

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

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЧАСТЬ II

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
12 – 14 мая 2021 г.*

выпуск 25

Под общей редакцией профессора Н.А. Козырева

**Новокузнецк
2021**

ББК 74.48.288
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
д-р геол.- минерал. наук, профессор Гутак Я.М.,
д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.,
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.,
д-р техн. наук, доцент Фастыковский А.Р.,
д-р техн. наук, профессор Темлянец М.В.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Министерство науки и высшего образования РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. Н. А. Козырева – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2021. – Вып. 25. – Ч. II. Технические науки. – 365 с. : ил.

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования.

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

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

I ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.32

СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Герасимова Ю.В., Матвеев А.В., Курдюков М.О., Лобанова О.О.
Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.**

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

Рекультивация земель – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.

Ключевые слова: охрана окружающей среды, рекультивация, социальная значимость технологии рекультивации.

По состоянию на 01.01.2021 на территории Кемеровской области – Кузбасса действует 123 лицензии на пользование недрами с целью добычи общераспространенных полезных ископаемых (минерального сырья, применяемого, преимущественно, в строительных целях): кирпичных глин, строительного камня, песка, песчано-гравийных смесей. За 2020 год выдано 90 новых лицензий, переоформлено 8 лицензий на пользование недрами, выдано 22 дополнения к лицензиям на пользование недрами. Фактически в настоящее время в Кузбассе 160 действующих и 106 строящихся шахт и разрезов. На балансе предприятий находится 21 117,467 млн т каменного угля, из них добыто в 2019 году 248,7 млн т угля. Крупнейшими предприятиями по добыче каменного угля в Кемеровской области – Кузбассе являются: АО УК «Кузбассразрезуголь» (с добычей 39,1 млн т/год), АО «СУЭК-КУЗБАСС» (с добычей 25,1 млн т/год), ПАО «Кузбасская Топливная Компания» (с добычей 13,9 млн т/год), ООО «Разрез Кийзасский» (с добычей 8,9 млн т/год), ОАО «Черниговец» (с добычей 7,1 млн т/год).

По данным Доклада о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году (Администрация правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса, Кемерово, 2021) [1], Южно-Сибирским межрегиональным управлением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2020 году, к административной ответственности по ч. 1 ст. 8.7 КоАП РФ за невыполнение или несвоевременное выполнение обязанностей по рекультивации земель при раз-

работке месторождений полезных ископаемых, включая общераспространенные полезные ископаемые, привлечены АО «Разрез Томусинский», ООО «Шахта «Есаульская», ООО «Энергоуголь», ООО «Ресурс», ООО «Энергия-НК», ООО «ММК-Уголь», ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», ООО «Воскресенка», ООО «Диабаз», ООО «Артель старателей «Аргут», ООО «Артель Восточная», ООО «Сибирская золоторудная компания», ООО «Кузбассзолото», ООО «Базас», ООО «Сибгравий». Общая сумма наложенных штрафов составила 6 270 тыс. руб.

Так же в течении 2020 год выявлено 16 фактов безлицензионного пользования недрами. Вынесено 15 постановлений, 8 из которых на должностное лицо, 2 - на физическое лицо. Виновные лица привлечены к административной ответственности на общую сумму 4 273 тыс. руб.

Необходимо особо отметить, что в указанном документе 2020 года, отсутствуют как таковые следующие разделы, имеющиеся во всех предыдущих докладах вплоть до 2019 года: Почвы и земельные ресурсы, Состояние недр и использование полезных ископаемых, содержащие информацию об объемах нарушенных и рекультивированных земель.

По данным Доклада о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2019 году (Администрация правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса, Кемерово, 2020) за 2019 год общая площадь данной категории земель промышленного назначения увеличилась на 5,2 тыс. га и составила 173,6 тыс. га. Увеличение произошло за счет 160 переводов: 3,6 тыс. га из земель сельскохозяйственного назначения, 1,4 тыс. га из земель населенных пунктов и 0,2 тыс. га из земель запаса.

Большой негативный вклад в процессы деградации и уничтожения почвенного покрова на территории Кемеровской области – Кузбасса вносят горнодобывающие предприятия, особенно при открытой добыче угля, с образованием в зоне действия объектов техногенных ландшафтов. Согласно данным, представленным Южно-Сибирским межрегиональным управлением Росприроднадзора, площадь нарушенных земель по состоянию на 01.01.2020 составила 114,726 тыс. га, из них нарушено при разработке месторождений полезных ископаемых – 108,074 тыс. га, при проведении строительных работ – 3,694 тыс. га, при размещении промышленных и твердых бытовых отходов – 2,579 тыс. га. Из общей площади нарушенных земель отработано по состоянию на 31.12.2019 – 9,662 тыс. га. За 2019 год нарушено земель 5,443 тыс. га (при разработке месторождений полезных ископаемых – 4,863 тыс. га, при строительных работах – 0,414 тыс. га), рекультивировано 0,711 тыс. га, что составило 13,1 % от площади нарушенных земель за отчетный год. Из общей площади нарушенных земель отработано 3,804 тыс. га (69,9 %) [2].

В течении многих лет работы по рекультивации не проводятся в должном объеме, так как Закон Российской Федерации «О недрах» прямо не предусматривает обязанности недропользователя обеспечить проведение ре-

культивации нарушенных земель, а всего лишь прописана обязанность пользователя недр обеспечить приведение участков земли и других природных объектов, нарушенных при пользовании недрами, в состояние, пригодное для их дальнейшего использования.

Следует особо отметить тот факт, что предоставление земельного участка для проведения работ, связанных с геологическим изучением и иным использованием недр, осуществляется в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, то есть после утверждения проекта проведения указанных работ - технического проекта и наличия утвержденного проекта рекультивации земель не требуется. Проведенные работы очень часто не соответствуют требованиям законодательства и даже проекта рекультивации на данный объект. То есть рекультивация проводится только на бумаге. Довольно часто это неплохой способ отмывания денег, а также «распиливания» средств, полученных в результате добычи полезных ископаемых. На деле карьерные выемки засыпаются строительным мусором, плодородие почв не восстанавливается и экосистеме наносится непоправимый ущерб.

И на сегодняшний день в российской практике работ по рекультивации сложилась ситуация, что, работы по рекультивации земель после окончания разработок месторождений часто не проводятся вовсе. Наиболее распространённый случай, это когда после окончания работ юридическое лицо объявляет себя банкротом либо перепродается, и, соответственно, средства на проведение работ по рекультивации взять негде, рекультивация не проводится.

Вместе с тем, опыт проведенных исследований проблем недропользователей в области рекультивации показывает, что большинство испытывают трудности: на этапе проектной деятельности; в период прохождения этапов отработки месторождения; в период обострения промышленно-хозяйственных отношений; социально – экономических проблем на предприятии.

Опыт работы с представителями недропользователей показывает, что горняки-технологи в силу своей загруженности текущими вопросами не имеют возможности на очные встречи с разработчиками технических ращений в области рационального недропользования и рекультивации земель. Ситуация усугубилась и общей ситуацией в стране и мире, связанная с эпидемией коронавируса COVID-2019 и снижением спроса на продукцию угледобывающих предприятий, соответственно произошла приостановка деятельности многих производств: с одной стороны, в связи со снижением спроса обострились внутренние экономические проблемы, а, с другой стороны, в этот период была упущена реальная возможность получить специалистами предприятий консультации и результаты исследований в онлайн формате. Таким образом, в силу волатильности и слабой самоорганизации в период простоя, специалисты горнодобывающих предприятий остаются один на один со своими проблемами.

Но такая ситуация не наблюдается на предприятиях, на которых сформированы традиции рационального недропользования, целью которых является не создание какого-либо продукта, а социально значимый процесс по восстановлению техногенного ландшафта и возврату нарушенных ранее территорий в хозяйственный оборот.

На территории проведения рекультивации и вблизи расположенных территорий снижается негативное влияние горных работ, снижается пылеобразование, эрозия почв, восстанавливается водный баланс на территориях. Подготовленные территории возможно эксплуатировать на благо и для целей общества, то есть получить в итоге социально значимый результат.

Социально значимый проект [3] – один из способов развития гражданского общества. Он подразумевает участие общества в разработке и принятии решений. Проекты направлены на изменения или преодоление социальных решений представителей власти или частных лиц, которые затрудняют жизнь или доступ к услугам определенным участникам сообщества.

Социальную значимость технологии рекультивации открытых горных работ можно сформулировать следующими тезисами:

- технология рассчитана на ясный и достижимый технический результат;
- важным фактором успешного социального проекта считается возможность существования проекта после окончания периода его финансирования;
- возможность использования идеи или самого продукта в условиях других географических зон или социальных групп;
- проект должен быть открыт как для новых участников, так и для тех, кто хотел бы запустить аналогичный продукт самостоятельно.

Именно поэтому необходимо дополнительно организовать работу, направленную на формирование и развитие технико-социальных компетенций на предприятиях у специалистов занятых в горной отрасли способности к развитию конструкторского потенциала и своевременной организации работ по восстановлению нарушенных земель горными работами как средства профилактики от приостановки деятельности предприятия, отзыва лицензий, а также оплаты штрафов, то есть возникновения затрат несоизмеримых со стоимостью работ по рекультивации.

Библиографический список

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2020 году, г. Кемерово, 2021
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2019 году, г. Кемерово, 2020
3. Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности. 2017, Харионовский А.А., Данилова М.Ю Научно-технический журнал №3-2017

ПРИМЕР РАСЧЕТА СТОИМОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Яфясов Д.А., Курдюков М.О., Матвеев А.В., Лобанова О.О.
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.

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

Настоящей статьей предлагается анализ ожидаемой стоимости работ по засыпке оставшейся выработки и выколаживанию откосов на техническом этапе рекультивации.

Ключевые слова: анализ стоимости производства работ, рекультивация.

Филиал «Талдинский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – Ерунаковское поле расположен в юго-восточной части Ерунаковского геолого-экономического района, на левом берегу р. Томи, в пределах Ерунаковского каменноугольного месторождения Кузбасса.

Проектом производства работ по доработке участка открытых горных работ предусматриваются следующие этапы:

- первый этап предусматривает отработку запасов в границах лицензионных участков КЕМ 01642 ТЭ и КЕМ 11702 ТЭ;
- второй этап предусматривает прирезку запасов в северной части по почве пласта 78н. п., в восточной части – по границе водоохраной зоны р. Томь и доработку оставшейся части запасов в границах лицензионных участков КЕМ 01642 ТЭ и КЕМ 11702 ТЭ;
- третий этап рекультивация оставшейся горной выработки.

Итак, вводные данные для производства работ третьего этапа следующие.

Планируемый объем работ по заполнению горной выемки при производстве работ по рекультивации составляет – 1 млн м³. Средний перепад высот по заполнению горных выработок и выравниванию поверхности – 15 метров. Протяженность заполняемой выработки - 2,5 км.

Принимаем следующий набор оборудования.

- Экскаватор с емкостью ковша 2,5 ÷ 3,2м³ – 1 единица;
- Автосамосвалы БелАЗ 7555В, грузоподъемностью 55 тонн (объем груза к учету 23м³ – паспорт загрузки, вид груза «навалы»);
- Бульдозер тяжелого класса, масса 37 тонн – 1 единица;
- Автогрейдер масса 20 тонн – 1 единица;
- Машина дорожная комбинированная, необходимая для полива автодорог в летний период и подсыпки грунтом в зимний – 1 единица;

- Мачта освещения для зоны разгрузки автосамосвалов в ночное время – 1 единица;
- Бензогенератор для обеспечения работы мачты освещения – 1 единица;
- Поливочный гусак с мотопомпой для заправки водой и полива карьерных дорог – 1 единица;
- Постоянные производственные ежемесячные расходы.

Комплекс экскаватор – самосвал – бульдозер принят из расчета оптимального рационального соотношения оборудования.

Исходя из сравнительно небольшого объема работ по перемещению горной массы оптимальным решением будет привлечение наемного оборудования по договорам оказания услуг.

Из постоянных затрат недропользователя необходимо будет выделить только затраты на заработную плату руководящих инженерно-технических работников и специалистов занятых в технологическом процессе, их доставку, бытовое обслуживание, приобретение мачты освещения и бензогенератора, ГСМ для их заправки и другие мелкие расходы.

Таблица 1 – Расчёт экономической составляющей работ по рекультивации

Показатели	Расчетное значение
Горнотранспортное оборудование	
Экскаватор Volvo 460	
Планируемый объем работ по перевозке горной массы, м ³	1 000 000
Месячная производительность экскаватора	103 629
Продолжительность работы комплекса, мес	9,6
Количество часов работы экскаватора в месяц	600
Плановый часовой расход топлива экскаватором, литр/час	35
Планируемый расход топлива экскаватором в месяц, литр	21 000
Планируемый расход топлива экскаватором за все время производства работ, литр	202 646
Рыночная стоимость топлива с учетом доставки и заправки в бак, руб	44,50
Среднерыночная стоимость оказания услуг экскаватором, руб/час	2 700
Планируемое время работы экскаватора по погрузке автосамосвалов за весь период работы, час	5 790
Стоимость экскаваторных работ без учета ГСМ, руб	15 632 690
Стоимость потребленного ГСМ за весь период производства работ, руб	9 017 746
Стоимость экскаваторных работ с учетом ГСМ за весь период, руб	24 650 436
Автосамосвалы БелАЗ 7555	
Средневзвешенное расстояние транспортирования горной массы, км	3,0
Принимаемый к учету перевозимый объем горной массы в кузове автосамосвала за один рейс, м ³	23

Продолжение таблицы 1

Показатели	Расчетное значение
Необходимое количество рейсов автосамосвалов для перевозки всего объема горной массы, ед	43 478
Среднерыночная стоимость перевозки горной массы автосамосвалом БелАЗ на принятое средневзвешенное плечо транспортирования горной массы, руб/м ³	40,60
Стоимость работы автосамосвалов по перевозке горной массы без учета ГСМ, руб	40 600 000
Планируемый расход топлива автосамосвалами, литр/100 км (инструкция по эксплуатации автосамосвала БелАЗ 7555)	300
Общий пробег автосамосвалов при выполнении всего комплекса работ, км	260 870
Планируемый расход топлива автосамосвалами за весь период производства работ, литр	782 609
Затраты на топливо за весь период производства работ, руб	34 826 087
Затраты на работу автотранспорта с учетом ГСМ, руб	75 426 087
Вспомогательное оборудование	
Автогрейдер ДЗ-98	
Количество часов работы автогрейдера в месяц	600
Плановый часовой расход топлива автогрейдером, литр/час	25
Планируемый расход топлива автогрейдером в месяц, литр	15 000
Среднерыночная стоимость оказания услуг автогрейдером, руб/час	2 100
Планируемое время работы автогрейдера за весь период работы, час	5 790
Стоимость работы автогрейдера без учета ГСМ, руб	12 158 759
Стоимость потребленного ГСМ за весь период производства работ, руб	6 441 247
Стоимость работы автогрейдера с учетом ГСМ за весь период, руб	18 600 006
Бульдозер Shantui SD - 32	
Количество часов работы бульдозера в месяц	600
Плановый часовой расход топлива бульдозером, литр/час	32
Планируемый расход топлива бульдозером в месяц, литр	19 200
Среднерыночная стоимость оказания услуг бульдозером, руб/час	2 300
Планируемое время работы бульдозера за весь период работы, час	5 990
Стоимость работы бульдозера без учета ГСМ, руб	13 776 736
Стоимость потребленного ГСМ за весь период производства работ, руб	8 529 596
Стоимость работы бульдозера с учетом ГСМ за весь период, руб	22 306 332
Машина дорожная комбинированная (орошение/подсыпка автодорог)	
Количество часов работы МДК в месяц	600
Плановый часовой расход топлива МДК, литр/час	8
Планируемый расход топлива МДК в месяц, литр	4 800
Среднерыночная стоимость оказания услуг МДК, руб/час	1 500
Планируемое время работы МДК за весь период работы, час	5 790

Окончание таблицы 1

Показатели	Расчетное значение
Стоимость работы МДК без учета ГСМ, руб	8 684 828
Стоимость потребленного ГСМ за весь период производства работ, руб	2 061 199
Стоимость работы МДК с учетом ГСМ за весь период, руб	10 746 027
Освещение автоотвала	
Мачта освещения с прожекторами	б/у разрез
Время работы бензогенератора за весь период работы (10 часов в сутки)	3 040
Расход топлива, литр/час	3
Стоимость бензогенератора	25 000
Стоимость работы бензогенератора с учетом ГСМ и замены расходных материалов, руб	435 799
Производственный персонал	
Заработная плата специалистов с налогами, доставка до места работы, санитарно-бытовое обслуживание, услуги медицинских осмотров и др постоянные расходы, руб/месяц	1 500 000
Итого затраты на специалистов и обслуживание за весь период, руб	14 474 713
Общие затраты на производство комплекса работ	
Затраты на работу оборудования за весь период производства работ, руб	90 853 012
Затраты на топливо за весь период производства работ, руб	60 875 876
ИТОГО: общие затраты на принятую технологию, руб	166 639 398

Анализ способов, методик расчета параметров, требований к реализации описанной технологии рекультивации открытых горных выработок позволяет сделать следующие выводы.

1. Для сбалансированной работы технологических звеньев и процессов описанной технологии рекультивации открытых горных выработок необходимо соблюдать требование «Производительность каждого последующего технологического звена должна быть равной или больше предыдущего».

2. Выбор параметров технологии должен производиться в итерационном режиме с применением локальных и общих критериев оптимизации.

Библиографический список

1. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Эскавация и транспортирование, 1988.

2. Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности. 2017, Харионовский А.А., Данилова М.Ю Научно-технический журнал №3-2017.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ, ЗАНЯТОГО ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Курдюков М.О., Матвеев А.В., Лобанова О.О.

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

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

Настоящей статьей предлагается анализ ожидаемой производительности комплекса горнотранспортного оборудования при производстве работ на техническом этапе рекультивации.

Ключевые слова: производительность комплекса горнотранспортного оборудования, рекультивация.

Филиал «Талдинский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – Ерунаковское поле расположен в юго-восточной части Ерунаковского геолого-экономического района, на левом берегу р. Томи, в пределах Ерунаковского каменноугольного месторождения Кузбасса.

Проектом производства работ по доработке участка открытых горных работ предусматриваются следующие этапы:

- первый этап предусматривает отработку запасов в границах обрабатываемого участка;
- второй этап предусматривает прирезку запасов и доработку оставшейся части запасов в границах существующего участка;
- третий этап рекультивация оставшейся горной выработки после добычи полезного ископаемого.

Планируемый объем работ по заполнению горной выемки при производстве работ по рекультивации составляет – 1 млн м³. Средний перепад высот по заполнению горных выработок и выравниванию поверхности – 15 метров. Протяженность заполняемой выработки - 2,5 км.

Принимаем следующий набор оборудования.

- Экскаватор с емкостью ковша $2,5 \div 3,2 \text{ м}^3$ – 1 единица;
- Автосамосвалы БелАЗ 7555В, грузоподъемностью 55 тонн (объем груза к учету 23 м^3 – паспорт загрузки, вид груза «навалы»);
- Бульдозер тяжелого класса, масса 37 тонн – 1 единица;
- Автогрейдер масса 20 тонн – 1 единица.

Комплекс экскаватор – самосвал – бульдозер принимается из расчета оптимального рационального соотношения оборудования.

Таблица 1 - Расчет производительности экскаватора

№ пп	Исходные данные	Услов. обозн.	Навалы II-III кат	Примечание
1	Емкость ковша экскаватора, м ³	Екв	2,6	VOLVO-460
2	Продолжительность смены, мин	Тсм	720	Положению о нарядной системе
3	Регламентированные перерывы внутри смены, мин	Тпер	60	Положению о нарядной системе
4	Среднее время работы экскаватора в час, мин	Тэч	60	
5	Чистое время работы экскаватора в час с учетом КИП	Тч	51	Применение КИП =0,85*
6	Время на установку автосамосвала под погрузку	Та/с	0	Табл. 3.5, стр. 76-77 ЕНВ
7	Время одного цикла погрузки экскаватора	Тц	26,6	Табл. 3.1, стр. 70 ЕНВ
8	Средневзвешенный объемный вес горной массы	γ	2,35	Паспорт загрузки
9	Коэффициент наполнения ковша	Кнк	0,90	Табл. 2.5, стр. 63 ЕНВ
10	Вместимость ковша экскаватора с учетом коэф нап	Е кв.ц	2,34	расчетные данные, Екв.ц=Екв*Кнк
11	Модель автосамосвала		БелАЗ-7555В	
12	Вместимость кузова а/с в целике средняя	Е а/с	23,0	Паспорт загрузки
13	Насыпной объем	Е насыпн	30,0	Паспорт загрузки
14	Кол-во циклов, необходимое для загрузки 1 а/с	На/с	13	Нас=Енасыпн/Екв/Кнк
15	Время загрузки кузова одного автосамосвала	Тка/с	5,68	Ткас=(Нас*Тц)/60
16	Часовая производит-ть экскаватора	Ачас	232	Ачас=(Тэч/(Ткас+Тас))*Еас
17	Сменная производит-ть техническая (до учета КИП)	Ан.см	2554,65	Ан.см=((Тсм-Тпер)/(Тас+Ткас))*Еас
18	- коэф. учит. тупиковую установку а/с под погрузку	Кнп	1,00	
19	- коэфф. учитывающий работу на неустойчивой почве	Ктем	1,0	Табл. 15, стр. 53 ЕНВ
20	- коэф. учит. ведение БВР	Кбвр	0,99	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
21	- коэф. учит. зачистку проездов к забою бульдозером	Кб	1,00	
22	- коэф. учит. зачистку пласта от засоряющ пород	Кзуп	1,00	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
23	- коэф. учит. селективную выемку угля	Ксв	1,0	
24	- коэф. учит. влажность и вязкость пород	Квп	1,00	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
25	- коэф. учит. угол поворота стрелы эк-ра более 135 гр.	К пс	1,00	Табл. 15, стр. 53 ЕНВ
26	Общий расчетный корректирующий коэффициент	Кобщ	0,936	Кобщ=Кнп*Кбвр*Кб*Квп*Кпс
27	Сменная производит-ть с учетом кор. коэф.	Асм	2391	Асм=Ан.см*Кобщ
28	Расчетная суточная производительность (до учета КИП)	Асут	4781	Асут=Асм*2
29	Количество рабочих дней в месяц	П мес	25,5	Пмес=30-Пто-Пку
30	-продолжительность проведения ТО и ремонтов	Пто	4,5	Ктг
31	-количество дней с неблагоприят климатич. условиями, перегоны	Пку	2,0	
32	Коэфф. Технической готовности	Ктг	0,85	Ктг**=0,85 (Справочник открытые горные работы)
33	Расчетная производительность экскаватора (с учетом КИП, общего корректирующего коэффициента) в час	Ач.ч.	185	Ачас*КИП
34	Расчетная сменная производительность (с учетом КИП)	Асмен	2032	Асмен=Ач.ч.*11
35	Расчетная производительность экскаватора (с учетом КТГ) в месяц	Амес	103629	Амес=Асут*Пмес*Ки/1000
36	Расчетная производительность экскаватора	Амес.т	243527	Амес.т.=Амес*γ

