетам ученых, количество электромобилей уже в следующие 15 лет может вырасти с 2 млн до 140 млн. Рост приведет к тому, что количество отходов в виде использованных литий-ионных батарей может вырасти с 10 тыс. тонн в наши дни до 11 млн тонн к 2025-2030 гг.

Очевидно, потребители не будут выбрасывать эти батареи собственноручно, так как извлечь их из автомобилей и автобусов достаточно сложно. Поэтому важно и необходимо разрабатывать программы по утилизации электромобилей и батарей совместно с их производителями. Идеальный цикл жизни батарей – это их централизованная утилизация с последующей

переработкой и выделением ценных металлов, таких как никель, литий и кобальт. Финансированием сбора этих аккумуляторов, хранения и переработкой должны заниматься либо производители батарей, либо непосредственно производители автомобилей.

На данный момент в Евросоюзе существуют нормативно-правовые акты, которые требуют от производителей аккумуляторов финансировать сборы аккумуляторов, их хранение и переработку. То есть на данный момент действуют технологические цепочки, которые позволяют обеспечить экологически эффективное обращение с аккумуляторами. Так, в бельгийском Антверпене запущен пилотный проект – совместный проект компаний Tesla и Toyota по переработке использованных аккумуляторов. По фирменной технологии батареи отправляются на переплавку, и в процессе переплавки выделяются ценные металлы – никель и кобальт.

Тем не менее, основной проблемой при переработке батарей на данный момент является отсутствие возможности выделять не менее ценный литий – при переплавке он остается как побочный продукт, и выделить его слишком дорогостоящий, энергоемкий, трудоемкий и наукоемкий процесс.

Кроме того, существует проблема, заключающаяся в том, что стоимость переработки 1 кг аккумуляторных батарей составляет примерно 1 евро, а стоимость получаемых на выходе металлов – примерно в 3 раза меньше. Следовательно, процесс переработки автомобильных аккумуляторных батарей убыточен.

Поэтому можно констатировать, что технологии, позволяющие использовать и перерабатывать батареи, имеются, но они неэффективны.

Сегодня на рынок переработки аккумуляторных батарей активно выходят молодые компании со свежими технологиями. Кроме того, разрабатываются стандарты составов аккумуляторных батарей с целью разработки и автоматизации процессов переработки под них. Одним словом, решение проблемы переработки и утилизации аккумуляторных батарей – это дело ближайших 5-10 лет.

Кроме переработки отслуживших свой срок батарей, в Европе эти батареи получают вторую жизнь в системах накопления электроэнергии.

Системы накопления энергии — необходимый элемент энергосистем с «высоким содержанием» объектов генерации на возобновляемых источниках, к которым активно стремится мировое энергетическое сообщество. Возобновляемые источники энергии, при всех их положительных качествах, зависят от природных условий и имеют непостоянную производительность. Так, солнечные станции генерируют электроэнергию лишь в светлое время суток и только в солнечные дни, а работа ветрогенераторов зависит от скорости движения воздуха. Эксперты считают, что именно развитая система аккумулирования обеспечит создание в будущем «зеленой», «умной» энергосистемы — как глобальной, так и локальной.

Электромобили, как ожидается, вообще будут играть значительную роль в развитии систем аккумулирования. Помимо того, что их распространение активизирует работу автопроизводителей над повышением энергоемкости аккумуляторов, они сами смогут стать частью системы хранения энергии. При массовом производстве электрокаров выпуск батарей для них будет расти — это миллиарды штук в год суммарной мощностью в сотни и сотни гигаватт. По мере эксплуатации эффективность таких блоков питания будет неизбежно падать, поэтому считается, что в период от 5 до 10 лет их надо будет менять (если конечно, сам автомобиль столько протянет). Отслужившая батарея не годится для повторного использования в машине, где подвержена постоянно меняющимся температурным и климатическим условиям, нерегулярным циклам разряда-заряда. Но, в то же время, если аккумуляторы установить стационарно, они могут прослужить еще и 10, и 20, и, возможно, даже больше лет.

Например, батареи таких электрокаров как Nissan Leaf и BMW i3 можно использовать для накапливания энергии, которую потом можно продавать в электросеть по более выгодным тарифам (в периоды пикового потребления, например). Более того, для хранения энергии используют и уже отслужившие аккумуляторные батареи электромобилей. Например, стадион ФК «Аякс» в Амстердаме имеет систему аккумулирования энергии, которая состоит из отслуживших батарей электрокаров и работает в связке с установленными на стадионе солнечными панелями, а в Германии из отслуживших батарей электрокаров Smart построено целое хранилище электроэнергии, также ориентированное на «зеленую» энергию.