*- Коэффициент использования сменного времени КИП - учитывает чистое рабочее время экскаватора в смену
 ** - Коэффициент технической готовности экскаватора - учитывает рабочее время экскаватора в месяц с учетом проведения ремонтно-подготовительных работ

Таблица 2 - Расчет производительности автосамосвала по горной массе и определение списочного парка

№ п/п	Наименование показателей	Услов обозн.	Един из-мер.	БелАз 7555 (55тн)	Примечание
1	Экскаваторная техника		мо-дель	VOLVO-460	Марка экскаватора
2	Тип груза			Навалы	(II-III категория)
3	Емкость ковша экскаватора		м ³	2,6	Расчет производительности экскаватора
4	Грузоподъёмность автосамосвала паспортная	G	тонн	55	Техническая характеристика
5	Объёмный вес породы в целике	У	т/м ³	2,35	Паспорт загрузки
6	Объем груза в целике к учету	Еа/с	м ³	22,0	Паспорт загрузки
7	Расстояние транспортировки*	L	км	3,0	Среднее расстояние транспортирования
8	Кол-во циклов, необходимое для загрузки 1 а/с		ковш	13	Расчет производительности экскаватора
9	Среднейсовая скорость движения автосамосвала	Са/с	км/час	23,37	ЕНВ таб. 2.10 стр 67
10	Время на зачистку бульдозером		мин	0,4	ЕНВ из расчета 13,75 мин в смену на зачистку бульдозером
11	Время ожидания под погрузку	Та/с ож	мин	0,4	Табл. 3.5, стр. 76-77 ЕНВ
12	Время установки автосамосвала под погрузку	Та/с туп	мин	0,7	Табл. 3.5, стр. 76-77 ЕНВ
13	Время загрузки кузова одного автосамосвала	Тка/с	мин	5,68	Расчет произв. экскаваторов п.14
14	Время установки автосамосвала под разгрузку	Т а/с р	мин	0,60	Табл. 3.5, стр. 76-77 ЕНВ
15	Время разгрузки автосамосвала	Т а/с	мин	0,80	Табл. 3.5, стр. 76-77 ЕНВ
16	Время движения автосамосвала (рейс туда обратно)	Та/с дв	мин	15,4	Та/сдв=L*60*20/Саc
17	Время одного оборота рейса	Та/с ре	мин	24,0	Тас-ре=Ткас+Тас+Таср+Тасож+Таступ+Тасдв
18	Продолжительность смены	Тсм	мин	720	Прил 2 к положению о нарядной системе
19	Регламентированные перерывы в течении смены (обед)	Тпер	мин	60	Прил 2 к положению о нарядной системе
20	Норматив времени на выполнение подготовительно-заключительной работы и ТО	Тнто	мин	85,25	ЕНВ стр 76 (норматив времени на подготовительно-заключительные работы 55 мин)
21	Базовая сменная производительность норма выработки	Мб.н	м ³	527	Мб.н=((Тсм-Тпер-Тнто)/Тас ре)*Еа/с
22	Базовая Норма-рейс	Нр		24	Нр=((Тсм-Тпер-Тнто)/Тас ре)*КИП
23	Общие корректирующие коэффициенты	Кобщ		0,91	Кобщ=Ктем*Кочн*Квп*Ктуп*Кпи*Кбд
24	коэфф. учитывающий работу на неустойчивой почве	Ктем		1,00	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
25	коэф. учитывающий очистку кузова от налипания	Кочн		1,00	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
26	коэф. влажные, вязкие породы	Квп		1,00	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
27	коэф. учит. туп. установку автомобиля под погрузку	Ктуп		1,00	Учен при расчёте продолжительности одного оборота рейса
28	коэф. учит. зачистку пласта от засоряющ пород (селективная добыча)	Ксв		1,00	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
29	коэф. учит. ведение БВР	Кпм		0,99	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
30	коэф. учит. бездорожье, вызванное атм. осадками	Кбд		0,95	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование показателей	Услов обозн.	Един измер.	БелАЗ 7555 (55тн)	Примечание
31	коэф при транспортировании с приведенным расстоянием до 5км	Кр		0,97	Табл. 15, стр. 52 ЕНВ
32	Сменная производительность с учетом корр.коэф.	Мсм	м ³	478	Мсм=Мбн*Кобщ
33	Сменная норма-рейс с учетом корр.коэф	Нрк		22	Нрк=Нр*Кобщ
34	Средняя суточная производительность а/самосвала	Мсут	м ³	957	Мсут=Мсм*2
35	Количество дней в месяц		суток	30,0	
36	Среднее количество рабочих дней в месяц	Пмес	суток	25,5	Пмес=30*0,85 (КИП=0,85 справочник Открытые горные работы)
37	Количество дней простоя по ТО (ремонт)	Пто	суток	2,5	
38	Количество дней простоя по климатическим условиям	Пку	суток	2	
39	Коэффициент выхода (использования автомобиля)	Кисп	един.	0,85	(КИП=0,85 справочник Открытые горные работы)
40	Месячная производительность автомобиля	А мес	м ³	24400	Амес=Мсут*Пмес*Кисп/1000
41	Плановые нагрузки на экскаваторы по горной массе	Ам.р.	м ³	103629	Табл. Расчет производительности экскав-ов
42	Требуемый явочный парк автосамосвалов	Чряв	един.	4,2	Чрсп=Ам.р./Амес
43	Списочный парк автосамосвалов	Чрсп	един	5,0	Чряв=Чряв*30дн/Пмес

Таблица 3 – Сводная таблица расчета производительности комплекса оборудования, занятого при рекультивации горной выработки

Показатели	Расчетное значение
Горнотранспортное оборудование	
Экскаватор Volvo 460	
Планируемый объем работ по перевозке горной массы, м ³	1 000 000
Месячная производительность экскаватора	103 629
Продолжительность работы комплекса, мес	9,6
Количество часов работы экскаватора в месяц	600
Планируемое время работы экскаватора по погрузке автосамосвалов за весь период работы, час	5 790
Автосамосвалы БелАЗ 7555	
Средневзвешенное расстояние транспортирования горной массы, км	3,0
Принимаемый к учету перевозимый объем горной массы в кузове автосамосвала за один рейс, м ³	23
Необходимое количество рейсов автосамосвалов для перевозки всего объема горной массы, ед	43 478
Вспомогательное оборудование	
Автогрейдер ДЗ-98	
Количество часов работы автогрейдера в месяц	600
Планируемое время работы автогрейдера за весь период работы, час	5 790

Продолжение таблицы 3

Показатели	Расчетное значение
Бульдозер Shantui SD - 32	
Количество часов работы бульдозера в месяц	600
Планируемое время работы бульдозера за весь период работы, час	5 990
Машина дорожная комбинированная (орошение/подсыпка автодорог)	
Количество часов работы МДК в месяц	600
Планируемое время работы МДК за весь период работы, час	5 790
Освещение автоотвала	
Мачта освещения с прожекторами	б/у разрез
Время работы бензогенератора за весь период работы (10 часов в сутки)	3 040

Анализ способов, методик расчета параметров, требований к реализации технического этапа рекультивации открытых горных выработок позволяет сделать следующие выводы:

1. Производительность каждого следующего технологического звена должна быть равной или больше предыдущего.
2. Срок выполнения работ технического этапа зависит от производительности связки экскаватор - автосамосвал.
3. Исключение из технологической цепи применение автогрейдера и дорожной машины снижает кратно производительность автосамосвалов и затягивает сроки производства работ.

Библиографический список

1. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Экскавация и транспортирование, 1988.
2. Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности. 2017, Харионовский А.А., Данилова М.Ю. Научно-технический журнал №3-2017.

УДК 622.32

**ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУЛЬДОЗЕРА
ПРИ ПРИЕМЕ ГОРНО МАССЫ НА АВТООТВАЛЕ**

Курдюков М.О., Матвеев А.В., Лобанова О.О.

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

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

Настоящей статьей предлагается анализ ожидаемой производительности бульдозерного парка при производстве работ по приемке горной массы на автоотвале.

Ключевые слова: производительность бульдозера, автоотвал.

Филиал «Талдинский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – Ерунаковское поле расположен в юго-восточной части Ерунаковского геолого-экономического района, на левом берегу р. Томи, в пределах Ерунаковского каменноугольного месторождения Кузбасса.

Складирование вскрышных пород при отработке поля разреза предусматривается на внешнем бульдозерном отвале. Транспортная технология ведения отвальных работ основана на применении автомобильного транспорта для перемещения вскрышных пород. Транспортирование вскрыши до отвалов предусматривается автосамосвалами различной грузоподъемности. Формирование отвала предусматривается производить периферийным способом. Планирование поверхности отвала в зоне разгрузки автосамосвалов осуществляется бульдозерами. Расчет производительности бульдозеров различных марок, основанный на их технических характеристиках, необходимых для обслуживания отвала, представлен в таблице.

Таблица 1 – Пример расчета производительности бульдозеров

№ п/п	Показатель	оборудование				Примечание
		Liebherr PR754	Liebherr PR751	Shannui SD-32	Komatsu D65E	
1.	Время на переключение скорости, тп, с	2	2	8	2	технические характеристики бульдозеров
2.	Установленная скорость заднего хода порожнего бульдозера, вп, м/с	1,81	1,81	1,81	1,81	движение назад по техническим характеристикам бульдозеров
3.	Установленная скорость переднего хода груженого бульдозера, вг, м/с	0,89	0,89	0,89	0,89	движение вперед по техническим характеристикам бульдозеров
4.	Скорость движения бульдозера при наборе породы, вн, м/с	1,11	1,11	1,11	1,11	движение вперед по техническим характеристикам бульдозеров
5.	Расстояние перемещения, В, м	20	20	20	20	технологический процесс
6.	Расстояние, на которое перемещается порода, Лг, м	15	15	15	15	П.6=П5.5-П.7 (Лг=В-Лн)
7.	Расстояние набора породы бульдозером, Лн, м	5	5	5	5	технологический процесс
8.	Время цикла, Тц, с	34,5	34,5	40,5	34,5	
9.	Коэффициент разрыхления породы, кр	1,2	1,2	1,2	1,2	
10.	Коэффициент использования машины во времени в смену, кв	0,86	0,86	0,86	0,86	
11.	Объем отвала, V, м ³	8,9	9,7	8,40	5,6	по техническим характеристикам бульдозеров
12.	Продолжительность смены, Тсм, час.	12	12	12	12	Режим работы предприятия
13.	Время обеда, То, час	1,0	1,0	1,0	1,0	Режим работы предприятия
14.	Время на подготовительно-заключительные операции, час	0,3	0,3	0,3	0,3	Режим работы предприятия

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Показатель	оборудование				Примечание
		Liebherr PR754	Liebherr PR751	Shannui SD-32	Komatsu D65E	
15	Время на личные надобности, Тл.н., час	0,20	0,20	0,20	0,20	Режим работы предприятия
16	Время на отдых	0,17	0,17	0,17	0,17	Регламентированный отдых
17	Время в работе за минусом регл. перерывов, Тф, час	10,33	10,33	10,33	10,33	расчет П.16-П.17-П.18-П.19-П.20
18	Производительность бульдозера, Qсм, м ³	6891,6	7511,0	5539,6	4336,3	
19	Производительность бульдозера, Qчас, м ³	667,1	727,1	536,3	419,8	
20	Производительность бульдозера техническая, Qмес, тыс.м ³	496,4	541,0	399,0	312,3	
21	Плановый КТГ	0,66	0,67	0,73	0,70	
22	Производительность бульдозера плановая, Qмес, тыс.м ³	327,6	362,4	291,3	218,6	

Анализ способов, методик расчета параметров, требований к реализации производительности бульдозерного парка, занятого на приемке горной массы позволяет сделать следующие выводы:

1 Технические характеристики, в частности наличие автоматической трансмиссии значительно влияют на производительность машин;

2 Изменение дальности перемещения горной массы при сталкивании с отвала в пять метров увеличивает производительность машины в среднем на 15 процентов.

3 Увеличение высоты яруса отвала увеличивает приемную способность одной единицы техники и позволяет снизить издержки предприятия на работу бульдозерной техники.

4 Характеристики принимаемых грунтов значительно влияют на потребное количество используемой техники на формировании ярусов отвалов.

Библиографический список

1. *Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Эскавация и транспортирование*, 1988

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОГРЕЙДЕРА НА ОБСЛУЖИВАНИИ ВНУТРИКАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ

Курдюков М.О., Матвеев А.В., Наймушина С.А.

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

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

Настоящей статьей предлагается анализ ожидаемой производительности парка дорожной техники.

Ключевые слова: производительность автогрейдера, технологические автодороги.

Филиал «Талдинский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – Ерунаковское поле расположен в юго-восточной части Ерунаковского геолого-экономического района, на левом берегу р. Томи, в пределах Ерунаковского каменноугольного месторождения Кузбасса.

Определение категорий автомобильных дорог, а также расчет их параметров, производится в соответствии с СП 37.13330.2012. К карьерным технологическим автодорогам относятся транспортные бермы, располагаемые в рабочей зоне и на отвале, а также автомобильные дороги, обеспечивающие вскрытие участка.

Карьерные технологические автодороги будут относиться к дорогам категории I-к и III-к (внутриплощадочные).

Максимальная скорость автосамосвалов при движении по внутриплощадочным автодорогам (в границах участка ОГР и отвала) не должна превышать 30 км/ч.

Дорожно-строительные работы на предприятии предусматривается выполнять бульдозерами. Для планировки и текущего содержания автодорог приняты автогрейдеры. Пример расчета производительности различных марок автогрейдеров, а также их потребное количество представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример расчета производительности различных автогрейдеров

Наименование показателя	Ед. изм.	Модель автогрейдера			
		СДМ-25	CAT 140	John Deere 872	
I Расчет производительности автогрейдера					
1.1	Время смены (установлен нарядной системой)	ч	12,0	12,0	12,0
1.2	Время регламентированных перерывов (установлен нарядной системой)	ч	1,0	1,0	1,0

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя		Ед. изм.	Модель автогрейдера		
			СДМ-25	CAT 140	John Deere 872
1.3	Коэффициент использования машины во времени (подготовительно-заключительные операции) $K_{исм}=0,85$ (расчет 51/60 мин, ЕНВ)	-	0,85	0,85	0,85
1.4	Число проходов по одной стороне дороги, потребное для выполнения заданного профиля	шт.	5	5	5
1.5	Время, затрачиваемое на один поворот	ч	0,01	0,01	0,01
1.6	Число проходов при резании по одной стороне дороги	шт.	5	5	5
1.7	Число проходов при перемещении грунтов по одной стороне дороги	шт.	5	5	5
1.8	Рабочая скорость при резании	км/ч	12,0	11,0	10,9
1.9	Рабочая скорость при перемещении грунта	км/ч	15,0	17,1	16,3
1.10	Количество смен в сутки	смен	2	2	2
1.11	Количество суток в году:				
1.12	- работы участка	сут	365	365	365
1.13	- среднегодовое время ремонта и ТО ($K_{ТГ}=0,8$)	сут	73	73	73
1.14	- простоев по метеоусловиям	сут	7	7	7
1.15	- чистой работы грейдера	сут	285	285	285
1.16	Среднегодовой температурный коэффициент	-	0,955	0,955	0,955
1.17	Производительность:				
1.18	- сменная техническая	км/см	6,7	6,8	6,6
1.19	- суточная техническая	км/сут	13,5	13,5	13,2
1.20	- годовая техническая	км/год	4694,1	4713,4	4599,3
1.21	- сменная эксплуатационная	км/см	6,2	6,2	6,0
1.22	- суточная эксплуатационная	км/сут	12,3	12,4	12,1
1.23	- годовая эксплуатационная	км/год	3 356,8	3 3 370,6	3 3 289,0
II Расчет парка автогрейдеров					
2.1	Протяженность технологических автодорог в т.ч.	км	9,8	9,8	9,8
2.2	- тех. а/д №1	км	4,8	4,8	4,8
2.3	- внутрикарьерные автодороги	км	5,0	5,0	5,0
2.5	Объем работ в смену	км	9,8	9,8	9,8
2.6	Объем работ в сутки	км	19,6	19,6	19,6
2.7	Объем работ в месяц	км	588,0	588,0	588,0

Окончание таблицы 1

Наименование показателя		Ед. изм.	Модель автогрейдера		
			СДМ-25	САТ 140	John Deere 872
2.8	Объем работ в год	км	7 154,0	7 154,0	7 154,0
2.9	-производительность сменная эксплуатационная	км/см	6,2	6,2	6,0
2.1 0	-производительность суточная эксплуатационная	км/сут	12,3	12,4	12,1
2.1 1	-производительность месячная эксплуатационная	км/мес	370,0	371,5	362,5
2.1 2	Количество явочных в смену	шт	1,60	1,60	1,60
2.1 3	Количество списочных в смену	шт	2,0	2,0	2,0
2.1 4	Количество явочных в месяц	шт	1,60	1,60	1,60
2.1 5	Количество списочных в месяц	шт	2,0	2,0	2,0

Анализ способов, методик расчета параметров, требований к реализации производительности парка дорожной техники, занятой на обслуживании внутрикарьерных автодорог позволяет сделать следующие выводы:

1. Поддержание состояния карьерных автодорог крайне важно для обеспечения производительности автотранспорта, занятого на транспортировании горной массы.

2. Достаточное количество дорожной техники в период сезонной распутицы позволяет обеспечить безопасную работу технологического автотранспорта.

3. Поддержание дорожного полотна в хорошем состоянии фактически снижает расход топлива на самосвалах, а также увеличивает срок ходимости дорогостоящих крупногабаритных автошин.

Библиографический список

1. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Эскавация и транспортирование, 1988.

ОБЕССЕРИВАНИЕ УГЛЕЙ

Карасев Б.Г.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: bogdan.karasev.97@bk.ru*

Анализируется обессеривание углей — процесс (или совокупность процессов), способствующий снижению содержания серы в углях.

Ключевые слова: сернистость угля, обессеривание угля, магнитные методы разделения минералов, качество кокса, органическая и неорганическая сера.

Иногда под обессериванием углей понимают процессы образования газообразных соединений серы при термообработке (коксовании, сжигании, газификации и т.д.) углей. Повышенные содержания серы в углях ухудшают их качество, обуславливают при энергетическом использовании значительное увеличение расходов и опасность загрязнения среды токсичными оксидами серы, а при коксовании — ухудшение качества кокса и увеличение его расхода при выплавке чугуна. Например, увеличение сернистости угля на 0,1 % приводит к снижению производительности доменной печи и росту расхода кокса (на 1,8 %). С другой стороны, угли представляют один из главных потенциальных сырьевых источников серы. Обессеривание углей рассматривается как способ решения этих двух задач.

Эффективность обессеривания углей определяется составом и распределением соединений серы в углях. В угле присутствуют неорганическая (в основном дисульфиды железа — пирит, марказит, с небольшим количеством сульфатов), иногда элементарная сера и органические соединения. Соотношения между неорганической (пиритной) и органической серой зависят от содержания общей серы. Угли классифицируют в зависимости от содержания общей серы на низкосернистые (до 1,5 %), среднесернистые (от 1,5 до 2,5 %), сернистые (от 2,5 до 4 %) и высокосернистые (свыше 4 %). При содержании серы в пределах этих групп соотношения между неорганической и органической серой примерно постоянны для углей одного месторождения. В малосернистых углях преобладает сера органическая.

При термообработке углей сера распределяется между твёрдыми (жидкими) и газообразными продуктами. При газификации и сжигании углей основное количество содержащейся в них серы переходит в газообразные соединения (соответственно H_2S или SO_2 с небольшой примесью SO_3). Полукоксование и коксование характеризуются меньшей степенью удаления серы в виде газообразных продуктов (до 45 % от исходного количества).

Для обессеривания углей применяют разделение на фракции, отлича-

ющиеся по плотности, магнитным, электростатическим, флотационным свойствам (физические методы), химическую обработку, бактериальное выщелачивание, а также сочетание этих методов. Физические методы обеспечивают снижение содержания серы до 60 % в концентратах преимущественно за счёт удаления пиритной серы. Эффективность физических методов обессеривания углей при обогащении определяется природой соединений серы в угле (соотношением органических и неорганических соединений серы, размером пиритных включений и др.), уровнем техники и технологии, применяемых на обогатительных фабриках (глубиной дробления, точностью разделения, аппаратурным оформлением и т.д.).

Если в угле сера сосредоточена в виде крупных конкреций пирита (например, угли некоторых месторождений Подмосковного угольного бассейна), то разделением по плотности (сепараторы с магнетитовой суспензией, пневматические сепараторы и др.) достигается существенное (до 60 %) снижение содержания серы (по средней с исходной) в концентрате (плотность менее 1800 кг/м³). При этом в тяжёлой фракции (плотность от 2200 до 2400 кг/м³) содержание серы составляет от 35 до 40 %, и её используют как пиритный концентрат в химической промышленности при производстве серной кислоты, а также в металлургии как серосодержащую добавку при переработке окисленных никелевых руд. Углесодержащая глинистая фракция (плотность от 1800 до 2200 кг/м³) представляет собой эффективное топливно-минеральное сырьё для производства строительных материалов (кирпич, пористые заполнители и др.). Это определяет возможность комплексного использования всей горной массы, добываемой на месторождениях сернистых (высокосернистых) углей, в которых основное количество серы содержится в виде крупных пиритных включений. В углях большинства месторождений, например Донбасса, преобладающее количество пирита представлено зёрнами размером от 10мк до 15мк. Поэтому при обогащении подобных углей физическими методами, используемыми в промышленном масштабе (отсадка, тяжелосредние сепараторы, гидроциклоны, противоточная сепарация и др.) снижение содержания серы в концентратах невелико (от 4 до 22% по отношению к содержанию серы в исходном угле). Особенно низка степень обессеривания углей мелких классов, для повышения которой используют комбинирование нескольких типов сепараторов, например тяжелосредних гидроциклонов и концентрации столов. Обычно при флотации содержание серы в концентрате либо снижается не более, чем от 11 до 22 %, либо остаётся равным содержанию серы в исходном угле. Более эффективное обессеривание углей достигается при сепарации в центробежном поле в средах с плотностью, большей 1000 кг/м³ (органические жидкости, растворы солей).

Пиритные включения имеют низкую магнитную восприимчивость, которая может резко увеличиваться при температурной обработке и окислении в результате структурных изменений и образований новых соединений. Для выделения из углей тонких включений пирита применяют высокоградиент-

ную магнитную сепарацию, а также предварительно проводят "магнетизирующий" обжиг (скоростная паровоздушная термообработка, нагрев в ВЧ и СВЧ-полях, обработка газообразным пентакарбонилем железа и др.).

Экологически чистые магнитные методы разделения минералов имеют высокую технико-экономическую эффективность. Внедрение их в технологию обогащения углей (с учетом того, что все серосодержащие минералы в углях обладают магнитными свойствами) - это реальный путь повышения степени обессеривания углей при минимальных затратах.

Сера в углях только на одну треть представлена органическими соединениями, а до 70 % ее входит в соединения от пирита до троилита или марказита и сульфосоли. Эти соединения обладают магнитными свойствами, поэтому в оптимальных условиях высокоградиентная сепарация более, чем в два раза снижает содержание серы в углях, что доказано экспериментально на углях различных марок. В магнитный продукт при этом извлекается не только сера, но и более 60 % породных минералов.