Кроме интеграции использованных батарей в систему энергоснабжения существуют и иные методы повторного использования батарей. Производитель самого массового из современных электромобилей Nissan и его дочерняя компания 4R Energy Corporation договорились с властями японского города Намье об установке необычных автономных уличных фонарей. Они будут заряжаться от солнечных батарей, а в качестве накопителей энергии использовать отслужившие срок аккумуляторы от электромобиля Nissan Leaf. Это достаточно интересный вариант повторного использования батарей, позволяющий к тому же решить проблему городского освещения дешево и надолго. Ведь срок службы солнечных батарей исчисляется десятками лет, аккумуляторы, будучи установленными стационарно, тоже проработают, как считается, лет 20 и при этом вся система практически не потребует никакого обслуживания. Даже лампочки менять не придется, поскольку для освещения планируется использовать LED-панели.

Основываясь на этом, можно с уверенностью сказать, что на данный момент инфраструктура переработки либо вторичного использования отслуживших свой срок аккумуляторов в нашей стране отсутствует. Решить эту проблему на первоначальном этапе можно с помощью нормативно-

правовых актов, обязывающих продавцов электромобилей осуществлять централизованное обслуживание, замену и утилизацию батарей.

Следующим шагом необходимо организовать авторизованные сервисные центры и предприятия по переработке и утилизации использованных батарей.

Кроме того, нашей стране необходимо переходить на более экологичные источники генерации электроэнергии. Именно в этой ситуации для Москвы могут быть актуальны системы накопления энергии, где пригодятся использованные аккумуляторы электромобилей и электробусов. Также актуально для освещения города использовать автономные фонари.

Библиографический список

1. Электронный ресурс.- Режим доступа: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/10/electric-cars-big-battery-waste-problem-lithium-recycling>.

2. Электронный ресурс.- Режим доступа: http://elektrovesti.net/50689_itogi-goda-sistemy-akkumulirovaniya-energii.

СОДЕРЖАНИЕ

I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ	3
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ag-W, ПОЛУЧЕННЫХ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ ШАХТНОГО ПОДЪЁМНИКА Романов Д.А., Московский С.В.	3
СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ ZnO-Ag Московский С.В., Романов Д.А.	6
ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ Зорин Н.С.	10
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ МАРАНГОНИ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КОРОТКОВОЛНОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ Дырма А.О.	14
ВЫВОД ДИСПЕРСИОННОГО УРАВНЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА- ГЕЛЬМОЛЬЦА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ КОНЕЧНЫХ СЛОЕВ Жаворонкова Е.Ю.	17
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ Дьяченко А.Е., Гагарин А.Ю.	20
СРАВНЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕМНО И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ Досымбетова А.А., Плегунова С.В.	23
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРСОДЕРЖАЩЕГО СЛОЯ, НАПЛАВЛЕННОГО НА СТАЛИ HARDOX-450 Рубанникова Ю.А., Досымбетова А.А., Плегунова С.В.	25
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТИПОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО МАТЕМАТИКЕ Бабушкина О.С.	28
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МЕТАЛЛА МЕДИЦИНСКИХ ИГЛ НА ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ Варфоломеев В.Ю.	33
СПОРТИВНАЯ МЕТРОЛОГИЯ КАК СОВРЕМЕННОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ Артёмов И.А.	37
ПОДБОР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЗОНОЙ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ Романова К.А.	40

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРОЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК «ЯДРО/ОБОЛОЧКА» CdSe/ZnSe НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА Романова К.А.	42
СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ ТИТАН-ЦИРКОНИЙ, СФОРМИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ Соснин К.В.	44
СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ ТИТАН-ТАНТАЛ, СФОРМИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ Соснин К.В.	47
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНДИЙ-ГАЛЛИЕВОЙ ЭВТЕКТИКИ СО СПЛАВАМИ АЛЮМИНИЯ Чумачков И.И.	49
КИНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ε-КАПРОЛАКТАМА В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА ТИТАНА Шекаева А.Р., Федорчук А.Н.	50
ПОТЕНЦИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ С УЧАСТИЕМ МЕТАЛЛОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ Зайцев Н.С., Бендре Ю.В., Лежава С.А.	54
II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	65
ОПЫТНО – ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЩЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ ВЕРХНЕ - ИЛЬДИКАНСКИЙ И БЫСТРИНСКОЕ - 2 ООО «ГРК «БЫСТРИНСКОЕ» Бородкина Д.А., Курдюков М.О.	65
КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Воронцова А.В.	69
АНАЛИЗ ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ШАХТ С ПОДЪЕМОМ ЛЮДЕЙ ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ Амбарян Ш.Ю., Бухгольц Э.И., Папян Н.О.	73
ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА Паринов Д.В.	75
ДОРАБОТКА НЕКАНДИЦИОННЫХ ЗАПАСОВ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА Амбарян Ш.Ю., Бухгольц Э.И.	78
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШАХТАХ КУЗБАССА Абдуалиев М.В., Михно А.Р.	81