В Московском и Днепропетровском горных институтах разработаны высокоградиентные сепараторы и оптимальные параметры режима сепарации углей. На этой основе рекомендована комбинированная технологическая магнитно-гравитационная схема обогащения и обессеривания углей, которая позволяет выделять в отвальные магнитные продукты 65 % серы при зольности последних до 70 %. В магнитные отвальные продукты при этом попадает до 70 % таких вредных и токсичных элементов, как Аз, РЬ, V и Мп.

Экспериментально проверенные технико-экономические расчеты показывают, что в сравнении с известным методом очистки дымовых газов от сернистого ангидрида путем известкования, предлагаемая технология позволяет снизить эксплуатационные расходы почти в 20 раз, капитальные затраты - в 8,5 раз, а общий экономический эффект от внедрения только на одном энергоблоке мощностью 300 МВт.

Благодаря высокой производительности оборудования, по предлагаемой технологии можно строить региональные обогатительные фабрики, обслуживающие целую сеть теплоэлектростанций в Кузбассе.

Библиографический список

1. Канторович, Б.В. Введение в теорию горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – Москва : Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1991. - 356 с.

2. Кузнецов, Б.Н. Новые подходы в химической переработке ископаемых углей / Б.Н. Кузнецов // Соросовский Образовательный Журнал. - 1996. - № 6. - С. 50-58.

3. Липович, В.Г. Химия и переработка угля / В.Г. Липович [и др.]. – Москва : Химия, 1988. - 336 с.

4. Обессеривание углей. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — <http://www.mining-enc.ru/o/obesserivanie-uglej>

АНТРОПОГЕННЫЙ ТИП РЕЛЬЕФА ЗАПАДНОЙ (ПРИСАЛАИРСКОЙ) ЧАСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Андропова В.С.

Научный руководитель: д-р геол.-минерал. наук, профессор Гутак Я.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Viktorijanumber1@mail.ru*

Статья посвящена обзору развития открытой угледобычи в Кузбассе и связанные с ним вопросы трансформации исходного рельефа местности. Последние неразрывно связаны с увеличением доли открытых работ и ведут к практически полной его трансформации. Особенно актуально это для юго-западной части Кузнецкого бассейна. Предполагается, что изучение антропогенного рельефа Кемеровской области, даст необходимую информацию для прогнозирования геодинамических процессов в верхних частях земной коры Кузнецкого каменноугольного бассейна и позволит определить комплекс мер по смягчению вреда от антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: данные дистанционного исследования, Кузбасс, высотные отметки, антропогенный рельеф, открытые горные работы.

Географическое расположение Кемеровской области, на территории Кузнецкого каменноугольного бассейна определило вектор экономического развития региона, связанный с добычей и переработкой каменного угля.

В настоящее время добыча угля в Российской Федерации пересекает отметку 400 млн. тонн в год. Более 50 % этого количества добывается в Кузбассе. Согласно данным Департамента угольной промышленности Администрации правительства Кузбасса, в 2019 году угольщики Кузбасса добыли 250,1 млн. тонн каменного угля, из которых 164,4 млн. тонн добыто открытым способом, что составляет более 60 % всей добычи.

Однако, несмотря на очевидные преимущества открытой добычи угля, до 80-х годов прошлого столетия открытая угледобыча рассматривалась в качестве вспомогательной, только с изменяющимися экономическими обстоятельствами темпы роста объемов ежегодно стали обеспечиваться благодаря развитию открытой разработки месторождений [2].

Началом работ по открытой добыче угля в регионе следует считать 1947 г., когда по предложению Г.А. Селятицкого был открыт угольный разрез недалеко от сёл Красный Брод и Ново-Сергеевское [5]. В 1948 г. отрывается Бачатский разрез.

Первоначальная проектная мощность Краснобродского разреза оценивалась в 600 тыс. тонн в год (нынешняя 7,5 млн. тонн в год при, глубине разреза более 150 м). Для Бачатского разреза первоначальная мощность оценивалась в 300 тыс. тонн в год (нынешняя 10 млн. тонн в год, при глубине раз-

реза свыше 280 м). Можно утверждать, что первые угольные разрезы, по сравнению с современными были ничтожно малы и их влияние на состояние окружающей среды было минимальным.

Благодаря технической революции, успехам геологической службы региона, развитию горной науки открытая угледобыча, занимает все более основательные позиции. К 1960 г. на долю открытой угледобычи приходилось уже 19 % от всего добытого в Кемеровской области угля. Рубеж в 50 % был преодолен к 2005 году, а к 2020 году этот процентный показатель стремится к 65 % (рисунок 1) [6; 10].

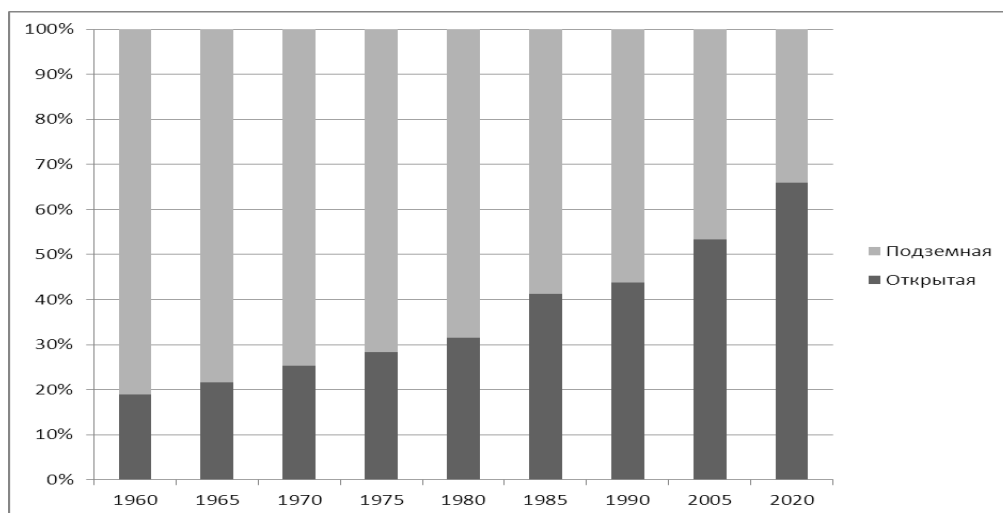


Рисунок 1- Процентное соотношение угля добытого в Кузбассе открытым и подземным способами.

Повышение показателей по открытой добыче угля напрямую связано с ростом численности угольных карьеров. К 1996 году в Кузбассе насчитывалось 30 угольных разрезов [4; 10,].

В процессе различных реструктуризаций некоторые угольные карьеры прекращали и возобновляли свою деятельность, вводили в эксплуатацию новые участки, горные отводы заброшенных шахт начинали разрабатывать открытым способом. По данным Министерства угольной промышленности Кузбасса на 2020 год в списке угольных предприятий числится уже 47 разрезов, принадлежащих разным собственникам, и их количество продолжает расти.

К сожалению с открытой угледобычей связано значительное и длительное отчуждение земельных угодий, а также полная трансформация исходного рельефа местности. По произведённым подсчетам в 2019 году в западной части Кузнецкого каменноугольного бассейна насчитывается более 95 участков с нарушенным рельефом, Их выделение произведено визуальным дешифрированием мультиспектральных (спектрозональных) спутниковых снимков в программе Google Планета Земля. При этом использовались методики, представленные в источниках [7; 8; 9].

Таблица 1 - Площади нарушенных участков под воздействием открытых горных работ на 2020 год

Участок	Площадь нарушенных земель городов, км ²	Отметки высот угольных разрезов в пределах горного отвода	
		Max	Min
1 Кемерово – Березовский	70,9	+301	+26
2 Лен.-Кузнецкий Полысае-	20,87	+299	+155
3 Белово – Киселевск	394,2	+391	+35
4 Прокопьевск Новокузнецк	48,3	+403	+232
5 Осинники – Калтан	35,8	+499	+223
6 Мыски – Междуреченск	132	+587	+214
Сумма	702,07		

Суммарная площадь нарушенных территорий Кемеровской области превышает 702 км² (таблица 1) [1]. Наиболее техногенно нагруженным угледобывающими районами Кузбасса обоснованно считается ее юго-западная часть Белово – Киселевск, Мыски – Междуреченск. На этих участках угольные разрезы уже вплотную подходят к жилому сектору, а сами площади, отведенные под разрезы, превышают площади этих городов.

С открытыми горными работами напрямую связано изменение исторического рельефа местности, нарушение почвенного покрова, сокращение площадей сельскохозяйственных и лесных угодий, уничтожение растительного покрова, изменение путей миграции животных, а также разрушение верхних слоев почвы, обнажение угольных пластов, коренное изменение гидрологии и гидрогеологии. Взрывные работы, под влиянием метеорологических условий, способствуют распространению угольных частиц в воздушной и водной среде.

Из перечисленного выше важнейшим негативным фактором представляется трансформация первичного рельефа. Появились рукотворные объекты, формирующие как отрицательные (карьеры) так и положительные (горные отвалы) формы рельефа. При этом первые зачастую возникают на месте бывших возвышенностей, а вторые на месте долин. На первом угольном разрезе Кузбасса – Бачатском, максимальная высотная отметка в пределах горного отвода +367 м, минимальная +35 м. Перепад высот составляет 332 м. Первое место в Кузбассе по перепаду высот в пределах горного отвода занимает разрез Сибиргинский. Максимальная отметка отвалов +535 м, минимальная +141 м. Перепад - 394 м. И это не предел. Самым глубоким угольным карьером России считается разрез Коркинский в Челябинской области. Глубина его котлована составляет 500 м. Технически это уже представляется возможным и в Кузбассе.

В ближайшей перспективе мы получим серию глубоких котлованов вдоль всего юго-западного ограничения Кузбасса от Междуреченска до Ленинск-Кузнецкого, а это тектонически активные ограничения угольного бас-

сейна. По современным представлениям Салаирский кряж представляет их себя активную тектоническую пластину, вдавленную в породы Кузбасса. Ее мощность по данным геофизических исследований составляет около 5 км [3]. И если перед фронтом этой пластины вырыть значительные по глубине котлованы, то последствия могут стать непоправимыми. Ученые уже сейчас фиксируют в Кузбассе землетрясения техногенной природы. Самое крупное из них Бачатское произошло 19 июля 2013 г.

Предполагается, что изучение техногенной трансформация рельефа Кемеровской области, даст необходимую информацию для прогнозирования геодинамических процессов в верхних частях земной коры Кузнецкого каменноугольного бассейна и позволит определить комплекс мер по смягчению вреда от антропогенной нагрузки.

Библиографический список

1 Андропова В.С., Шипилова А.М. Современные изменения рельефа на территории Кузнецкого каменноугольного бассейна – Кузбасса под влиянием открытых горных работ [Текст] / В.С. Андропова, А.М. Шипилова // Вестник СибГИУ. – 2020. № 4. – С. 25-29.

2 Буфина Н.Э. Развитие добычи угля открытым способом в Кузбассе: организационные, производственные и социальные аспекты: середина 80-х годов XX в. - первое десятилетие XXI в [текст] автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. ист. наук (07.00.02) / Буфина Н.Э.; Кемеровский государственный университет. – Кемерово, 2011. – 22 с.

3 Горбунова А.Р., Гутак Я.М. Особенности геологического строения северо-западной (присалаирской) части Кузбасса на примере угольного разреза Вахрушевский // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – 2019, №2. – С. 77 – 82.

4 Гусев Н.И., Надлер Ю.С. Недра Кемеровской области. К 80-летию геологической службы Западной Сибири [Текст]: Н.И. Гусев, Ю.С. Надлер – Кемерово, 1998. – 158 с.

5 Гутак Я.М. Кузнецкий каменноугольный бассейн (в истории и личностях исследователей) / Известия алтайского отделения русского географического общества. № 2. Барнаул. 2019. - С 90-100.

6 Заболотская К.А. Угольная история страны. Кузнецкий угольный бассейн: уроки, задачи, перспективы (1945-2017 годы) [Текст] / К.А. Заболотская // Федеральный научно-практический журнал «Уголь Кузбасса». 2017, №3 - С. 40-46.

7 Малышева Н.В. Пособие по дешифрированию [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Малышева Издательство «Москва» – 2014. 151 с.

8 Смирнов Л.Е. Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков [Текст]: учеб. пособие / Л.Е. Смирнов Издательство ленинградского университета – 1967. 213 с.

9 Сладкопевцев С.А. Изучение и картографирование рельефа с ис-

пользованием аэрокосмической информации [Текст]: учеб. пособие / С.А. Сладкопепцев Издательство «Недра» – 1982. 215 с.

10 Угольная промышленность Кузбасса. 1721-1996 гг. / Отв.ред. К.А.Заболотская. Кемерово: АО «Кемеровское книжное издательство», 1997.-301 с.

УДК 622.684

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ДЛЯ ЭКСКАВАТОРА БОЛЬШОЙ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА «ТАЛДИНСКИЙ»

Зозуля М.Ю.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: maksim-zozulya97@mail.ru*

Рассматриваются вопросы совершенствования автопарка в комплексе с экскаватором самой большой единичной мощности путем замены на более новые и технологичные автосамосвалы.

Ключевые слова: автосамосвал, экскаватор, грузоподъемность, производительность, большая единичная мощность, БелАЗы.

В состав разреза «Талдинский» входят участки: «Центральный-91» (пласты 92, 91), «Восточный-86» (пласты 90 89, 88-87 и 86-84), «Восточный-73» (пласты 82, 81, 80, 78 и 73-71).

В настоящий момент в эксплуатации находятся участки: «Восточный – 86» и «Восточный-73».

Именно на участке «Восточный – 86» находится экскаватор - Р&Н4100 с самой большой единичной мощностью из имеющихся на разрезе на данный момент.

В данное время в грузопотоке с Р&Н4100 применяются БелАЗы 75600, настоящим проектом предусматривается замена на более современные и с большей грузоподъемностью БелАЗы 75710, которые уже успешно применяются на разрезе «Черниговец» с 2014 г. по сей день, расчетная производительность этих машин на 25 % выше, чем у всех других самосвалов большой грузоподъемности. Технологическая схема экскаватора Р&Н411 представлена на рисунке 1.

При расчете необходимого количества автосамосвалов под погрузку для бесперебойной работы с данным экскаватором было выявлено, что единиц старых БелАЗов 75600 нужно 10 штук, а новых всего 7 из-за большей грузоподъемности.

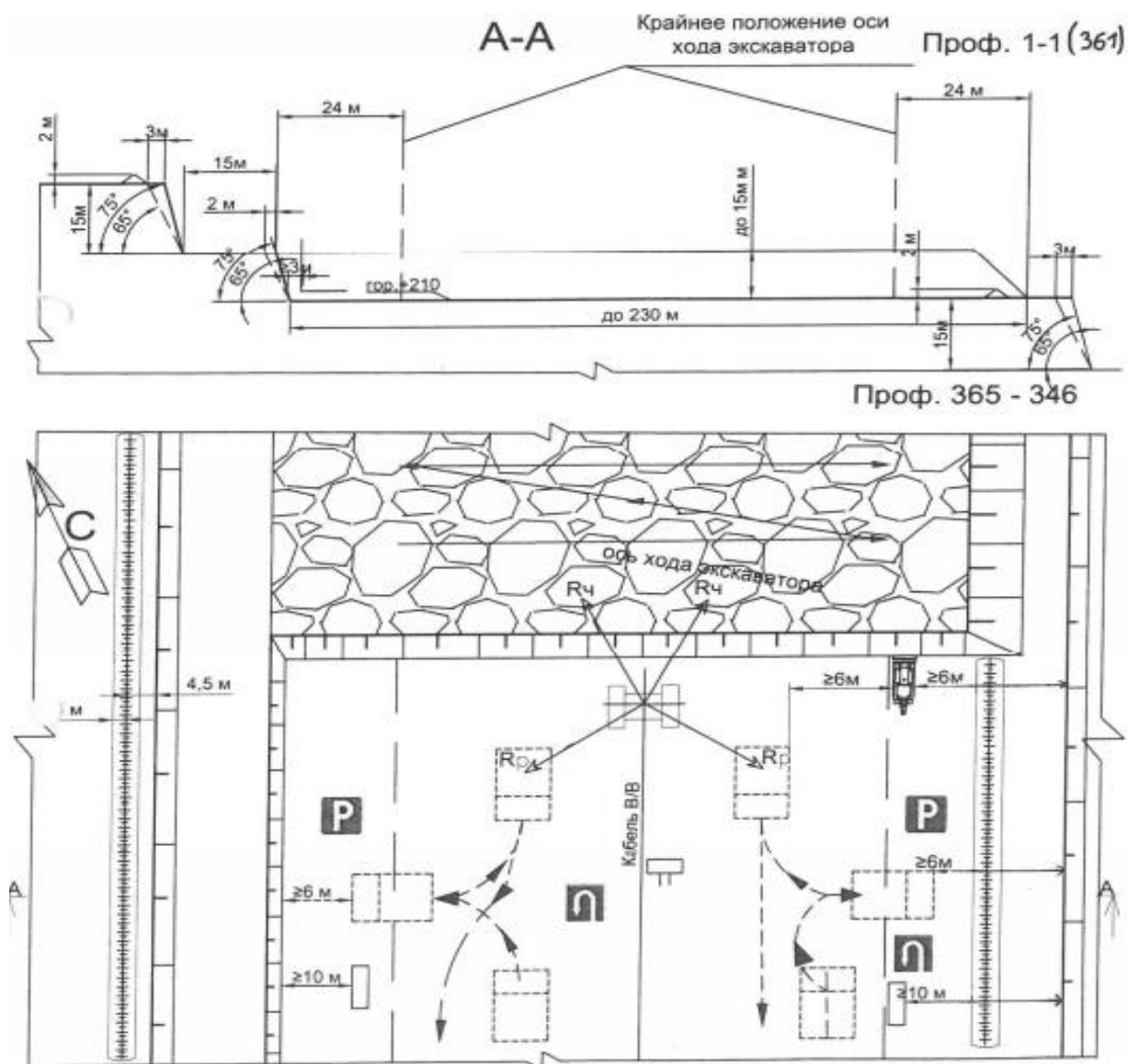


Рисунок 1 – Технологическая схема работы экскаватора P&H4100 N184

Цена автомобиля — 551 млн рублей (7,5 млн долларов), что является не малой суммой в настоящее время для предприятия, особенно при покупке сразу 7 БелАЗов, но это несет массу плюсов в долгосрочной перспективе:

1) *Экономическая эффективность.*

Первый и самый важный факт экономической выгода заключается в том, что БелАЗ 75600 имеет средний расход топлива 500-550 литров в час, у нового предлагаемого данным проектом белаЗа 75710 расход 470 литров в час, потребление топлива уже меньше, это связано с тем, что для экономии топлива выработана схема наиболее эффективной работы двигателей: без груза самосвал передвигается на одном из двигателей (причём для равномерного износа двигатели работают поочерёдно), а с грузом — на обоих, что экономит нам в среднем 50 литров в час на каждом БелАЗе. Но основную экономию нам дает тот факт, что количество сократилось на 3 машины, что дает уменьшение закупки дизельного топлива в месяц на 360 тонн с одной

машины, и 1080 тонн с шести. Сложив всю экономию топлива получается 1332 тонн, на сегодняшний день 1 тонна дизельного топлива стоит 46 600 тыс. руб. При умножении мы получаем сумму в 64 084 320 рублей экономии в месяц.

Помимо топлива организация экономит и на жидкости для смазки двигателя, так 19 самосвалов 75600 при каждом техническом обслуживании, которое проводится после каждых 250 отработанных часов, потребляют 3 400 литров моторного масла, в тоже время 7 БелАЗов 75710 за тот же период заменят 3 150 литров масла.

При сокращении техники на 3 самосвалов мы также сокращаем штат на 12 человек. Средняя зарплата водителя такого БелАЗа составляет 90 тысяч рублей, при пересчете мы получаем, что за месяц экономия получается порядка 1 080 000 рублей в месяц, и это не считая спец. одежду и прочие расходы.

2) Экологическая эффективность

Кузбасс в настоящий момент один из лидеров по отрицательной экологии в России, также рядом с Талдинским угольным разрезом находится немало населенных пунктов, поэтому важной задачей является сокращение выбросов в окружающую среду.

Известно, что при сжигании 1 литра дизельного топлива образуется 2664 грамма CO₂ (это верно для любого двигателя внутреннего сгорания). В месяц мы экономим 2628 тонн дизельного топлива, что при сгорании сокращает выбросы углекислого газа в атмосферу на 3 455,8 кг CO₂ или почти 3,5 тонны.

3) Безопасность

Из-за сокращения машин на 3 единицы в зоне вскрышных работ и на отвале станет гораздо безопаснее, все маневры при погрузке и разгрузке будут легче выполняться водителями, так как техники в этих зонах будет меньше. Также будет уменьшен риск столкновения автосамосвалов из-за их сокращения на проезжих частях.

Немаловажным является и то, что ширина нового самосвала точно такая-же как и старого, в связи с этим предприятию не нужны будут лишние траты на расширение дороги.

Из – за уменьшения штата на 12 человек в зоне вскрыши санитарно-эпидемиологические нормы будут соблюдаться более качественно и эффективно.

Исходя из рассмотренных ранее преимуществ использования данного автосамосвала можно сделать вывод, что замена БелАЗов на более новые дает не только прирост прибыли ежемесячно, но и создает более безопасные условия для сотрудников и техники, а также уменьшает количество выбросов в атмосферу во время всемирных экологических проблем. Вся выгода от данного решения приведена в таблице № 1.

Общая экономия каждый месяц составляет 65 164 320 рублей, что однозначно говорит о рентабельности предлагаемого проекта.

Таблица 1 – Выгода от настоящего проекта

БелАЗ	Количество машин, шт.	Количество человек, ед.	Затраты на дизельное топливо, руб.	Затраты на зарплаты, руб.	Общие затраты, руб.	Выбросы в атмосферу, кг.
75600	10	40	174 470 400	3 600 000	178 070 400	9 737,3 кг
75710	7	28	110 386 080	2 520 000	112 906 080	6 282,5кг

Но самый важный, исходя из расчетов, момент рентабельности заключается в том что при экономии в месяц 65 164 320 рублей БелАЗы при общей стоимости в 3,8 миллиардов рублей окупятся уже примерно через 4,5-5 лет и начнут приносить чистую прибыль, а средний срок службы у данного самосвала 10 лет, то есть еще 5 лет БелАЗы 75710 будут приносить прибыль предприятию в размере 65 миллионов рублей.

УДК 622.831.3

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОВРЕМЕННУЮ СЕЙСМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ АЛТАЯ

Колпаков В.Е.

Научный руководитель: д-р геол.-минерал. наук, профессор Гутак Я.М.

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

Современная сейсмическая активность Алтая определяется несколькими факторами, из которых важнейшими выступают следующие:

- вращение Сибирского кратона по направлению часовой стрелки, вызывающее левосдвиговые напряжения в его складчатом обрамлении на протяжении палеозоя и мезозоя;
- давление на Евро-Азиатскую плиту Индо-Австралийской (начиная с неогена);
- влияние изостатического поднятия территории Горного Алтая после таяния ледникового щита (начало голоцена).

Начиная с неогена на первое место выходит фактор передачи напряжений от столкнувшихся Индо-Австралийской и Евро-Азиатской тектонических плит. Последние имеют субмеридиональную ориентировку и с ними связываются крупные сейсмические события последних лет.

Ключевые слова: тектонические движения, сдвиговые напряжения,

складчатая область, вертикальные и горизонтальные перемещения, тектоническая плита, складчатые деформации, сейсмическая активность, землетрясения.

Введение. Алтае-Саянская складчатая область (и входящий в нее Алтай) расположена в юго-западном обрамлении Сибирской платформы. Она сложена разновозрастными осадочными, вулканическими и интрузивными формациями позднего протерозоя – картера и имеет мозаично-глыбовое строение. Формирование структуры данной тектонической области началось еще в позднем протерозое и продолжается по настоящее время. Об этом свидетельствуют многочисленные землетрясения недавнего времени. Последние заставляют обратить внимание на неотектонику региона, поскольку правильное понимание причин современных геологических процессов необходимо для выяснения причин тектонической активизации и выработки рекомендаций по минимизации ущерба населению и экономике.

Обсуждение. Современная морфоструктура региона сформирована в мезозое [3;5]. Она претерпевает серьезные изменения в среднем палеогене и квартере. Это подтверждается расчленением рельефа в горных хребтах Алтая, формированием ассиметричных межгорных впадин (Чуйская, Курайская, Уймонская), которые выполнены озерными отложениями палеогена и неогена, примечательно, что последние испытывают серьезные складчатые деформации вблизи надвигающихся активных тектонических пластин. Эти процессы обусловлены целым рядом факторов.

Во-первых, следует учитывать вращение Сибирского кратона по направлению часовой стрелки, вызывающее левосдвиговые напряжения в его складчатом обрамлении на протяжении палеозоя и мезозоя.

Во-вторых, нужно принимать во внимание давление на Евро-Азиатскую плиту Индо-Австралийской плиты (начиная с неогена), в настоящее время она смещается на северо-восток на 5 см/год, в то время как евразийская плита движется на север со скоростью только 2 см/год. Это приводит к деформациям Евразийской плиты, а Индийская плита сжимается со скоростью 4 мм/год [10]. Суммарное (горизонтальное) давление от этого, оказываемое на структуру Алтая, ориентировано субмеридионально. Оно провоцирует современную сейсмическую активность на границах крупных структурных элементов региона.

В-третьих, следует учитывать и влияние изостатического поднятия территории Горного Алтая после таяния ледникового щита в начале голоцена [2]. Она играет значительную роль в сводовом поднятии Алтая в четвертичное время. Общая максимальная амплитуда поднятия достигала 3000-4000 м. Зона сочленения гор Алтая с южной частью Западно-Сибирской низменности в тектоническом отношении была относительно стабильной шарнирной осью, по обе стороны от которой преобладали движения разного знака. Особенно велики перемещения по разломам в зонах сопряжения хребтов и котловин. В Чуйской и Курайской котловинах поверхность древнего

пенеплена с корой выветривания фиксируется неогеновыми отложениями на абсолютных отметках около 800-1000 м, а в осевой части Курайского хребта, т. е. по другую сторону Карайского разлома, на высотах около 3000-3500 м. Как видим, суммарная величина неотектонической вертикальной составляющей по этому разлому оценивается в 2500 м.

Амплитуда новейших вертикальных перемещений по Шапшальскому разлому составляет 1500-1700 м, по Южно-Алтайскому разлому 2000 м, по Чарышско-Теректинскому до 1500 м. С приближением к периферии Алтая величины плиоцен-четвертичных (эоплейстоценовых) перемещений по разломам уменьшаются. Амплитуда неотектонических перемещений по разломам вдоль северного фаса Алтая, по данным О. М. Адаменко [1], измеряется первыми сотнями метров.

Последние тектонические движения Горного Алтая (рисунок 1) в его юго-восточной части вблизи границы с Монголией выражены формированием обособленных высокогорных блоков (Чулышманское, Укокское плато) и разделяющих их горных систем (Северо-Чуйский, Южно-Чуйский, Курайский, Шапшальский хребты), разделенные зонами активных разломов. Вдоль активных границ этих хребтов формируются ассиметричные межгорные впадины (Джулукульская, Чуйская, Курайская, Уймонская) все они выполнены отложениями палеогена и неогена. Эти отложения вблизи границ активных тектонических пластин испытали складчатые деформации, что указывает на активность тектонических блоков примыкающих к ним с востока. Надо полагать, что такое надвигание обязано напряжениям субширотного направления связанным с вращательным движением древней Сибирской платформы.

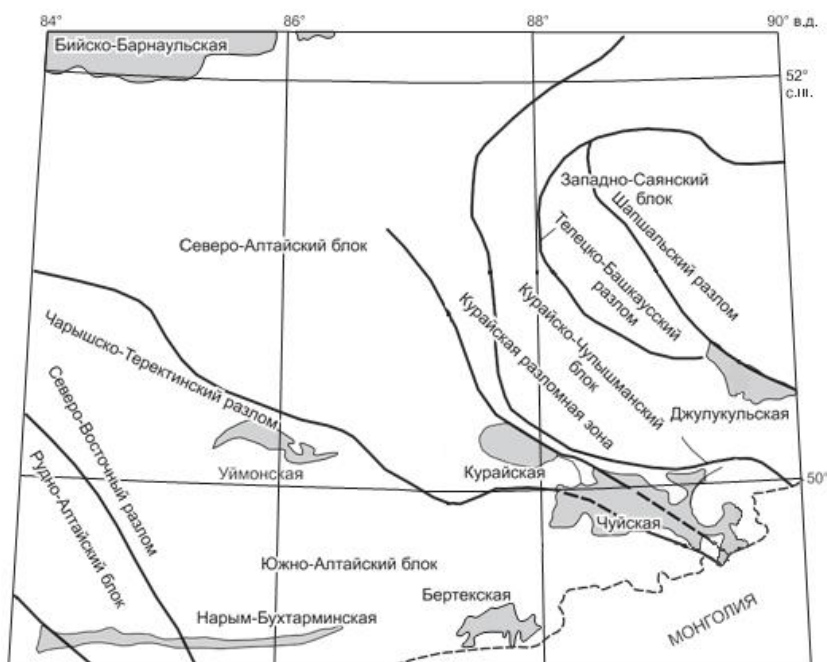


Рисунок 1 - Схема неотектонического районирования Горного Алтая (Н.Л. Добрецов и др., 2005 г.) [7]

С неогенового времени на описанный сценарий накладываются отголоски от столкновения Индо-Австралийской и Евро-Азиатской литосферных плит. Это накладывает свой отпечаток на сейсмические события последних лет.

27 сентября 2003 г. в 11 часов 33 минуты 23.3 секунды по Гринвичу на территории Горного Алтая в долине р. Чуя в горной перемычке между Чуйской и Курайской впадинами произошло землетрясение с магнитудой по шкале Рихтера $M=7.5$ (координаты эпицентра – $50^{\circ}04'$ с.ш., $88^{\circ}07'$ в.д.). За инструментальный период сейсмологических наблюдений это самое крупное землетрясение на территории Алтае-Саянской области. Данное событие получило название Чуйское землетрясение [8]. По данным Алтайского полигона сейсмостанций, в эпицентр подземного толчка попали Бельтир, Курай и Акташ. За последующие сутки сейсмостанции зарегистрировали ещё около 140 сейсмических толчков. Главным образом, активизация сопровождалась разрывными нарушениями земной коры. Очаг землетрясения вышел на поверхность в виде системы трещин и разрывов длиной 20 км в бассейне р. Чаган-Узун. В плане система сейсморазрывов имеет в «S»-образную форму и лежит в направлении СЗ-ЗСЗ простирания, что соответствует направлению напряжений от столкновения литосферных плит.

Выводы. Алтае-Саянская складчатая область, имеющая мозаично-блоковое строение, обязана своим строением интенсивным тектоническим движениям крупных литосферных блоков в ее пределах. На первом этапе (палеозой и мезозой) в основном преобладали субширотные движения связанные с вращением по направлению часовой стрелки древней Сибирской платформы. В неогене на них накладываются напряжения от столкнувшихся Индо-Австралийской и Евро-Азиатской тектонических плит. Последние имеют субмеридиональную ориентировку и с ними связываются крупные сейсмические события последних лет. В четвертичное время некоторый вклад в тектоническую активность Алтая внес изостатический подъем территории после снятия изостатической нагрузки от Алтайского ледникового щита.

Библиографический список

1. Адаменко О. М., Девяткин Е. В., Стрелков С. А. и др. Алтае-Саянская горная область. - Москва: Наука, 1969. - 416 с.
2. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. - Томск : Изд-во Томск. ун-та, 1993. - 252 с.
3. Бутвиловский В.В., Гутак Я.М. Чуйская котловина (Юго-Восточный Алтай): есть ли возможность для реконструкции позднемелового морского бассейна? // Бюлл. "Природные ресурсы Горного Алтая". - 2013, № 1. – С. 26-35.
4. Геодаков А.Р., Овсяченко А.Н., Платонова С.Г., Рогожин Е.А. Материалы предварительного изучения сильного землетрясения 2003 г. На Горном Алтае // Электронный научно-информационный журнал «Вестник наук

о Земле РАН» -2003, № 1(21). - С. 1-22.

5. Гутак Я.М. Мезозойский этап становления структуры западной части Алтае-Саянской складчатой области // Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов / Сборник научных статей. – Новокузнецк, 2020. – С. 17-22.

6. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника юго-восточного Алтая: Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая...– М.: Наука, 1965. - 244 с.

7. Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Василевский А.Н., Ветров Е.В., Неведрова Н.Н. Эволюция кайнозойского рельефа юго-восточной части горного алтая и ее отображение в структурах геоэлектрического и гравитационного полей // Геология и геофизика. - 2016. - Т.57. - № 11. - С.1937-1948.

8. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-саянской складчатой зоны // Физическая мезомеханика. – 2005, №8, В.1. – С- 49-64.

9. Новиков И. С., Чичагов В. П., Девяткин Е. В., Деев Е. В., Высоцкий Е. М., Агатова А. Р. Нерешенные и дискуссионные вопросы мезозойской и кайнозойской геоморфологии, палеогеографии и геологии гор Южной Сибири. Геоморфология. 2004;(3):23-28.

10. Чаттерджи С. Распад Гондваны, эволюция и биогеография Индийской плиты. 1999; 35 с.

УДК 622.454

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА ООО «РЕСУРС» УЧАСТОК «КЫРГАЙСКИЙ СРЕДНИЙ»

Миллер Э.А.

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

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

В статье рассмотрены вопросы обоснование параметров элементов системы разработки в условиях разреза ООО «Ресурс», подобрано выемочно-погрузочное оборудование, составлены технологические схемы.

Ключевые слова: система разработки, элементы системы разработки, эксплуатационные потери, ЭКГ, экскаваторно-транспортно-отвальный (ЭТО) комплекс, междупластья, технологическая схема.

Эксплуатация участка недр Кыргызский Средний началась в 2020 году.

В настоящее время горные работы ведутся по всему полю, участком Кыргызский Средний отрабатываются пласты 103 н.п., 102, 101 н.п., 101, 99,

99а, 98, 98 в.п., 98 н.п., 97, 96, 96а, 94, 93, 93 в.п., 93 н.п., 92, 92 в.п., 92 н.п., 91, 91а, 91б, 90 в.п., 90 н.п., 89-88-87 в.п., 89-88, 87 н.п., 86-85, 82, 81-80, 78, 73-71, 70, 70а, 69, 68, 67, 67а.

Особенность геологического строения поля участка Кыргайский Средний предопределило 2 группу сложности согласно «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».[1]

Проблема заключается в том, что на участке ведения работ не малое количество сближенных пластов и междупластий. Технологическими схемами разреза предусмотрена отработка междупластий 10-ти метровыми уступами в соответствии с принятой системой разработки. Междупластья затрудняют выполнение плановых объемов вскрышных и выемочно-погрузочных работ, возникают качественные и количественные потери. В сравнении с расчётом эксплуатационных потерь и промышленных запасов угля по состоянию на 01.01.2021 г. (таблица 1).[4]

На данный момент времени ведение горных работ осуществляется высокими уступами и поэтому количество эксплуатационных потерь увеличилось, что не соответствует плановым показателям.

Для создания безопасных условий работы людей и оборудования, с целью уменьшения эксплуатационных потерь и соответствия плановым показателям необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть имеющееся выемочно-погрузочное оборудование или подобрать новый экскаватор для отработки уступами меньшего параметра (высоты уступа);

- внедрить отработку междупластья уступами по 5 м;

- внедрить отработку сближенных пластов по новым параметрам элементов системы разработки;

- разработать технологические схемы доработки междупластья коренных пород и их поэтапной отработки, ведения вскрышных и добычных работ в стесненных условиях (по сближенным пластам).

- рассчитать ширину заходки по новым условиям.

Расчет эксплуатационных потерь при наклонном и крутом залегании пластов определяется по формуле:

$$\Pi = \left(\frac{V_{\text{вп}} + V_{\text{зк}} + V_{\text{п.пр}} + V_{\Delta}}{V} \right) \cdot 100 + \Pi_m + \Pi_{\text{бвр}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{вп}}$ - потери при зачистке верхней площадки уступа, м^3 ;

$V_{\text{зк}}$ - потери, срезаемые при зачистке, м^3 ;

$V_{\text{п.пр}}$ - потери для предотвращения засорения, м^3 ;

V_{Δ} - потери обусловленные траекторией движения, м^3 ;

V - геологические запасы, м^3 .

На данном этапе при отработке 5-ти метровыми уступами эксплуатационные потери в границах участка недр составят – 18,3%.

При сравнении с табличным (таблица 1) значением, показатель эксплуатационных потерь меньше, чем при отработке 10-ти метровыми уступами. Можно сделать вывод, что технология отработки 5-ти метровыми уступами целесообразна.

Таблица 1 – Расчёт эксплуатационных потерь и промышленных запасов угля по состоянию на 01.01.2021 г.

Наименование пласта	Балансовые запасы, тыс.т		Эксплуатационные потери, %					
	по чистым угольным пачкам	с учетом 100% засорения	потери в кровле, Пкр=0, 2 м	потери в почве пласта, Пп=0, 1 м	потери при зачистке верха уступа, Пзач=0,1 5 м	потери при взрывных работах, Пвр, %	потери при транспортировании, Птр, %	итог, Поб щ
97	129,0	143,2	17,9	8,9	1,5		0,6	28,9
92	416,0	462,9	7,0	3,5	1,5		0,6	12,6
92а	2,0	2,2	13,2	6,6	1,5		0,6	21,9
92б	4,0	4,8	21,3	10,6	1,5		0,6	34,0
91	4441,0	4760,4	1,5	0,8	1,5	0,2	0,6	4,6
91а	16,0	16,0	6,9	3,5	1,5		0,6	12,5
91б	353,0	410,9	16,7	8,3	1,5		0,6	27,1
82	1539,0	1789,6	2,9	1,5	1,5	0,2	0,6	6,7
81-80	2340,0	2537,4	1,6	0,8	1,5	0,2	0,6	4,7
Итого								19,1

При данных условиях залегания угольных пластов по принятой мною технологии их отработки ожидается обеспечение минимальных потерь при выемке.

Предопределилось формирование двух рабочих зон, условное разделение которых сформировалось по междупластью угольных пластов 91 и 92.

В качестве комплекса оборудования принят экскаваторно-транспортно-отвальный (ЭТО) комплекс (согласно классификации В.В. Ржевского). Подготовку коренных вскрышных пород для экскавации предусматривается также осуществлять буровзрывным способом.

В границах участка недр отработке подлежат девять пластов угля с углами падения от 10 до 40° мощностью от 1,3 до 5,9 м. Ряд пластов залегают на незначительном удалении друг от друга (до 10-15 м), сближенными пластами можно считать: 91^а и 91^б, 92^а и 92^б. Мощность остальных междупластий составляет до 60 м.

Требуется оптимизировать элементы и параметры системы разработки, применяемые в условиях участка «Кыргайский средний» [2].

Свита сближенных пластов малой и средней мощности, имеющая несогласное залегание с откосом борта (на восточном рабочем борту

разреза), будет отрабатываться пятиметровыми уступами последовательно.

Для условий участка недр «Кыргайский средний» мною разработаны следующие технологические схемы:

- доработка междупластья коренных пород с применением БВР;
- поэтапная отработка коренных пород;

В отработку включаются угольные пласты западного и восточного рабочих бортов разреза в соответствии с принятой системой разработки.

Используются экскаваторы Hitachi EX 1200-7, Hitachi EX 1200, так же выбранный по техническим параметрам Hyundai R 1200-9.

В комплексе с экскаваторами применяются автосамосвалы БелАЗ 7555В и БелАЗ 7555D, САТ 777, САТ 773Е для транспортирования вскрышных пород и угля.

Расчет производим по транспортному блоку.

Ширина заходки определяется по формуле:

$$A = R_{\text{ч}}(\sin\alpha + \sin\beta), \text{ м} \quad (2)$$

где $R_{\text{ч}}$ - радиус черпания.

По формуле получим:

$$\text{Для Hitachi EX 1200-7} \quad A = 13,75 \cdot (\sin 75^\circ + \sin 75^\circ) = 14 \text{ м.}$$

$$\text{Для Hyundai R 1200-9} \quad A = 14,8 \text{ м.}$$

$$\text{Для Hitachi EX 1200} \quad A = 14,5 \text{ м.}$$

Ширина рабочей площадки определяется по формуле:

$$Ш_{\text{рп.}} = A + П_{\text{э}} + В_{\text{п}} + E + C, \text{ м}, \quad (3)$$

где A – ширина заходки по целику, м;

$П_{\text{э}}$ – ширина полосы для электрических устройств;

E – ширина полосы для автотранспорта;

C – ширина полосы для дополнительного оборудования;

$В_{\text{п}}$ – ширина бермы безопасности;

По формуле получим:

$$\text{Для Hitachi EX 1200-7} \quad Ш_{\text{рп.}} = 6,8 + 6 + 6 + 13 + 14 = 47 \text{ м.}$$

$$\text{Для Hyundai R 1200-9} \quad Ш_{\text{рп.}} = 14,8 + 8 + 9,6 + 3,5 + 7 = 42 \text{ м.}$$

$$\text{Для Hitachi EX 1200} \quad Ш_{\text{рп.}} = 14,5 + 6 + 5 + 7,5 = 33 \text{ м.}$$

Примем высоту уступа h_y :

$$\text{Для Hitachi EX 1200-7} \quad h_y = 5 \text{ м.}$$

$$\text{Для Hyundai R 1200-9} \quad h_y = 5 \text{ м.}$$

$$\text{Для Hitachi EX 1200} \quad h_y = 5 \text{ м.}$$

При доработке междупластья, сложенного коренными породами с применением БВР, гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» допускается остаточная заходка шириной 14 м (нормальная заходка – 22м),

при условии, что разворотная площадка для автомобильного транспорта будет 2,5 и более конструктивных радиусов разворота по переднему наружному колесу автосамосвала.

Технологическая схема доработки междупластья коренных пород с применением БВР гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» Hitachi EX 1200-7 с погрузкой в автотранспорт ниже уровня стояния экскаватора приведена на рисунке 1.

На разрезе применяется схема бурения и взрывания одновременно всего междупластья (до 25 рядов скважин) [4], в связи с этим разработана схема поэтапной отработки междупластья и угольного пласта.

Технологическая схема поэтапной отработки коренных пород, с погрузкой в автотранспорт ниже уровня стояния экскаватора, гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» Hyundai R 1200-9 и Hitachi EX 1200 приведена на рисунке 2.

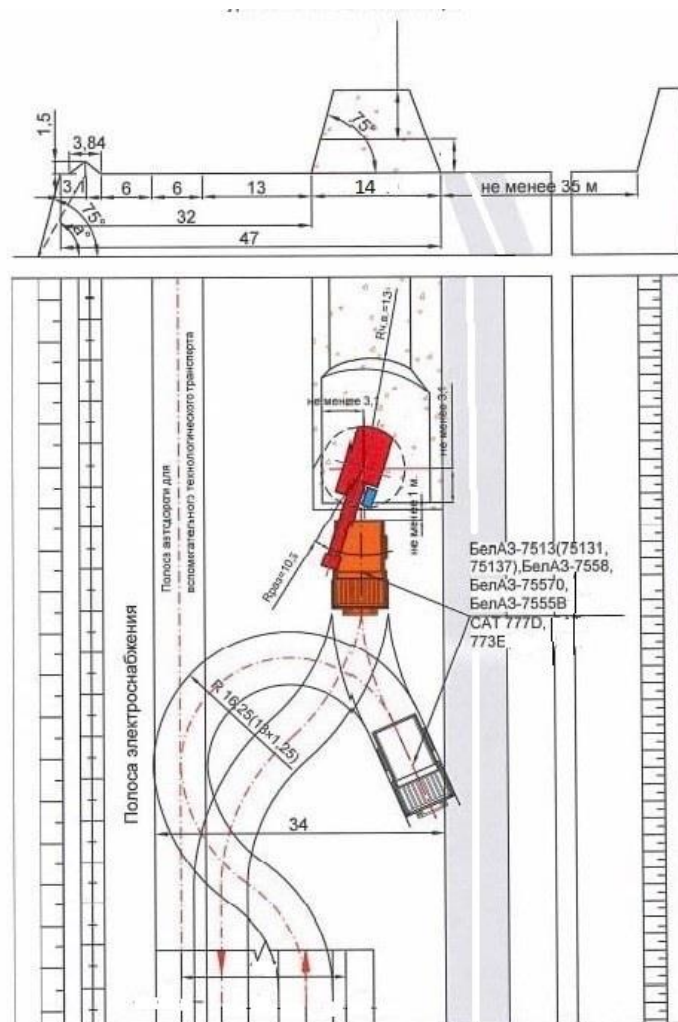


Рисунок 1 – Технологическая схема доработки междупластья коренных пород с применением БВР гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» Hitachi EX 1200-7

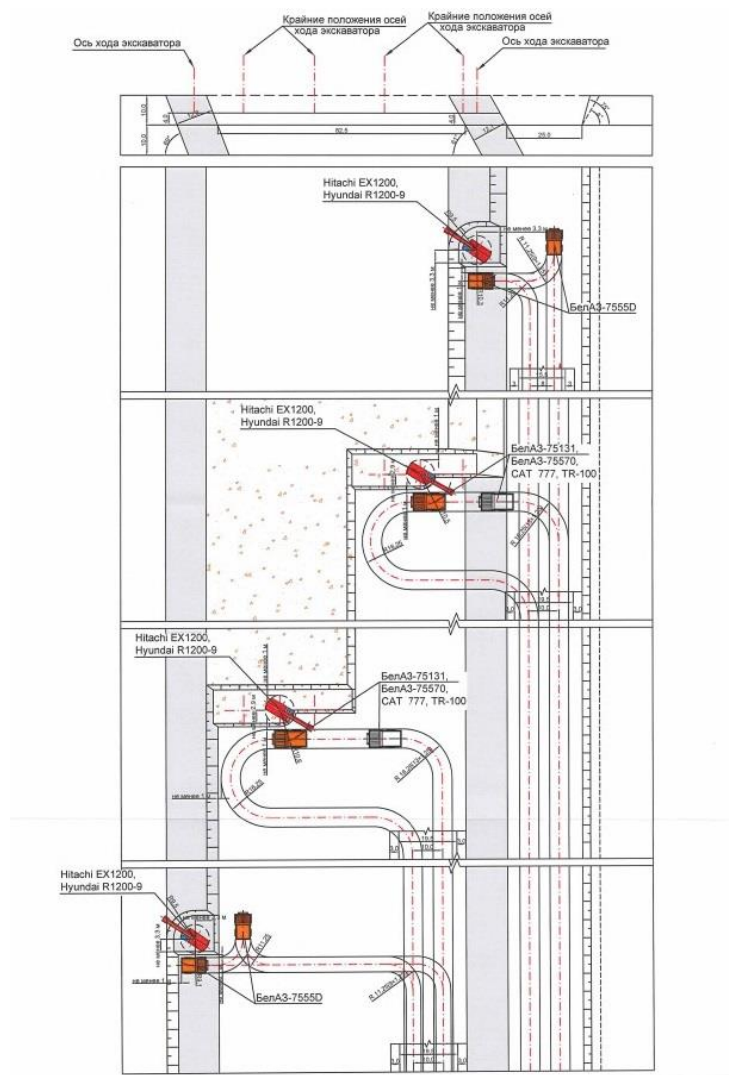


Рисунок 2 – Технологическая схема поэтапной отработки коренных пород с применением БВР

Принятые технологические схемы отработки междупластья, поэтапной отработки коренных пород и изменение параметров элементов системы разработки обеспечат минимальные потери при выемке и оптимально подойдут для обеспечения плановых объемов выемочно-погрузочных работ.