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ МАССЫ ПАДАЮЩЕГО ГРУЗА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ Апёнкин В.Е., Агеев Д.А., Климкин М.А.	85
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ Борзых Д.М., Никитина А.М., Риб С.В.	89
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ И РЕМОНТА ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «ОСИННИКОВСКАЯ» Никитина А.М., Борзых Д.М.	92
СНИЖЕНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «ХАКАССКАЯ» Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.	96
УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ ШАХТЫ «ОКТЯБРЬСКАЯ» Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.	100
ДИНАМИКА ДОБЫЧИ И ЭКСПОРТА УГЛЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Курдюков М.О.	104
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРОВ МАРКИ АСГ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ Паринов Д.В., Абдуалиев М.В.	110
БУРОВАЯ ШТАНГА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОЕ УДАЛЕНИЕ ШЛАМА ПРИ БУРЕНИИ ШПУРОВ Корнеев П.А., Корнеев В.А.	112
III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	116
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМА ИЗ ХРОМОВЫХ РУД УСПЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ Павлов В.Е.	116
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ ПРОДУВКИ Денисов Я.В.	120
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ЦЕХЕ НА КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ) Решетнев О.А.	125
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ) Решетнев О.А.	129

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОМОЛЬНЫХ ШАРОВ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Щукин А.Г., Суслова Е.М.	134
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛЮЩИХ ШАРОВ В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ Суслова Е.М.	139
ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОМОЛИБДЕНА В РОССИИ Горлова А.А.	142
ОБОЖЖЕННЫЕ АНОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ: ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, КАЧЕСТВО Лысенко О.Е.	146
АНАЛИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ Si – С – N И Si – С – Н - N Черновский Г.Н.	149
ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ДИСПЕРСНОСТИ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПРИ ПЛАЗМООБРАБОТКЕ Черновский Г.Н.	152
ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН АЛЮМИНИЯ А85 ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ Шляров В.В., Бутакова К.А.	154
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С-2, С-3 Гараев Р.Г.	157
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ПОРОШКА ВВ751П НА ПОДЛОЖКУ СПЛАВА ВТ20 Осинцев К.А., Голубева А.А., Носова Е.А., Смелов В.Г.	163
ВОЗМОЖНОЕ ПАРТНЕРСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ОАО “НКАЗ” И АО “ЕВРЕЗ ЗСМК” С ПЕРСПЕКТИВОЙ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ Спатарь В.А., Захарова О.С.	165
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ТРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА БРАЖ9-4 Чаплыгин К.К.	168
ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА Федорова М.В., Устинова А.Г.	170
МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ Вахман С.А., Филиппова М.В.	173

РАЗРАБОТКА САМОФЛЮСУЮЩЕЙСЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА Комаров А.А., Алимарданов П.Э., Смаилов Н.Д., Михно А.Р.	181
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo Гусев А.И., Крюков Р.Е.	184
РАЗРАБОТКА САМОФЛЮСУЮЩЕЙСЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА Гусева Д.А., Азаренков И.А., Шамрай В.Р., Михно А.Р.	187
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ Мамедов Р.О.	190
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РАФИНИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО И СВОЙСТВА ОТЛИВОК Мамедов Р.О.	194
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА Белов Д.Е., Симонова Д.Е., Михно А.Р.	197
ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА Белов Д.Е., Симонова Д.Е., Михно А.Р.	201
ОБРАЗОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Шевченко Р.А.	203
РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Патрушев А.О., Шевченко Р.А.	206
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛЮМОТЕРМИТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ Тосик В.В.	209
ЦИКЛЫ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК Александрова О.А.	212
НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ Артеева Т.Е., Цыганенко Н.Д.	216
ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Дьяченко Е.В., Мигель Д.О.	220
ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ Красильников В.В.	224
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА Карбач Ю.С.	228