Библиографический список

1. Хохряков В.С. Проектирование карьеров: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. – 383 с.
2. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: Челябинск, 1991.-326 с.
3. Васильев М.В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах. – М.: Недра, 1986.- 239 с.
4. Проект разреза ООО «Ресурс» участок «Кыргайский средний». – Новосибирск: Гипроуголь, 2013.- 478 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ НА ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ ПЛАСТАХ ШАХТ КУЗБАССА

Курдюков М.О.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Морев А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В статье приведено обоснование параметров и направлений совершенствования очистных угольных комбайнов на пологих и наклонных пластах шахт Кузбасса.

Ключевые слова: очистной комбайн, цевочно-речная система подачи, конвейер.

Многообразие горно-геологических условий залегания пластов и физико-механических свойств углей, а также требования технологии обработки угольных пластов обуславливает и разнообразие конструктивного исполнения очистных комбайнов, что и определяет основные направления совершенствования в их компоновке, энерговооруженности, а также привязку к базовой части механизированного комплекса.

С целью обоснования дополнительных требований к серийно выпускаемым очистным комбайнам, работающим на пологих и наклонных угольных пластах, а также забойным конвейерам гидрофицированных, механизированных комплексов были выполнены экспериментально-производственные исследования включающие:

- Возможность применения очистных комбайнов без тяговой цепи;
- Возможность перемещения очистного комбайна с цевочно-речной системой подачи на углах падения пластов более 9° без предохранительной лебедки;
- Электрические измерения потребляемой мощности приводом резания, подачи и скорости перемещения комбайна;
- Оценка погрузочной способности шнековых исполнительных органов с резцами РКС;
- Уровня звукового давления и вибрации при работе очистного комбайна базы забойного конвейера, при различных крепостях угля и скорости подачи.

Завершающим этапом исследований по определению требований при анализе экспериментальных и конструкционных недостатков у существующих, работающих комбайнов, а также и опытных образцов с выходом на промышленную партию угольных комбайнов и забойных конвейеров легли в

основу разработки рекомендаций по их устранению.

Электрические измерения, выше указанных средств механизации проводились с использованием современной измерительной аппаратуры и методов обработки результатов отечественного и импортного производства.

Объектами исследований явились очистные угольные комбайны: КШ-3М, КШ-1КГУ, 2ГШ-68Б, 2КШЗ, 1КШЭ, РКУ-16, 1РКУП-20 и забойные конвейеры СУОКП70 и СП-301 с цевочными рейками ЗБСП.

В результате исследований хронометражных наблюдений было подтверждено, что угольные комбайны для обработки пологих и наклонных пластов средней мощности от 1,5 до 5,0 м должны соответствовать требованиям, предъявленным к комбайнам унифицированного ряда РКУ.

Промышленные испытания забойного очистного оборудования показали возможность применения шнековых очистных комбайнов с цевочно-речной системой подачи при углах залегания до 35° без предохранительных лебедок с выполнением определенных конструктивных доработках органов перемещения, заключающихся в установке дополнительного тормоза на цевочное колесо не связанным с механизмом подачи комбайна.

Условия экспериментов охватывали широкий спектр горно-геологических параметров обрабатываемых угольных пластов. В результате экспериментов установлено, что работа очистного угольного комбайна с цевочно-речной системой подачи на пластах с углами падения более 9° менее опасна и возможна при условии установки второго тормоза на дополнительном цевочном колесе не связанным с механизмом подачи комбайна.

Требуемое осевое усилие сжатия фрикционных дисков дополнительного тормозного устройства определялось по зависимости:

$$Q_m = \frac{2M_m}{M * D_c * Z_{п.т.} * K_n}, \text{ кН},$$

где $M \approx 0,07$ – коэффициент трения для стальных дисков, работающих в масляной ванне;

D_c – средний диаметр дисков, м;

$Z_{п.т.}$ – число поверхностей трения;

K_n – коэффициент, учитывающий трение дисков о направляющие;

M_m – момент на валу тормоза, необходимый для удержания комбайна на ставе лавного конвейера, кН*м.

Результаты электрических измерений свидетельствуют о необходимости повышения энерговооруженности очистных комбайнов до 400 кВт и более. А также переход привода подающей части с гидравлической на электрический привод или гидравлический с элементами автоматики до коррекции двух скоростей: скорости резания шнеками и скорости подачи комбайна.

Поставленная цель на дальнейшее исследование режимов работы забойного оборудования требовала решения задач и по процессу погрузки от-

битого угля шнеками комбайна на лавный, забойный конвейер при оснащении их резами РКС.

Также необходимо переходить на активную конструкцию лемехов лавного конвейера, которая помогает шнекам производить полный подъем отбитого угля на став лавного конвейера и зачистку комбайновой дорожки. Тем самым сокращаются ручные работы и машинное время на цикл, снижается динамика сопротивления оставшегося угля и штыбы ставу конвейера, сопутствующая всплыванию его при передвижке к груди забоя.

На основании результатов проведенных стендовых и промышленных испытаний опытных образцов и опытных партий очистных комбайнов межведомственными комиссиями МИНТРОПЭНЕРГО России и Министерством Энергетики России рекомендованы к выпуску машиностроительным заводам. Технические характеристики комбайнов и их типы представлены в таблице 1.

Таблица 1- Техническая характеристика очистных комбайнов

Тип комбайна	Механизм подачи	Система подачи	Мощность электропривода механизма подачи	Мощность привода резания, кВт	Завод изготовитель
РКУ-10 РКУ-13	Гидравлический	БСП	450кН	200	Горловский, Украина
РКУ-13ТП	Электрический	БСП	30кВт	200	Малаховский, Россия
2ГШ-68Б	Гидравлический	БСП	300кН	132,150,16	Горловский, Украина
КДК-500	Электрический частично регулируемый	БСП	45кВт	2×250	Нижегородский, Украина
К-500	Электрический	БСП	45кВт	2×250	Нижегородский, Украина
К-500Ю	Электрический	БСП	45+250кВт (тормоза)	2×200	Юргинский, Россия
КДК-700	Электрический частично регулируемый	БСП	60кВт	2×355	Горловский, Украина
К-600	Электрический	БСП	60кВт+450кВт (тормоза)	2×300	ОМТ, Киселевск, Россия
1КШЭ	Электрический постоянный ток	БСП	19кВт	2×200	Горловский, Украина
1КШЭУ	Электрический постоянный ток	БСП	2×19кВт	160, 200	ОАО «УТС», Ульяновск, Россия
2КШЭУ	Электрический постоянный ток	БСП	2×43кВт	2×315	ОАО «УТС», Ульяновск, Россия

Библиографический список

1. Морев А.И. Энергетические и силовые исследования комбайна КШЭ с тиристорной системой подачи // комплексная механизация и автоматизация при разработке угольных месторождений Кузбасса и Дальнего Востока: Сб.науч.тр./ КузНИУИ. – Прокопьевск. 1985. – с. 101-102.
2. Морев А.И. Исследование работы очистного комбайна 1РКУП20 с электрической подающей частью и системой БСП // Комплексная механизация и автоматизация очистных работ на крутых пластах Кузбасса и Дальнего Востока: Сб.науч.тр./ КузНИУИ. – Прокопьевск. 1985. –с. 95-97.
3. Морев А.И. Шахтные исследования бесцепной системы подачи добычных комбайнов // Комплексная механизация и автоматизация при разработке угольных месторождений Кузбасса и Дальнего Востока: Сб.науч.тр./ КузНИУИ. – Прокопьевск. 1985. –с. 48-49.
4. Морев А.И. Повышение эффективности процесса погрузки угля на скребковый забойный конвейер // Механизация и автоматизация ручных трудоемких операций в промышленности Кузбасса: Тез.докл.обл.научн.-практ. Конф., 1984. – Кемерово. –с.28.

УДК 622.4:622.81

РАСЧЁТНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ

Мысак Е.А.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: r7080@yandex.ru*

В статье приведены направления повышения качества подготовки специалистов-горняков. Представлено современное программное обеспечение, позволяющее выполнять различные инженерные (вентиляционные и технологические) расчёты. Изложены рекомендации по повышению роли данных приложений в учебном процессе.

Ключевые слова: специалисты, учебный процесс, компьютерные технологии, программное обеспечение, инженерные расчёты.

В настоящее время на первое место для квалифицированного специалиста выходит владение современными программными пакетами для решения различных задач. Широкое распространение специализированной компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения предоставляют возможность реализовывать современные подходы к выполнению вен-

тиляционных и технологических расчётов. Разрабатываемые приложения реализуют методы организации и обработки данных, а также их визуального представления в виде, удобном для восприятия пользователем. Учитывая это, в целях повышения качества подготовки студентам-горнякам предлагается использовать в учебном процессе компьютерные программы. Они позволяют повысить уровень восприятия изучаемого материала и в конечном итоге качество подготовки. Каждый год, или даже месяц выпускаются новые версии программ, приложений, обновляется оборудование, что подчёркивает о необходимости формировать умение осваивать новое программное обеспечение.

Существует значительное количество специализированных программ, которые применяются как для решения производственных задач, так и в образовательном процессе. Разработаны и поддерживаются следующие приложения: Вентиляция (версия 2.0), Водоснабжение, Ударная волна, Тупики, Выемочные участки (ШахтЭксперт-Системы), Электронный блокнот руководителя ГИО (ФГКУ «Национальный горноспасательный центр»), Аэросеть (ГИ УрО РАН), Система поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка (ФГБОУ ВО СибГИУ) [1-10]. Эти системы позволяют выполнять широкий спектр инженерных (вентиляционных и технологических) расчётов и отвечать на вопросы характера: «Что будет, если...?».

Комплекс «Вентиляция» – это специализированное программное обеспечение, предназначенное для расчётов нормального и аварийных режимов проветривания шахты, а также решения задач плана ликвидации аварии (ПЛА). Все расчёты производятся на трёхмерной топологии шахты (рисунок 1).

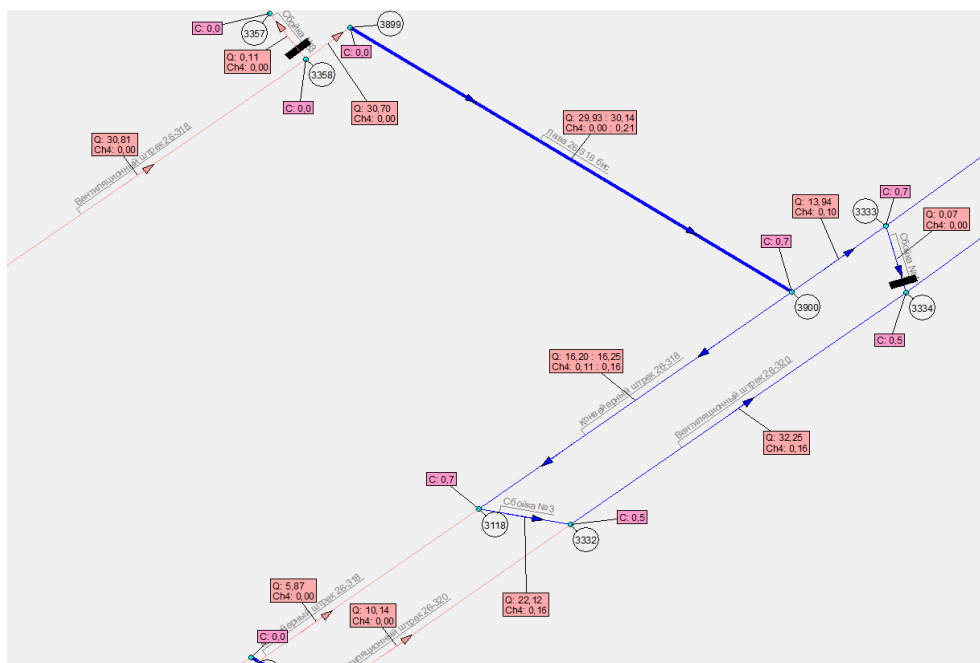


Рисунок 1 – Компьютерная модель шахтной вентиляционной сети (двухмерная проекция), созданная в программе «Вентиляция» [1, 2]

Комплекс позволяет: выполнить анализ состояния проветривания объекта ведения горных работ; производить расчёты вариантов состояния вентиляционных сетей на перспективное развитие объекта ведения горных работ; проводить расчёты и анализ вентиляционных режимов, предусматриваемых ПЛА, а также решать другие задачи связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварии. Модели в программе «Вентиляция» актуализируются по данным воздушно-депресссионных съёмкам. На трёхмерной компьютерной модели шахтной вентиляционной сети (ШВС) также реализует свою работу программа «Ударная волна», основная задача которой – определение зон поражения при взрывах пылеметановоздушных смесей в горных выработках [3, 4]. Программа также рассчитывает возможные разрушения инженерных сооружений, перемычек, вентиляционных дверей и шлюзов. Существует модуль расчёта взаимодействия ударно-волновых процессов с водяными заслонами.

Программа «Водоснабжение» предназначена для расчёта параметров подземной системы противопожарного водоснабжения. С помощью модели сети пожарно-оросительного трубопровода можно рассчитать давление и возможный расход воды [1].

Программы «Тупики» и «Выемочные участки» предназначены для автоматизации расчётов дебитов метана, необходимых расходов воздуха, параметров газоотводящей сети и др. задач, а также подготовки проектов вентиляционных установок для проветривания подготовительных выработок угольных шахт и проектов вентиляции выемочных участков, проветриваемых по схемам с изолированным отводом метана из выработанного пространства (рисунок 2) [1, 5, 6].

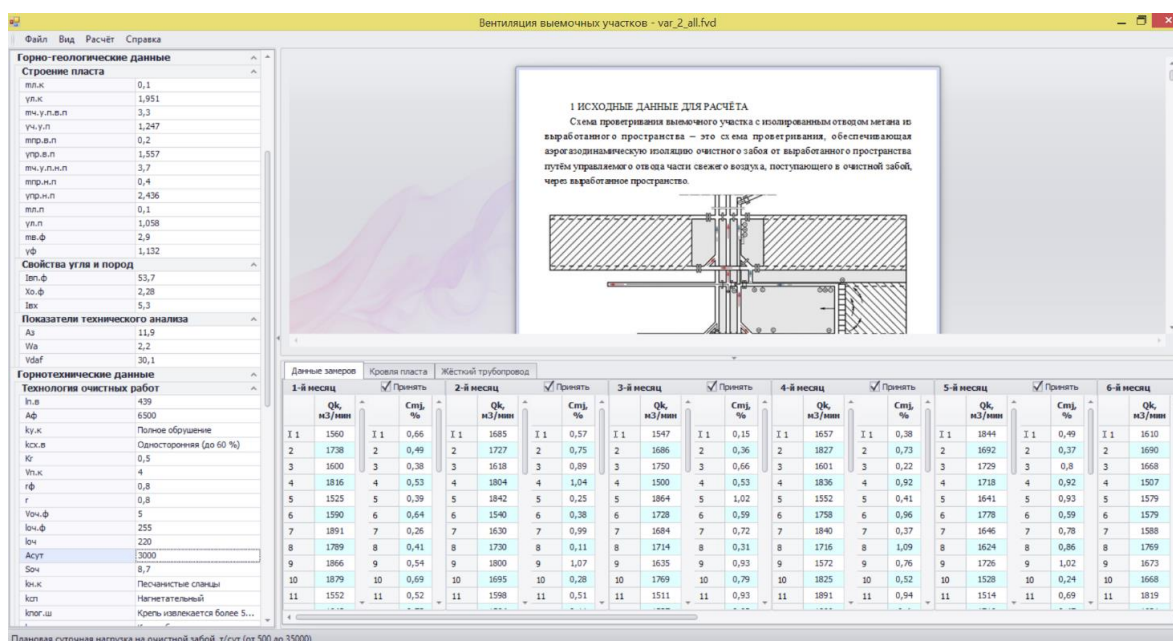


Рисунок 2 – Главное окно программы «Выемочные участки» [5]

Главным преимуществом этих программ является полностью готовый к подписи руководителя проект (по результатам расчётов). По ходу текста в пояснительной записке приводятся все необходимые ссылки на нормативные документы, исходные формулы, формулы с подставленными значениями, окончательные результаты. Все вычисления проводятся на основании действующих федеральных норм и правил в области промышленной безопасности.

Аналитический комплекс «Аэросеть» позволяет решать широкий комплекс задач в области проектирования рудничной вентиляции (рисунке 3). Базовые возможности программы: оперативное построение схемы выработок; полуавтоматическая обработка данных воздушно-депресссионных съёмок; расчёты стационарного воздухораспределения (с оценкой устойчивости); построение графической части ПЛА и др. [7].

На кафедре геотехнологии ФГБОУ ВО СибГИУ в 2005-2021 гг. была разработана и реализована программа «Система поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка». В возможности данной программы входит проверка принимаемых решений как на соответствие требованиям нормативно-технических документов, так и результатам расчётов технико-экономических показателей для альтернативных вариантов [8].

В ФГКУ «Национальный горноспасательный центр» разработан «Блокнот руководителя группы инженерного обеспечения ведения аварийно-спасательных работ» (электронный блокнот) [9, 10]. В него интегрировано 7 расчётных инженерных методик, позволяющих решать задачи, возникающие при ведении работ по локализации и ликвидации последствий аварий на горных предприятиях.

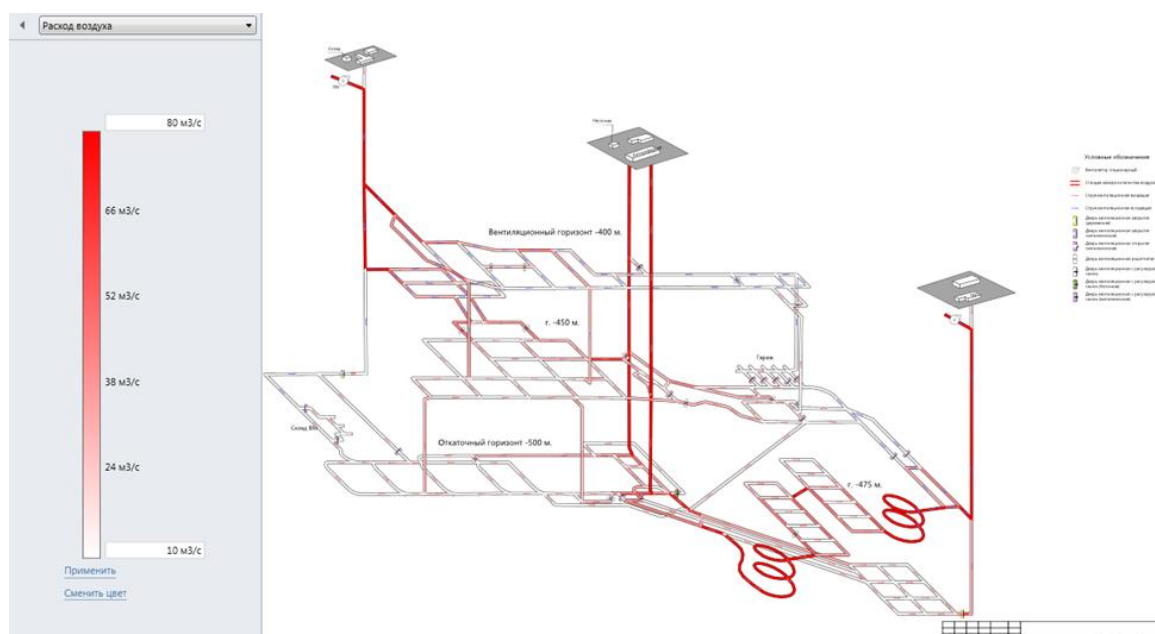


Рисунок 3 – Фрагмент ШВС рудника (комплекс «Аэросеть»)

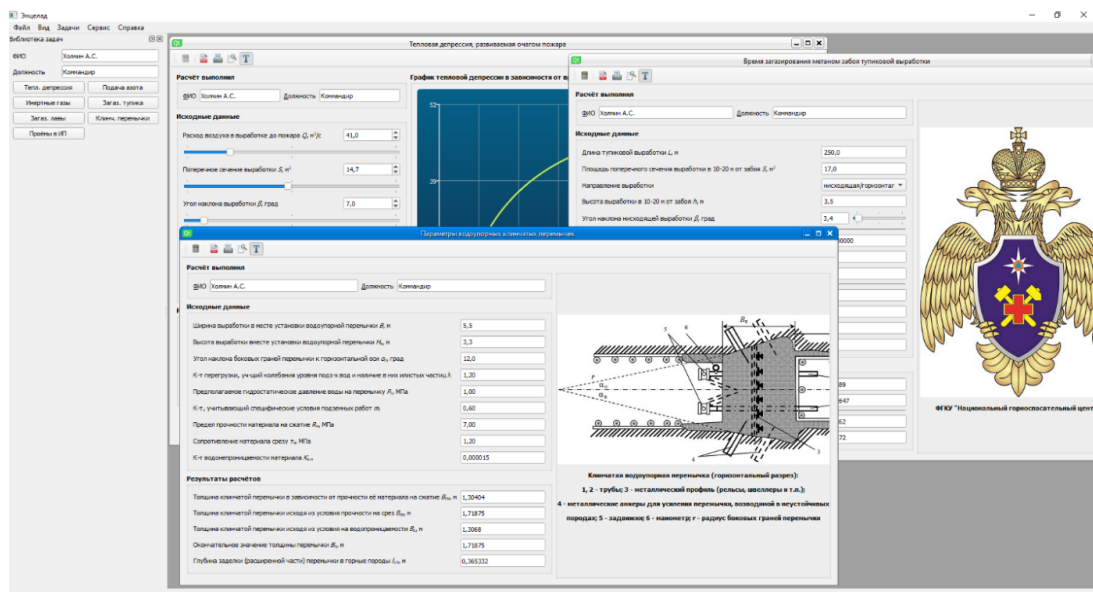


Рисунок 4 – Главное окно программы «Электронный блокнот» [9]

Внедрение рассмотренных программ в учебный процесс при изучении дисциплин, а также при выполнении курсовых и дипломных проектов (работ) позволит существенно улучшить показатели освоения образовательных программ и повысить эффективность проверки выполняемых студентами работ.

Библиографический список

1. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Костеренко В.Н. Компьютерные технологии для решения задач плана ликвидации аварий. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 160 с.
2. Говорухин Ю.М., Бородкин К.Ю., Зенгер Е.Ю. Программный комплекс «Вентиляция» как составная часть учебной дисциплины «Геоинформационные системы» // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: под общей ред. В.Н. Фрянова. – 2008. – С.136-139.
3. Криволапов В.Г., Говорухин Ю.М. Взаимодействие ударно-воздушной волны с водяными заслонами при возведении изолирующих противопожарных перемычек // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: под общей редакцией В.Н. Фрянова. – 2007. – С.198-203.
4. Палеев Д.Ю., Васенин И.М., Костеренко В.Н. и др. Ударные волны при взрывах в угольных шахтах. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 312 с.
5. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Домрачев А.Н., Лукашов О.Ю. Программа расчёта вентиляции выемочных участков // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С.445-448.
6. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Вентиляция выемочных участков» / Ю.М. Говорухин, А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов,

О.Ю. Лукашов, Д.Ю. Палеев. – 2017. – № RUS 2017614796; дата регистрации 24.01.2017.

7. 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.

8. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н. Разработка и внедрение в учебный процесс системы поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 1. – С.159-165.

9. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Домрачев А.Н. Повышение качества и оперативности выполнения инженерных расчётов при ведении горноспасательных работ // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С.450-453.

10. Домрачев А.Н., Палеев Д.Ю., Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Липатин В.И. К вопросу об оценке трудоёмкости ведения аварийно-спасательных работ на горных предприятиях // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – №1. – С.37-39.

УДК 622.4:622.81

РЕГУЛЯТОРНАЯ ГИЛЬОТИНА И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНО ПРАВОВОЙ БАЗЫ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Папян Н.О.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: r7080@yandex.ru*

В статье приведён анализ проведённой в Российской Федерации инвентаризации нормативных документов. Представлен обзор новой редакции федеральных норм и правил в области промышленной безопасности опасных производственных объектов. Изложены рекомендации по применению нормативно правовой базы угольной промышленности в учебном процессе и дальнейшему их развитию.

Ключевые слова: инвентаризация, федеральные нормы и правила, проектирование, проветривание шахт, инженерные методики, учебный процесс

В 2019-2020 годах в Российской Федерации проведена инвентаризация всех действующих и обязательных к исполнению требований, реализованных в виде законодательных, нормативно правовых и нормативно-технических документов (так называемая «регуляторная гильотина»). В мае

2019 года Председателем Правительства Российской Федерации Д.А. Медведев был утверждён План мероприятий («Дорожная карта») по реализации механизма «регуляторной гильотины». Её целью явилось формирование современной, адекватной требованиям времени и технологического развития эффективной системы регулирования. Этот процесс осуществлён посредством отмены всех неактуальных нормативных актов в сфере надзора и контроля, а также построения новой, современной, эффективной системы государственного контроля (надзора), направленной на снижение социально значимых рисков.

Федеральным законом от 31.07.2020 № 247-ФЗ [1] предусмотрена обязанность Правительства Российской Федерации обеспечить отмену до 01 января 2021 года актов: Правительства, Федеральных органов исполнительной власти, исполнительных и распорядительных органов государственной власти РСФСР и СССР. Постановлением Правительства от 06.08.2020 № 1192 отменены нормативно правовые акты Правительства Российской Федерации, содержащих обязательные требования государственного надзора в сфере промышленной безопасности на опасных производственных объектах ведения горных работ. Проведена проработка и введение в действие новых федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Данным документам установлен срок действия – до 01 января 2027 года. В дальнейшем будет осуществлена ещё одна инвентаризация нормативно правовой базы Российской Федерации.

В связи с «регуляторной гильотиной» большая нагрузка ложится на профессорско-преподавательский состав вузов. Они должны доводить до обучающихся постоянно изменяющиеся требования нормативных документов, которые сформируют у них чёткие и однозначные подходы к нормативному обеспечению промышленной безопасности на горных предприятиях.

Среди прочего особый интерес вызывают Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт [2]. Этот документ введён взамен утративших силу документов:

- Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт (1989 г.);
- Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок (2011 г.);
- Инструкция по дегазации угольных шахт (2011 г.);
- Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах (2011 г.) и др.

Характерной особенностью вновь вводимого документа [2] является отсутствие порядка определения количественных параметров проветривания угольных шахт и схем проветривания выемочных участков.

При отработке выемочных столбов с управлением кровлей полным обрушением за очистным забоем образуются больших объёмов выработанные пространства. В куполах обрушения и участках, не проветриваемых утечка-

ми воздуха, в результате выделения из углевмещающей толщи газовой смеси, могут накапливаться её значительные объёмы [3-6]. Формируются так называемые газовые коллекторы, которые при обрушении зависших консолей кровли могут выдавливаются в действующие горные выработки. С данным видом газодинамического явления связан ряд крупных техногенных аварий на шахтах: «Распадская» (2010 г.), «Ульяновская» (2007 г.), «Юбилейная» (2007 г.), «Тайжина» (2004 г.), «Зыряновская» (1997 г.), «им. Шевякова» (1992 г.) и др.

В связи с этим необходимо в рамках Федеральных норм и правил проработать возможность создания и утверждения нормативного документа, который регламентировал бы порядок проектирования вентиляции как выемочного участка с выработанным пространством, так и всей шахты в целом [7-10]. В рамках данного предложения и учебного процесса в ФГБОУ ВО СибГИУ повышается значимость дисциплин «Рудничная аэрология», «Моделирование гео- и газодинамических процессов» и «Системы управления газовыделением угольных шахт».

Библиографический список

1. Федеральный закон от 31.07.2020 № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации».

2. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 506 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт» (зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2020 № 61918).

3. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Костеренко В.Н. Компьютерные технологии для решения задач плана ликвидации аварий. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 160 с.

4. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Кнышенко А.Н. Сравнительная оценка фактического и проектного метановыделения в выработанное пространство угольных шахт // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – №1. – С.27-30.

5. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г. К вопросу об управлении газовыделением выемочного участка // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2010. – С.396-399.

6. Коряга М.Г. Многоцелевые возможности использования колтюбинговых технологии для дегазации выработанного пространства, мониторинга и борьбы с пожарами // «Вестник СибГИУ». – 2015. - № 2 (12). С. 25 – 30.

7. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Филатов Ю.М. Об эффективности дегазации выемочных участков для условий пологих пластов юга Кузбасса // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – №12. – С.11-17.

8. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Домрачев А.Н., Лукашов О.Ю. Программа расчёта вентиляции выемочных участков // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С.445-448.

9. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю. Математическое моделирование миграции метана в горные выработки при остановленном очистном забое // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017. – №3. – С.424-429.

10. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Балаганский М.Ю. Методология моделирования фильтрации газоздушных смесей в выработанном пространстве выемочного участка // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. – №1. – С.72-76.

УДК 621.31

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сухоплюев А.С., Фесенко А.Е.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Рассмотрен вопрос передачи электроэнергии переменным и постоянным током на примере системы электроснабжения Кузбасса. Выбраны четыре линии разной длины от Назаровской ГРЭС до подстанции «Новокузнецк 500». Рассчитаны потери электроэнергии при той или иной передаче на этих линиях.

Ключевые слова: ток, выпрямление, инвертирование, передача, потери, постоянный, переменный.

Введение

На сегодняшний день большую часть линий электропередач составляют линии на переменном токе. В тоже время все большую актуальность приобретает передача энергии на постоянном токе.

Рассматривая ту или иную технологию для передачи электроэнергии, нужно исходить из конкретно данного случая и анализировать насколько это будет выгодно по экономическим соображениям, выяснить и насколько эффективно с технологической точки зрения. Поскольку самыми распространенными видами передачи электрической энергии является системы постоянного и переменного тока, это может привести к гибридным системам постоянного и переменного тока.

По напряжению воздушные линии электропередачи (ЛЭП) делятся по номиналу этого показателя. Для переменного тока: 0,4; 6; 10; 35; 110; 150;

220; 330; 400; 500; 750; 1150 кВ); Номинальное напряжение для линий постоянного тока не регламентировано.

линии, напряжение которых выше 500 кВ считаются сверхдальними они служат для соединения отдельных энергосистем.

Линии, напряжением 220, 330 кВ считаются магистральными. Они предназначаются для соединения между собой электростанций, отдельных энергосистем, электростанций внутри данных систем.

Линии напряжением 35-150 кВ, устанавливаются между потребителями (предприятия, населенные пункты) и распределительными пунктами, а напряжением до 20 кВ используются как линии электропередач, для непосредственной подводки электрического тока к потребителю.

Технологии высоковольтных линий электропередач переменного тока.

Линии электропередач представляют собой линии переменного тока из-за их способности к надежному и эффективному преобразованию номинального напряжения в более высокие или более низкие уровни и относительной простоте конструкции распределительного устройства. Данные линии, работающие при разных напряжениях, соединены через трансформаторы.

В них не предусматривают контроль потока энергии. Технически использование линий передачи переменного тока ограничено статическими и динамическими системными явлениями, такими как температурные пределы, стабильность напряжения или стабильность переходного процесса.

Одним из наиболее простых устройств управления потоками мощностей по линиям электропередачи являются фазоповоротные устройства (ФПУ), которые по конструкции очень схожи с трансформаторами. В этих устройствах автоматически меняется электромагнитное поле, вследствие чего изменяется фазы выходного напряжения относительно входного. Таким образом суммарный угол сдвига между векторами напряжения по концам линии электропередачи с таким устройством изменяется, а вместе с ним изменяется передаваемая активная мощность [2].

Одним из вариантов решения проблем, которые возникают из-за увеличения потребления и усложнения электроэнергетических систем является гибкие системы передачи переменного тока (FACTS). Они дают возможность быстрого динамического контроля активной и реактивной мощностью, которые способствуют адаптации сетей переменного тока к изменяющимся условиям и изменениям нагрузки.

Гибкая система передачи переменного тока повышает производительность системы, обеспечивая скорость и гибкость в управлении величиной напряжения, реактивным сопротивлением линии и фазовым углом линий электропередачи.

Технологии высоковольтных линий электропередач постоянного тока.

В качестве решения передачи большого количества мощности от источников энергии рассматриваются системы передачи высокого напряжения постоянного тока.

В системе высоковольтных линий постоянного тока мощность берется из сети переменного тока, преобразуется в постоянный ток преобразовательной станцией и передается в удаленную точку по воздушной линии на суше или кабельной линией для подводной передачи. Электрическая энергия постоянного тока преобразуется обратно в переменный ток преобразовательной станцией и снова подключается к сети переменного тока (рисунок 1).

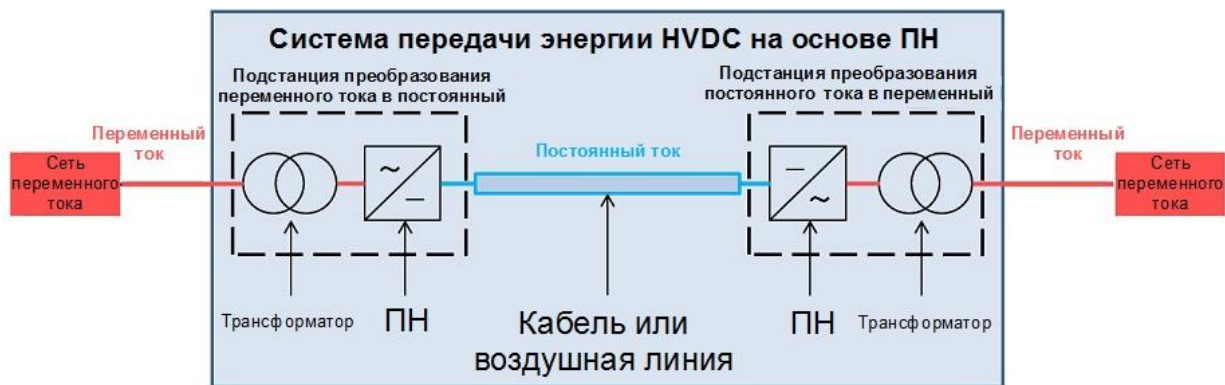


Рисунок 1- Система передачи энергии HVDC на основе ПН

Исходя из того, что мощность это произведение напряжения на ток, следовательно при увеличении напряжения, уменьшится ток, передаваемый по проводу, исходя из этого, можно уменьшить сечение провода, необходимое для передачи этой мощности, значительно уменьшив стоимость ЛЭП.

Наиболее эффективное устройство для изменения величины напряжения это трансформатор, работающий на переменном токе. Исходя из этого, у всех высоковольтных ЛЭП постоянного тока, на входе находится трансформатор, предназначенный для повышения напряжения переменного тока, после него находится оборудование, преобразующее переменный ток в постоянный. На выходе же, сначала находится преобразовательное оборудование, для преобразования постоянного тока обратно в переменный, далее трансформатор, для понижения напряжения переменного тока.

Из экономической составляющей видно, что преобразовательные подстанции, необходимые для преобразования переменного тока в постоянный, являются очень дорогими, если сравнивать с обычными повышающими или понижающими подстанциями. Поэтому подстанции высоковольтных линий электропередач переменного тока экономически выгоднее. Однако на общую стоимость высоковольтных линий также влияют многие другие факторы такие как: опоры, проводники, изоляторы, стоимость земли, потери напряжения и т.д.

Потому как линии, работающие на постоянном токе, отличаются большей пропускной способностью, строительство самих ЛЭП, без учета преобразовательного оборудования будет выгоднее на постоянном токе.

Учитывая все эти условия, можно заключить, что экономическая составляющая линий электропередачи на постоянном или переменном токе, в боль-

шей мере будет зависеть от длины линий. Показано, что при длине 600-700 км экономическая составляющая линий на постоянном токе возрастает [3].

Более высокая пропускная способность одна из преимуществ высоковольтных линий электропередач постоянного тока над обычными линиями переменного тока. По одним и тем же проводам на постоянном токе можно передавать гораздо больше энергии, чем на переменном [1].

Обеспечение надежности при передаче электроэнергии это одна из приоритетных задач. При сравнении надежности линии электропередач постоянного и переменного тока трудно отдавать предпочтение одному из них. Однако если сравнивать в контексте сложной электроэнергетической системы, выявляются некоторые системные эффекты при использовании ЛЭП постоянного тока. Вследствие автономности полюсов передачи постоянного тока и возможности использования исправного полюса можно снизить наброс мощности на параллельные связи и недостаток энергии в потребляющей стороне энергосистемы благодаря которому можно увеличить уровень надежности передачи. Благодаря несинхронным связям постоянного тока возможность распространения аварии на смежные части энергосистемы значительно меньше. Также, за счет систем управления преобразовательными подстанциями риск каскадного развития аварий невелико при синхронных связях энергосистемы.

Потери в линиях электропередач зависят от многих параметров, в частности от активных и реактивных сопротивлений линий. Если принять во внимание что потери в линиях постоянного тока зависят только от активного сопротивления, а в линиях переменного тока совокупностью потерь на активном и реактивном сопротивлениях, а также за счет емкостных токов, можно утверждать, что потери в линиях постоянного тока меньше чем в линиях переменного тока. Подробная информация про потери в линиях постоянного и переменного тока и их сравнение приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Сравнение показателей ЛЭП на 500 кВ

№	Виды ЛЭП	Критерии оценки				
		Расходы на строительство 1 км ЛЭП	Надежность	Пропускная способность, Вт	Потери на 1 км, Вт	Максимальное расстояние, км
1	HVDC	99 000	Высокая	$4000 \cdot 10^6$	30 800	600-1200
2	HVAC	92 000	Высокая	$900 \cdot 10^6$	72 833	600-1200

Для проверки эффективности применения постоянного тока для передачи электроэнергии посредством ЛЭП, рассмотрена схема электроснабжения Кузбасса. Для расчетов приняты 4 участка.

Первый - ЛЭП протяженностью 282.5 километров от Назаровской

ГРЭС до Ново-Анжерской подстанции.

Второй - ЛЭП протяженностью 222 километра от Ново-Анжерской подстанции до Беловской ГРЭС.

Третий - ЛЭП протяженностью 77,4 километров от Беловской ГРЭС до Кузбасской подстанции.

Четвертый - ЛЭП протяженностью 19,4 километров от Кузбасской подстанции до подстанции «Новокузнецк-500».

Участки приняты различной протяженности, чтобы так же проследить зависимость эффективности применения постоянного тока на различных расстояниях. Для каждого участка рассчитаны параметры электроснабжения при использовании переменного и постоянного тока, а так же определены потери напряжения.

Сравнительный анализ полученных данных

На первом участке потери напряжения при передаче энергии переменным током составили 77 кВ или 15,4 % от номинального напряжения.

Потери при передаче постоянным током составили 27,55кВ, это составляет 5,5 % от номинального напряжения.

На втором - потери напряжения при передаче энергии переменным током составили 67кВ или 13,4 % от номинального напряжения.

Потери при передаче постоянным током составили 23кВ, это составляет 4,6% от номинального напряжения.

На третьем - потери напряжения при передаче энергии переменным током составили 21,8кВ, это составляет 4,4 % от номинального напряжения.

Потери при передаче постоянным током составили 7,7кВ, это составляет 1,5% от номинального напряжения.

На четвертом - потери напряжения при передаче энергии переменным током составили 3,6кВ, это составляет 0,7 % от номинального напряжения.

Потери при передаче постоянным током составили 0,6кВ, это составляет 0,1 % от номинального напряжения.

Результаты проведенных расчетов можно выразить в виде диаграммы (рисунок 2).

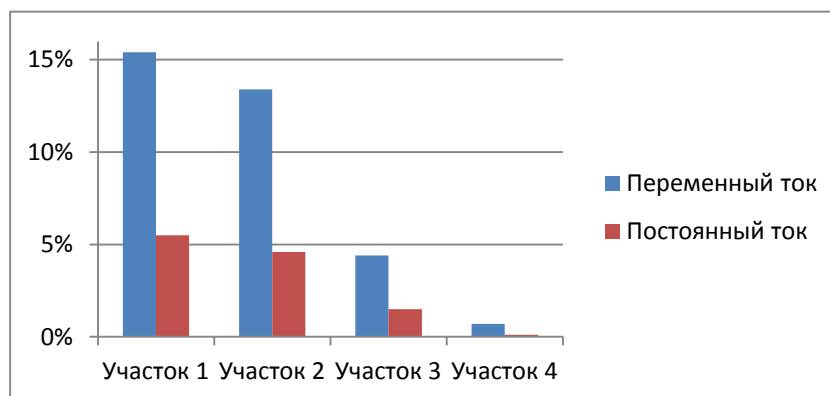


Рисунок 2- Диаграмма потерь напряжения

По диаграмме видно, что передача энергии при помощи постоянного тока является достаточно эффективной, и потери при такой передаче значительно меньше чем при передачи переменным током.

Так же можно сделать вывод, что применение постоянного тока наиболее актуально при передаче энергии на большие расстояния. Так как потери при передаче переменного тока на большие расстояния значительно больше потерь чем при передачи постоянным током. Однако, при передаче на малые расстояния, потери как при постоянном, так и при переменном относительно невелики, поэтому модернизация таких ЛЭП не принесет большой эффективности.

Преимущества и недостатки высоковольтных ЛЭП постоянного тока по сравнению с ЛЭП переменного тока

Главное преимущество высоковольтных ЛЭП постоянного тока, это возможность передачи большого объема энергии на протяженные расстояния, с гораздо меньшими потерями, чем при передаче линиями переменного тока. Потери могут быть снижены вплоть до 3% на 1000 километров сети, при применении подходящего преобразовательного оборудования, а так же правильно подобранном номинальным напряжением. Передача энергии высоковольтными линиями постоянного тока, позволяет с наибольшей эффективностью передавать энергию от удаленных источников.

ЛЭП постоянного тока будет эффективнее чем ЛЭП переменного тока, в таких случаях:

- Если требуется передача энергии напрямую от ЭС к потребителю, в удаленные районы.

- Если требуется увеличить пропускную способность уже имеющейся энергосистемы, но установка ЛЭП переменного тока экономически нецелесообразна или сложна.

- Если необходимо уменьшение стоимости линии, за счет уменьшения количества проводников, либо использования более тонких проводников, ввиду того что линии постоянного тока не подвержены поверхностному эффекту.

- Если осуществляется передача электроэнергии между системами, которые используют разные стандарты напряжения или частоты переменного тока.

- Для синхронизации энергии, производимой возобновляемыми источниками, с сетью переменного тока.

- В случае передачи энергии под водой, по кабелю, имеющему довольно высокую емкость, использование переменного тока приведет к потерям на реактивную мощность, поэтому выгоднее использование постоянного тока.

Высоковольтная ЛЭП постоянного тока может передавать большую мощность по проводнику, потому что для данной номинальной мощности постоянное напряжение в линии постоянного тока ниже, чем амплитудное напряжение в линии переменного тока.

Так как в линии постоянного тока есть возможность передачи энергии между несинхронизированными распределительными системами переменного

го тока, появляется возможность увеличить устойчивость системы, препятствуя распространению аварии с одной части энергосистемы на другую.

Изменения в нагрузке, приводящие к десинхронизации отдельных частей электрической сети переменного тока, не будут влиять на работу линий постоянного тока, а переток мощности по линии постоянного тока будет стабилизировать электрическую сеть переменного тока. Так же путем изменения направления и величины перетока мощности по линии постоянного тока, можно регулировать и поддерживать необходимое состояние электросетей переменного тока на обоих концах линии [5].

Главный недостаток высоковольтных ЛЭП постоянного тока, это необходимость преобразовывать переменный ток в постоянный вначале линии, а затем обратно в конце. Для этой цели используются специальные преобразовательные устройства, которые, фактически являются уникальными для каждой отдельной линии. Поэтому, преобразователи тока имеют высокую стоимость.

Так же использование линий постоянного тока на малые расстояния будет неэффективно, потому как потери в преобразователях могут превысить потери в аналогичной линии переменного тока.

Заключение

В результате изложенного можно сделать вывод, что самый оптимальный способ повышения эффективности электропередачи, является замена ЛЭП переменного тока на ЛЭП постоянного тока, в то время как линии постоянного тока функционируют во многих странах [4].

Для проверки эффективности применения ЛЭП постоянного тока в данной работе выбраны четыре участка различные по протяженности: первый участок длиной 282 км, второй участок 222 км, третий участок 77,4 км и четвертый участок 19 км.

В ходе расчетов выявлено, что замена ЛЭП переменного тока на ЛЭП постоянного тока, если брать во внимание лишь потери напряжения, будет целесообразна на всех участках, потому что потери при передаче энергии постоянным током не имеют индуктивной составляющей, следовательно, будут меньше.