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РОССИИ Шестопалов Н.Е.	233
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ РАЗОГРЕВА НА ЭНЕРГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТЕНДОВ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ Григорьев А.В., Запольская Е.М.	238
ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ Шестопалов Н.Е.	242
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ РАЗОГРЕВЕ Григорьев А. В., Запольская Е.М.	247
НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ КОЭФФИЦИЕНТА ИСТЕЧЕНИЯ Хромых Н.А.	253
ТРЕБОВАНИЯ К ШИХТОВЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА Свойкин А.А.	257
СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА Свойкин А.А.	260
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВДУВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ Кравцов А.Е.	264
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА Кравцов А.Е.	268
IV. ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ	272
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКИМ ТЕРМИНАЛОМ Рымкевич А.А.	272
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА «ПЛЕЧЕВОЙ» СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ ДВУХЗВЕННОГО ПЛОСКОГО МАНИПУЛЯТОРА РОБОТА Азенков А.А.	276
БЕЗОПАСНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛЁТОВ ВС ГА В ВЫСОКОГОРНОЙ МЕСТНОСТИ Атажанов Д.Т.	278
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ «СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ АВТОМОБИЛЕЙ» Хрусталева А.И.	284
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ШАССИ И ТРАНСМИССИЯ АВТОМОБИЛЕЙ» Андреев К.А.	288

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ Коваль М.Н.	293
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ МЕЛКИХ КЛАССОВ УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ Скрипко А.А.	296
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТЫКОСВАРОЧНОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАВильНОГО АГРЕГАТА ЦХПП ПАО НЛМК Сорокин Н.А.	298
ПРОЦЕССЫ ДРОБЛЕНИЯ УГЛЯ И ПОРОДЫ Жуков М.С.	301
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТЯГОДУТЬЕВОЙ МАШИНЫ ПРИ СЕПАРАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ Поплавский М.К.	306
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ Шаваев А.В.	314
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА МАГНИТОГОРСК В РЕЖИМЕ ВЗЛЕТ-ПОСАДКА Шаваев А.В.	322
ВАРИАНТЫ РЕГИСТРАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОТКРЫТЫХ ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ НОЖНИЦ 14 МН Гулиашвили Л.Ш.	329
V. ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	333
ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ Сабиров Р.Ф.	333
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОТОПЛЕНИЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ Сазонова Я.Е.	336
ТЕХНОЛОГИЯ ПОДОГРЕВА ДОБАВОЧНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ КОТЛОАГРЕГАТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЭЦ Адыбаев Д.Е.	339
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ (ПЕЛЛЕТОВ) КАК АЛЬТЕРНИВЫ ТРАДИЦИОННЫМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯМ Алшынбаев С.Д.	343
ИЗВЛЕЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ Арсланова Г.Р., Габидуллин А.М., Гильмутдинов И.Р.	348

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ Ахметова Д.А., Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р.	352
ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ Ахметова Д.А., Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р.	353
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И СНЕЖНОГО П ОКРОВА ГОРОДА НОВОКУЗНЕЦКА Шарипова Н.В., Богданова Я.А.	356
ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ Брызгалова А.Ю.	362
ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ И ПОЛИЭТИЛЕНА В ДРЕВЕСНО-КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ Валеев К.В., Саттарова З.Г.	367
ОЦЕНКА ОПАСНОСТЕЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПАО «ДОРОГОБУЖ» Гуртовенко А.А.	369
СОДЕРЖАНИЕ ВАЛОВЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БУРОВОМ ШЛАМЕ НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ Тарасова С.С., Быцко А.А.	372
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ Гумеров Д.Р., Степанова Т.О., Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р.	376
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ И ЭКОЛОГИЯ Зверев Р.С.	378
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УГЛЕЙ КУЗБАССА КАК ИНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ Зверев Р.С.	382
АККУМУЛЯТОРЫ КАК ОСНОВНАЯ ОПАСНОСТЬ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ИНФРАСТРУКТУРУ МОСКВЫ Мустафин Т.И.	385

Научное издание

НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Часть IV

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых*

Выпуск 23

Под общей редакцией

М.В. Темлянцева

Технический редактор

Г.А. Морина

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

В.Е. Хомичева

Подписано в печать 05.06.2019 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 22,8 Уч.-изд. л. 25,2 Тираж 300 экз. Заказ № 145

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