Однако, для того чтобы использовать линии электропередач постоянного тока, необходима установка дополнительного преобразовательного оборудования (понижающие и повышающие подстанции, выпрямители и инверторы). Это оборудование является дорогим, и при малой длине ЛЭП, модернизация сети будет экономически невыгодна.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что использование ЛЭП постоянного тока для передачи энергии является более эффективным, чем ЛЭП переменного тока. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых линий электропередач, работающих на постоянном токе, либо для модернизации уже имеющихся линий большой протяженности.

Библиографический список

1. И. И. Алиев, Энергосберегающая однопроводная ЛЭП, Журнал Энергобезопасность и Энергосбережение, 2011.
2. Основные сведения о системах электроснабжения объектов // URL: <https://infopedia.su/1x340.html> (дата обращения: 17.12.2020).
3. Roberto Rudervall, J.P. Charpentier, Raghuvveer Sharma, High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Systems Technology Review Paper, Energy Week 2000, Washington, D.C, 2000.
4. Шклярский Я.Э., Соловьев С.В., Сравнение эффективности передачи электроэнергии на примере ЛЭП постоянного и переменного тока, Технические науки, 2016.
5. Высоковольтная линия постоянного тока // URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Высоковольтная_линия_постоянного_тока (дата обращения: 16.12.2020).

УДК 622.64

ТРУБЧАТЫЕ КОНВЕЙЕРА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Мысак Е.А.

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

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

Конвейерные системы представляют собой совокупность конвейеров одного или разных типов, погрузочно-разгрузочных и перегрузочных устройств, накопителей и устройств автоматического управления.

Ключевые слова: трубчатые ленточные конвейеры,

Трубчатые ленточные конвейеры (ЛТК) используются не только как самостоятельные транспортирующие установки, но и как элементы технологических линий на производстве. Особенность конвейера заключается в том, что лента сворачивается в трубу, её края образуют в верхней части трубы зону перекрытия.

По сравнению с обычными ленточными конвейерами трубчатые конвейеры имеют следующие преимущества: возможность пространственной конфигурации трассы конвейера с перегибами в горизонтальной и вертикальной плоскости одновременно; улучшение условий движения ленты по ставу за счет трубчатой формы; герметичность; при необходимости транспортирование груза одновременно на верхней и нижней ветви контура ленты конвейера; отсутствие воздействия на окружающую среду, возможность

транспортировки материала с любым углом естественного откоса и фракционным составом до 80 мм под углом вплоть до 90° [1].

Недостатки ЛТК: высокая стоимость; сложный монтаж и предпусковая отладка.

В последние годы ЛТК успешно применяются не только для транспортирования цемента, зерна, руды кальция и алюминия, медного концентрата и других сыпучих материалов, но и в горнодобывающей промышленности, в том числе и в подземных условиях.

Так, например, трубчатый ленточный конвейер ВС-8 фирмы «Continental Industry Contitech» (Германия) установлен в горах штата Юта США, шахта Skyline Mine, представляет собой одно из самых известных в мире инженерных решений для транспортирования груза с использованием технологии трубчатых конвейеров. Резинотросовая лента шириной 1600 мм и внешним диаметром трубы 452 мм, система ВС-8 транспортирует 1270 т/ч со скоростью 4,18 м/с [2].

Чаще всего ЛТК используют на предприятиях Индии, один из наиболее мощных трубчатых конвейеров в мире разработала фирма «СКИТ» из ЮАР, для индийской горного предприятия Birla Corper. Конвейер имеет длину 3,2 км и производительность 1800 т/ч. Ширина конвейерной резинотросовой ленты 1650 мм при диаметре трубы, движущейся со скоростью 4,5 м/с [3].

Трубчатые скребковые конвейера имеют трассы разнообразной конфигурации в вертикальной и горизонтальной плоскостях и в пространстве. Повороты в горизонтальной и вертикальной плоскостях обеспечиваются поворотными блоками, звездочками или криволинейными участками трубы.

Преимущества трубчатых скребковых конвейеров: простота конструкции, герметичность, возможность применения стандартных труб и цепей, разнообразие трасс перемещения, высокий процент заполнения.

Недостатки трубчатых скребковых конвейеров: повышенный износ скребков и трубы.

Ленточные вертикальные и горизонтальные конвейера, ковшевые и ленточные элеваторы производит фирма CINTASA S.A. Их вертикальные ленточные конвейеры ТЕВ позволяют безопасно транспортировать материалы на различные высоты. Угол транспортировки материала до 90°. Области применения: горно-шахтная промышленность, цементные и металлургические заводы, строительство метро, туннелей, добыча полезных ископаемых и т. д. Возможно комбинация горизонтального и вертикального конвейера.

Еще один европейский производитель конвейерных лент - Gummilabor Spa (Италия). Их серия GUMMIBORD представляет собой конвейерную ленту с волнообразными боковыми стенками (гофроборт) и поперечными планками (захваты) для удержания транспортируемого материала под углом от 0 до 90 [4].

В качестве тягового органа используется транспортерная лента с гофробортами и перемычками, высота и размеры которых зависят от характеристик транспортируемого продукта (рисунок 1). Используются в горной, до-

бывающей, угольной, химической и других отраслях промышленности [5].



Рисунок 1 – Транспортная лента с гофробортами и перемычками

Гофроборты (боковые гофрированные стенки) изготавливается из высокоэластичной и особопрочной резины, что обеспечивает превосходную гибкость, высотой от 40 до 140 мм, сопротивление знакопеременным деформациям и долговечность лент, можно использовать на многих видах транспортеров, чтобы предотвратить ссыпание продукции с ленты. Перемычки изготавливаются из монолитной резины, высотой от 40 до 120 мм. Использование лент с гофробортом позволяет предотвратить просыпание или перекачивание материала.

Преимущества ленты с гофробортами: большая производительность и отсутствие потерь сыпучих продуктов по краям ленты; может использоваться на конвейерах с разными углами наклона, вплоть до вертикальных [6].

Как альтернативный способ скиповым подъемам в горнодобывающей промышленности, предлагается использовать вертикальную конвейерную ленту с гофробортами сложного профиля для транспортирования горной массы на поверхность.

Библиографический список

1. Верхозин С.С. Современные конвейерные системы и практика применения // Золотодобыча. - 2016.

2. CONTI PIPE Высокоскоростные трубчатые ленты для крутых поворотов и высокой производительности // Continental industry URL: <https://www.continental-industry.com/getmedia/a0715082-c0ec-4600-890e-e26e4f1ced76/CBG9016-Ru-Conti-Pipe.pdf> (дата обращения: 08.04.2021).

3. Hinterholzer S., Kessler F. and Grabner K. again published in Bulk Solids Handling November 2001, pp. 43-46.

4. Конвейерные ленты GUMMILABOR // Сибирский конвейерный центр URL: <http://www.sibkc.ru/catalog/2531032/2398467/2398494/> (дата обращения: 08.04.2021).

5. Крутонаклонный конвейер с лентой с гофробортом // НПО Аконит
URL: <https://www.npoakonit.ru/product/krutonaklonnyy-konveyer-s-lentoy-s-gofrobortom> (дата обращения: 08.04.2021).

6. Конвейер ленточный с гофробортами // Проект плюс URL:
<https://www.конвейер-м.рф/конвейер-ленточный-с-гофробортами/> (дата обращения: 08.04.2021).

УДК 622.235.5:004.94

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ВВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АСУ БВР
DILLMANAGER И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ГЕОМИКС БВР В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА
«МЕЖДУРЕЧЕНСКИЙ»**

Шолохов В.Э.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: vladislav.sholohov137@gmail.com*

В статье рассмотрены вопросы оптимизации расхода ВВ в условиях разреза с применением АСУ БВР DrillManager и программного комплекса Геомикс БВР.

Ключевые слова: автоматизированная система управления буровзрывными работами (АСУ БВР), взрывчатые вещества (ВВ), буровзрывные работы (БВР).

Разрез «Междуреченский» введен в эксплуатацию в 1964 году. В настоящее время горняки ежегодно добывают 10 млн. тонн ценных, востребованных на мировом рынке марок угля.

Текущие буровзрывные работы. При бурении приняты 3 буровых станка ЗСБШ-200-60 диаметр скважин 215,9 мм, угол наклона скважины 75-900, глубина скважин до 4 5 м и 7 шт. DML LP 1200 диаметр скважин 215,9 мм, угол наклона скважины до 300, глубина скважин 18,3 м.

Взрывание осуществляется методом скважинных зарядов с применением неэлектрической системой взрывания СИНВ.

При ведении взрывных работ на разрезе применяются следующие взрывчатые вещества: Эмулит ПВВ-В, Эмулан ПВВ-А-70.

Зарядка скважин производится специальными зарядными машинами КамАЗ.

В качестве средств инициирования применяются: ИСКРА-П, ИСКРА-С, ИСКРА-Старт Ш, ДШМ Э детонирующий шнур: ДШМ Э, ИСКРА-П 67-10, ИСКРА-П 42-8 для зарядки скважин и монтажа взрывной сети.

Из данных предоставленных на предприятии получаем:

Удельный расхода ВВ составляет: 1 кг/м^3
 Диаметр скважин: 215,9 мм
 Величина перебура: 0 м
 Наименование ВВ: Эмулан ПВВ-А-70: Эмулит ПВВ-В
 Наименование средств инициирования: ИСКРА-С, ИСКРА-Старт Ш,
 ИСКРА-П
 Расстояние между скважинами в ряду: 6 м
 Расстояние между рядами скважин: 5 м
 Способы инициирования зарядов, взрывной сети: неэлектрическое, ко-
 ротко замедленное, с применением ИСКРА-П
 Предполагаемый расход взрывчатых веществ: 31350 кг.
 Количество скважин: $N_{\text{скв}}=57$ шт.
 Конструкция скважинного заряда показана на рисунке 1.
 Текущие параметры взрывных работ на блоке представлены в таблице 1.

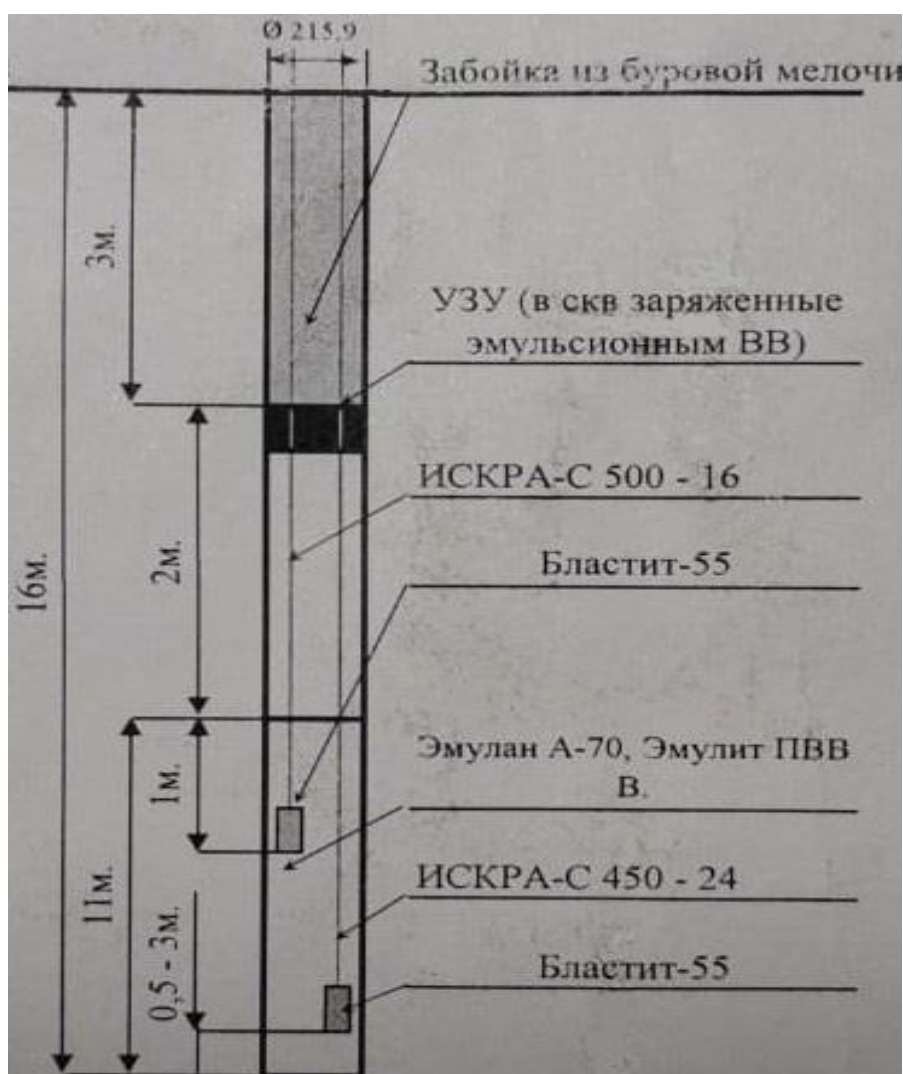


Рисунок 1 – Конструкция скважинного заряда

Таблица 1 – Текущие параметры взрывных работ на блоке

№ скважины	Диаметр скважины, мм.	Глубина скважины, м.	Перелоб, м.	Линия сопротивления по подошве, м.	Расстояние между скважинами, м.	Расстояние между рядами, м.	Масса заряда в скважине, кг.	Длина забойки, м.
1-57	215,9	16.0	0	3.0	6.0	3.0	550.0	3.00

Масса скважинного заряда на обуреваемом блоке при бурении шестнадцати метровых скважин в количестве 57 штук составила 31350 кг.

Среднее значение массы скважинного заряда составляет, кг:

$$Q_{\text{общ}} \times N_{\text{скв}} = 31350 \div 57 = 550 \text{ кг} \quad (1)$$

Отсюда получаем, что на одну скважину требуется 550 кг.

АСУ БВР DrillManager и программный комплекс Геомикс БВР. Позволяет бурить взрывные скважины в точном соответствии с планом, поэтому результатом взрывных работ будет надлежащее разрушение пород с минимальным выбросом при взрыве.

Процесс бурения отображается на бортовых мониторах в режиме реального времени. Оператор и диспетчер получают данные о текущей глубине, проектной глубине, угле наклона буровой мачты, скорости проходки при бурении и другую важную информацию (рисунок 2 и 3).

Целью внедрения АСУ БВР DrillManager и программный комплекс Геомикс БВР является:

1. Высокоточное бурение.
2. Значительное снижение расхода взрывчатых веществ.
3. Оптимизация выполнения работ.
4. Повышение качества взорванной массы.

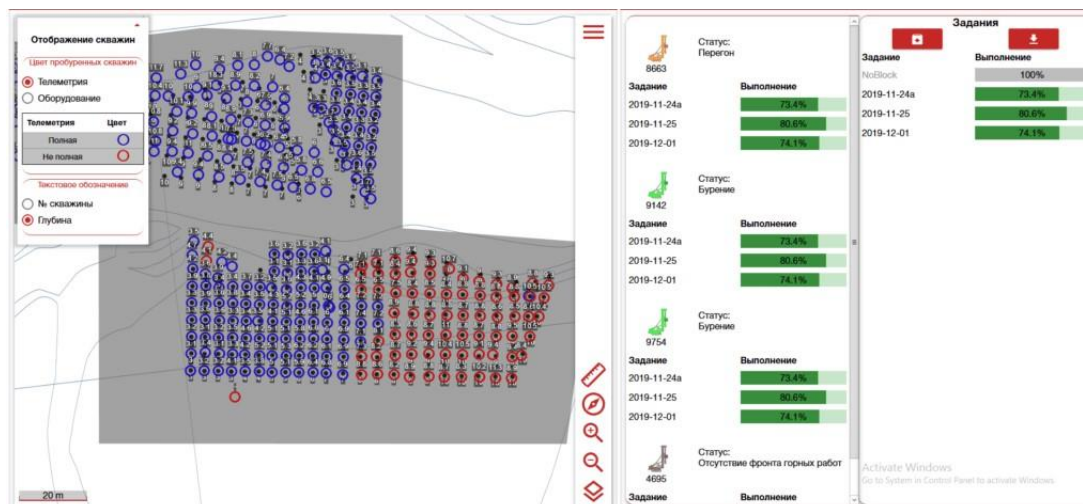


Рисунок 2 – Отображение процесса бурения на мониторе у диспетчера

Данная цель достигается тем, что оператор станка получает проект непосредственно из офисного программного обеспечения, что уменьшает зависимость от затратных по времени маркшейдерских съемок и разметок (рисунок 3).

DrillManager и программный комплекс Геомикс БВР отслеживает скорость бурения, глубину до цели, прошедшее время и другие ключевые параметры. Эти данные в режиме реального времени позволяют обнаруживать участки твердых пород и другие геологические особенности, поэтому планы взрывных работ можно оперативно адаптировать.

Решаемые задачи:

- сокращение объема маркшейдерских работ на блоке за счет системы навигации и цифровых проектов;
- повышение производительности в темное время суток и при сложных погодных условиях;
- увеличение выхода взорванной массы надлежащего качества на 8% в результате автоматического формирования сетки бурения;
- уменьшение расхода взрывчатых веществ на 7 % благодаря учету данных телеметрии по блокам;
- увеличение производительности буровых установок на 3 % из-за оптимизации простоев и повышения скорости навигации;
- повышение производительности экскаваторов и снижение затрат до 6% за счет качественного дробления породы и улучшения гранулометрического состава.



Рисунок 3 –Отображение процесса бурения у оператора станка

Выводы. С применением АСУ БВР DrillManager и программного комплекса Геомикс БВР испытания показали, что при взрывании с использованием высокоточного GPS-позиционирования, заряд был уменьшен в среднем на половине скважин, так как глубина скважин варьируется при обурировании одного блока от 10 до 16 м. Это происходит благодаря учету данных теле-

метрии по блокам в режиме реального времени. АСУ БВР DrillManager и программный комплекс Геомикс БВР позволяют нам обнаружить участки пород с различными физико-механическими свойствами и другими геологическими особенностями в пределах одного обуриваемого блока (рисунок 4), тем самым сократить глубину скважины и, следовательно, уменьшить количество ВВ в этих скважинах. Расход взрывчатых веществ в данном случае уменьшается на 7 %.

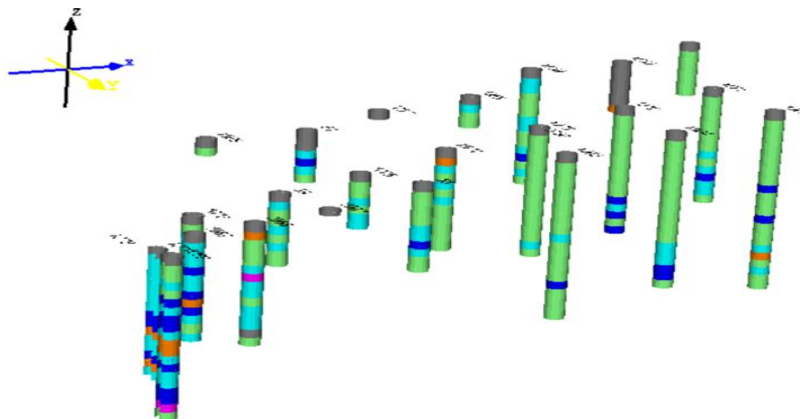


Рисунок 4 – Учет данных телеметрии по обуриваемому блоку

Параметры взрывных работ на блоке представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры взрывных работ на блоке после внедрения АСУ БВР DrillManager и программного комплекса Геомикс БВР

№ скважины	Диаметр скважины, мм	Глубина скважины, м	Перебур, м	Линия сопротивления по подошве, м	Расстояние между скважинами, м	Расстояние между рядами, м	Длина забойки, м	Масса заряда в скважине, кг
1-13	215,9	16	0	3	6	3	3	550
14	215,9	12	0	5	6	5	3	350
15-27	215,9	16	0	5	6	5	3	550
28-30	215,9	15	0	5	6	5	3	500
31	215,9	14	0	5	6	5	3	450
32	215,9	12	0	5	6	5	3	350
33	215,9	14	0	5	6	5	3	450
34	215,9	15	0	5	6	5	3	500
35-37	215,9	16	0	5	6	5	3	550
38	215,9	10	0	5	6	5	3	200
39-40	215,9	16	0	5	6	5	3	550
41	215,9	15	0	5	6	5	3	500

Продолжение таблицы 2

№ скважины	Диаметр скважины, мм	Глубина скважины, м	Перебур, м	Линия сопротивления по подошве, м	Расстояние между скважинами, м	Расстояние между рядами, м	Длина забойки, м	Масса заряда в скважине, кг
42	215,9	14	0	5	6	5	3	450
43-44	215,9	12	0	5	6	5	3	350
45	215,9	14	0	5	6	5	3	450
46	215,9	15	0	5	6	5	3	500
47-48	215,9	15	0	5	6	5	3	550
49	215,9	10	0	5	6	5	3	250
50-53	215,9	16	0	5	6	5	3	550
54	215,9	13	0	5	6	5	3	400
55-56	215,9	12	0	5	6	5	3	350
57	215,9	14	0	5	6	5	3	450
Итого:								28550

Расход ВВ после внедрения АСУ БВР DrillManager и программного комплекса Геомикс БВР на обуреваемом блоке при бурении скважин разной длины в количестве 57 шт. составила 28550 кг.

Экономия ВВ на обуреваемом блоке составляет:

$$Q_{\text{тек}} - Q_{\text{с АСУ}} \quad (2)$$

$$31350 - 28550 = 2800 \text{ кг.}$$

Отсюда получаем экономию приблизительно 9 % с обуреваемого блока:

Цена за ВВ \approx 30000 руб. за тонну

Отсюда получаем:

$$2800 \times 30000 \approx 84000 \text{ тыс. рублей.}$$

Библиографический список

1. АСУ БВР DrillManager и программный комплекс Геомикс БВР. Режим доступа: <http://rit-it.com/reshenija/burovzryvnoj-kompleks/dm/>.
2. Ржевский В.В. Открытые горные работы: Учебник для вузов. Ч. 1, 1.- м.: Недра, 1985.-215 с.
3. Буровзрывные работы на угольных разрезах. под редакцией Н.Я.Репина, М., Недра, 1986 г.
4. Проектирование взрывных работ на угольных разрезах. А.С.Ташкинов, В.И.Кузнецов, Кемерово, 1995г.
5. Методическое руководство по выбору схем ведения взрывных работ на угольных разрезах с учетом физико-механических свойств пород и использования средств механизации. НИИОГР, Челябинск, 1981г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ГОРОДЕ НОВОКУЗНЕЦКЕ

Агеев Д.А., Ворсина А.М.

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассмотрена проблема загрязнения снежного покрова города Новокузнецка. Представлены сведения о крупных предприятиях, выбросы которых оказывают неблагоприятное влияние на окружающую среду города, представлены вещества, содержащиеся в снежном покрове, отобранного в поселке Куртуково, рядом с ОАО “КМК”, а также близ ОАО “Кузнецкие ферросплавы”. Результаты исследования представлены в форме таблицы и диаграммы.

Ключевые слова: окружающая среда, снежный покров, влияние на окружающую среду, загрязнения.

Город Новокузнецк – это промышленный центр Кемеровской области с крупными предприятиями черной и цветной металлургии, горной промышленности, теплоэнергетики, которые оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду. По данным отчета о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области к основным загрязнителям атмосферного воздуха г. Новокузнецка относятся такие предприятия, как: ОАО «ЕВРАЗ», объединенный ЗСМК, ОАО “КМК”, ОАО «Кузнецкие ферросплавы», ОАО ЦОФ «Кузнецкая», ОАО ЦОФ «Абашевская», ОАО «Завод Универсал», ОАО «Кузбассэнерго» филиал «Кузнецкая ТЭЦ», ОАО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод», а также автомобильный транспорт [1-4].

Пробы снега отбирались в Центральном районе рядом с Кузнецким Металлургическим Комбинатом (КМК), в Кузнецком районе около предприятия Кузнецкие ферросплавы и в Новокузнецком районе пос. Куртуково. Отбор проводился единовременно (04 апреля 2021 г.) непосредственно перед началом снеготаяния. Точки отбора проб указаны на рисунке 1.

Результаты химического анализа снеговой воды, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что по большинству рассматриваемых параметров соответствующие данные имеют меньшие значения, чем величины предельно-допустимых концентраций (ПДК). Исключение составляет лишь количество азота аммонийного из пробы снега, взятого в поселке Куртуково, которое превышает уровень ПДК в 4 раза.

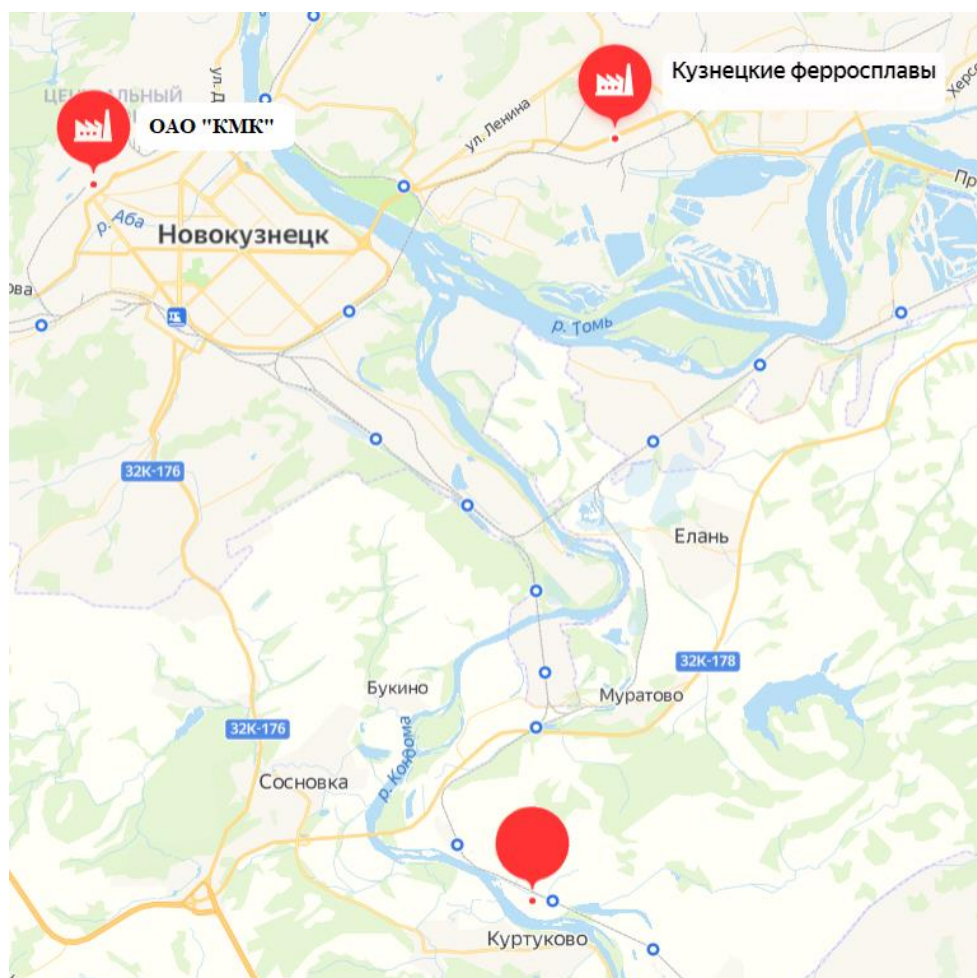


Рисунок 1 – Карта с указанными точками отбора проб снега

Таблица 1– Результаты химического состава снеговой воды

Дата отбора: 05.04.2021	ОАО “КМК”	Кузнецкие ферросплавы	пос. Куртуково	ПДК
рН	6,42	6,77	5,2	
Сульфат-ион, мг/л	3,3	3,7	4,6	100,0
Азот аммонийный, мг/л	0,68	0,52	1,48	0,4
Азот нитритный, мг/л	0,057	0,027	0,018	0,020
Азот нитратный, мг/л	0,177	0,209	0,292	9,0
Фторид-ион, мг/л	0,21	0,49	Менее 0,09	0,05+фон
Железо общее, мг/л	0,155	0,129	0,234	0,1

Для сравнения показателей химического состава снеговой воды, отобранной в Центральном районе рядом с Кузнецким Metallургическим Комбинатом (КМК), в Кузнецком районе около предприятия Кузнецкие ферросплавы и в Новокузнецком районе пос. Куртуково, данные из таблицы 1 представлены в форме диаграмм, рисунки 2-4.

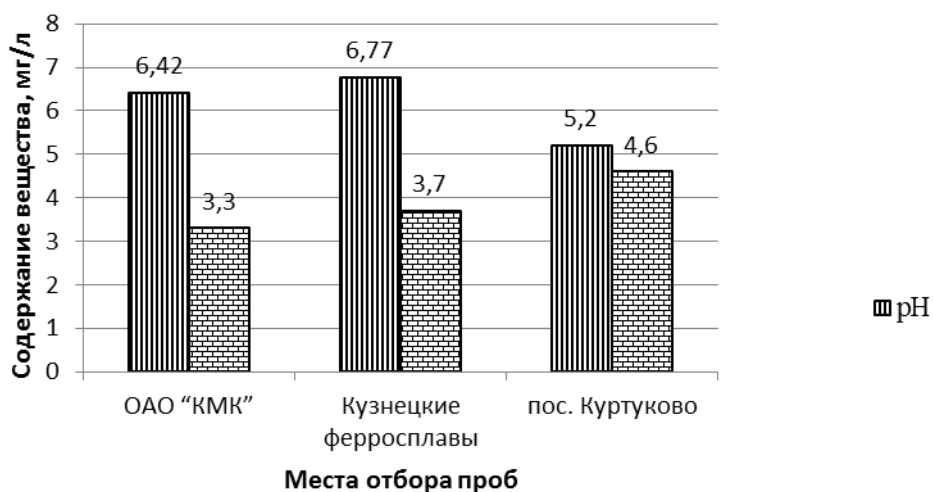


Рисунок 2 – Содержание *pH* и *сульфатов* в талой воде снега

Закисленность осадков (водородный показатель *pH*) снежного покрова в нашем эксперименте (см. рисунок 2) во всех пробах в пределах от 5,2 до 6,77 ед. То есть *pH* снеговой воды ближе к *pH* чистых атмосферных осадков – *pH* 5,5-6,5 ед. Анализ результатов проб показывает, что несмотря на основной вклад в минерализацию снеговой воды сульфат-иона и фторид-иона, закисления снеговой воды не происходит, реакция среды характеризуется как слабощелочная.

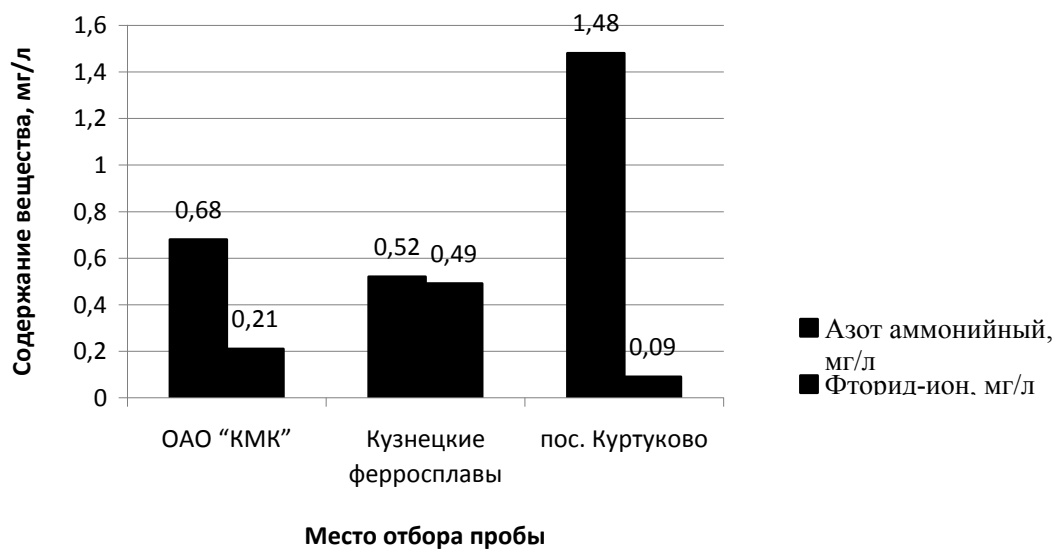


Рисунок 2 – Содержание азота аммонийного и фторидов в талой воде снега

Содержание фторидов в пробах, взятых около промышленных объектов высокое и превышает ПДК от 4 до 9 раз, рисунок 2. Из проведенного анализа следует, что доля фторид-иона, содержащаяся в снежном покрове, в поселке Куртуково ниже, чем около заводов КМК и Кузнецкие ферросплавы.

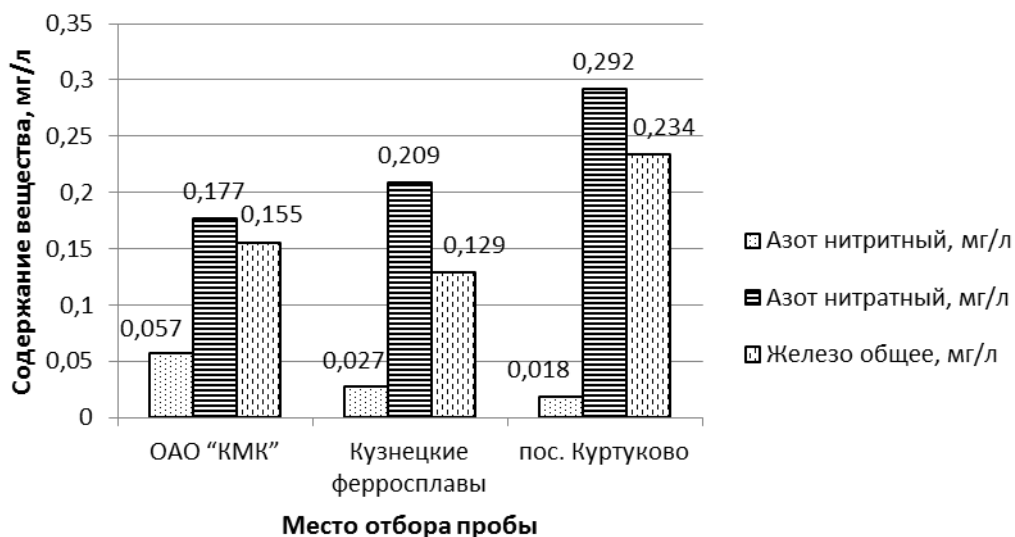


Рисунок 3 – Сравнительная диаграмма содержание азота нитритного, азота нитратного и железа общего в снежном покрове

Доля сульфат-ион, доля азота аммонийного и доля азота нитратного, содержащаяся в снежном покрове, в поселке Куртуково выше, чем около заводов КМК и Кузнецкие ферросплавы.

Таким образом, мы пришли к выводу, что действительно состав воздуха, и окружающая среда оказывают влияние на качество снега. В данном случае влияние частного сектора в поселке Куртуково на атмосферу.

С целью сокращения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, рекомендуется промышленным предприятиям осуществлять комплекс мероприятий по охране недр и окружающей среды направленных на:

- создание и внедрение малоотходных и безотходных технологий;
- тушение горящих породных отвалов и предупреждение их самовозгорания;
- оснащение источников промышленных выбросов в атмосферу пыле- и газоулавливающими установками.

Частному сектору рекомендуется перейти на газовое отопление.

Библиографический список

1. Исследование гранулометрического состава наногазозагрязнителей в снеговом покрове г. Новокузнецка методом динамического рассеяния света. [Электронный ресурс]: режим доступа: Dvoeglazova_Kasyanova_Efimova.pdf (kuzstu.ru).

2. Новокузнецке по снежному покрову / Кузнецова Е.А., Горбунова А.Р., Павелко Т.С. Никитина Д. Ю. // 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. 346-350. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

3. Исследование качества воды города Новокузнецка / Павелко Т.С., Кузнецова Е.А., Горбунова А.Р., Павлов Д.С. // 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. 340-344. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

4. Исследование качества водных объектов и снежного покрова города Новокузнецка / Н. В. Шарипова, Я. А. Богданова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 4. Естественные и технические науки. – С. 356-362. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

УДК 622.864:622.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Альвинский Я.А.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

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

В данной статье рассматривается проблема высоких затрат на проветривание горных выработок рудников в условиях крайнего севера, предложены способы снижения затрат, оптимизации режимов вентиляции и внедрение систем аэрогазового контроля.

Ключевые слова: вентиляция, вентиляторные установки, аэрогазовый контроль, калориферные установки, газовые калориферные установки.

Алмазная отрасль в России сталкивается с большими проблемами при обработке месторождений Якутии: длительный период отрицательных температур, средняя продолжительность безморозного периода составляет 50-60 дней; сложные горно-геологические и горнотехнические условия. Период положительных среднесуточных температур достигает 130 дней в году, хотя температура может опускаться ниже 0 °С на долгое время даже в самые теплые летние месяцы. Такие погодные условия значительно увеличивают затраты на поддержание температуры в подземных горных выработках алмазных рудников [1].

Целью работы является – оптимизация работы вентиляции рудников за счет снижения затрат на поддержание температуры в горных выработках в

условиях вечной мерзлоты крайнего севера.

Решение проблемы можно рассмотреть на примере оптимизации вентиляции рудника «Удачный», расположенного на севере республики Саха.

Кимберлитовая трубка «Удачная» расположена на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и территориально относится к Мирнинскому району (рисунок 1) [1].

Отработка кимберлитовой трубки на начальном этапе производилась открытым способом, и затем перешла в подземный рудник из-за большой глубины карьера. Кимберлитовая трубка и вмещающие породы имеют высокую трещиноватость и множество пустот.



Рисунок 1 – Рудник «Удачный»

Большая часть пустот рудного тела и вмещающих пород заполнены рассолами и нефтебитумами, обладающими высокой газонасыщенностью и тем самым, затрудняют проветривание. Углеводородные газы, в том числе и метан встречающиеся в рассолах рудника не несут промышленного значения.

Исходя из геологических условий, норм проветривания, а также содержания метана в исходящей струе, можно сделать заключение о нерациональном существующем режиме работы вентиляции в руднике «Удачный». Нормы проветривания завышены с целью обеспечения безопасности работ в руднике из-за возможных внезапных выбросов газа. Завышенные скорости потока воздуха значительно увеличивают затраты на обогрев выработок. Также, в связи с трещиноватостью рудопородной подушки, часть затрат на вентиля-

цию вызвана большими потерями из-за значительных утечек воздуха.

Для оптимизации режима вентиляции предлагается создать электронную систему аэрогазового контроля (рисунок 2) [2-4]. Система позволит регулировать поток воздушных масс и снизить затраты на обогрев, за счет снижения скорости потока воздуха до минимальных, необходимых для обеспечения безопасности показателей. Так же система аэрогазового контроля обеспечит безопасность в случае возникновения внезапного выброса газа за счет увеличения объема подаваемого воздуха. Главным преимуществом системы является возможность секционного проветривания и индивидуального подбора режима для каждой проходческой или очистной выработки, в зависимости от условий и выбросов углеводородных газов.



Рисунок 2 – Принципиальная схема системы газового контроля

Как дополнение к системе аэрогазового контроля, предлагается к внедрению комплекс датчиков запыленности, который позволит контролировать уровень пыли в выработках после проведения взрывных работ. Данное дополнение поможет индивидуализировать режим проветривания тупиковых выработок и уменьшить время простоя.

Так же, предлагается заменить электрические калориферные установки на газовые калориферы, что существенно снизит затраты на обогрев горных выработок. При сжигании одного кубического метра природного газа выделяется до 10 кВт энергии, что значительно дешевле 10 кВт электроэнергии.

Таким образом, применение комплекса предложенных мер позволит снизить расходы на обогрев горных выработок и вентиляцию в целом, а также повысит уровень безопасности. В свою очередь, снижение затрат приведет к снижению себестоимости продукции рудника и позволит создать более комфортные условия работы за счет развития инфраструктуры предприятия.

Библиографический список

1. Исследование температурного режима массива горных пород борта карьера «Удачный» в районе расположения вентиляционных скважин / Курилко А.С. [и др.] // ГИАБ. 2012. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-temperaturnogo-rezhima-massiva-gornyh-porod-borta-kariera-udachnyu-v-rayone-raspolozheniya-ventilyatsionnyh-skvazhin>.
2. Маликов Ю.О. Шахтный аппаратно-программный комплекс "Горизонт" для решения задач позиционирования, горно-подземной радиосвязи и промышленной автоматизации / Ю.О. Маликов, В.А. Васильев // Горная промышленность. 2019. №1 (143). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shahtnyu-apparatno-programmnyu-kompleks-go-rizont-dlya-resheniya-zadach-pozitsionirovaniya-gorno-podzemnoy-radiosvyazi-i-promyshlennoy>.
3. Обоснование аэрогазодинамических параметров угольной шахты в условиях возникновения экзогенного пожара с использованием программного комплекса "вентиляция 2.0" / Д. А. Киселев, Д. Е. Елхимов, С. В. Риб, А. М. Никитина // 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. 66-70.
4. Домрачев А.Н. Адаптация методов оценки риска обрушения подземных горных выработок к условиям шахт юга Кузбасса / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2016. – № 4. – С. 81–90.

УДК 622.831

АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ НА ШАХТАХ КУЗБАССА И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Белкина О.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: olga.belkina.98@bk.ru*

В последнее время наблюдаются динамические явления, инициированные природными сейсмособытиями, которые по своим проявлениям не подходят под общепризнанные классификации. При этом прогноз динамических явлений базовым методом зачастую неэффективен для идентификации признаков опасности на ранней стадии.

Ключевые слова: геодинамические явления, горные удары, способы борьбы с горными ударами.

Наиболее сложной и важной проблемой при разработке глубокозалегающих месторождений является борьба с возрастанием напряжений в горном массиве, вызываемым увеличением давления вышележащей толщи пород. В определенный момент эти напряжения могут превысить прочность пород, которые начнут разрушаться с выделением значительной энергии. Происходит динамическое проявление горного давления в виде так называемого горного удара, что отрицательно сказывается на разработке полезных ископаемых подземным способом [1].

Целью работы является – анализ причин проявления горных ударов на угольных шахтах Кузбасса и способов борьбы с ними.

На протяжении последних десятилетий проблема предотвращения и профилактики горных ударов является в Кузбассе приоритетной. Переход подземных горных работ на новые технологии и глубины, существенно повысил степень геодинамических и газодинамических рисков, повлиял на самую форму проявления горных ударов, в которой начали преобладать крупные «многоочаговые» зоны удароопасности [2].

Общие геологические и горнотехнические условия подземной добычи угля в Кузнецком бассейне примерно однотипны для всех действующих предприятий и характеризуются сложным тектоническим строением.

Подземная добыча каменного угля при горизонтальном и наклонном залегании пластов, ведется на глубинах 250-300 метров, достигая на отдельных шахтах 600-800 метров от поверхности. С ростом глубины разработки осложняются геологические и горнотехнические условия, возрастает тектоническая напряженность углевмещающих массивов, увеличивается метаноносность угольных пластов, растет горное и газовое давление, что способствует увеличению потенциальной ударо- и выбросоопасности и комбинированных сейсмических и динамических явлений. Все это создает серьезные проблемы в области промышленной и экологической безопасности в Кузбассе и ставит задачу разработки единого комплекса прогнозо-профилактических мероприятий, направленных на снижение опасности динамических явлений.

Серьезным фактором в проявлении динамических и газодинамических явлений, а также явлений промежуточного типа, является наличие геологических аномалий и глубинных разломов в местах проведения горных работ, наличие морфоструктурных признаков, отражающих современные неотектонические процессы [3].

За последние несколько лет на шахтах Кузбасса, вследствие проявления динамических явлений, было смертельно травмировано 10 человек. Статистика динамических явлений, произошедших на угольных шахтах Кузбасса за 2017-2021 год, представлена в таблице 1.

Для предотвращения аварийных ситуаций, вызванных динамическими явлениями, на угольных шахтах Кузбасса проводят мероприятия, направленные на снижение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива.

Таблица 1 - Динамические явления, произошедшие на угольных шахтах Кузбасса за 2017-2021г год

№ п/п	Место происшествия	Дата н/с	Кол-во травм	Вид происшествия	Причины происшествия
1	АО «Распадская-Коксовая» ООО «Распадская угольная компания»	28.04 .17г	нет	Динамическое разрушение массива в почве выработки, с последующим интенсивным пучением и газовыделением в Вентиляционной сбойке 3-1-3 .	Бурение разгрузочных скважин производилось через 14м подвигания забоя вместо 12 метров. Не выдержана ширина выработки вместо 7 метров, по факту – 7,5 м. Не организована приемка выполненных работ по бурению скважин. Нарушение технологии проведения выработки, в части увеличения взятия заходки при выемки угля из забоя до 1,0 м. вместо 0,5м
2	ООО "ОЭУ "Блок №2 шахта "Анжерская-Южная» АВАРИЯ	24.07 .17г	1 см	Внезапный выброс угля и газа, в конвейерном штреке 7-1-5 пл. XXVII . Датчики контроля газа метана зафиксировали 63,79%.	Не осуществлялось бурение веера опережающих разгрузочных скважин в количестве 10 скважин с максимальной длиной согласно паспорту до 20м через каждые 4 метра подвигания забоя. Применение неисправных средств измерения.
3	ООО "Шахта им.С.Д.Тихова"	08.02 .19г	1 см 2 тяж	В лаве 23-1-4 в районе секции крепи 102 произошёл вывал угля с повышенным выделением газа метана.	Низкая эффективность предварительной пластовой дегазации в зоне влияния геологического нарушения в месте произошедшего группового несчастного случая. Отсутствие разгрузочных скважин в месте возникновения ГДЯ, вследствие неэффективного прогноза.
4	Филиал «Шахта «Ерунаковская – VIII» АО "ОУК "Южкузбассуголь"	15.08 .20г	2 см 1 тяж 1 лег	Пучение почвы выработки на вентиляционном штреке 48-7 Лавы 48-7.	Зависание пород основной кровли в выработанном пространстве лавы 48-6. Влияние остаточного опорного давления от незавершившихся процессов сдвигения в контуре лавы 48-6; Склонность пород почвы пластов 48 и 45 к пучению.

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Место происшествия	Дата н/с	Кол-во травм	Вид происшествия	Причины происшествия
5	Шахта «Чертинская-Коксовая» ООО «ММК-УГОЛЬ» АВАРИЯ	14.09 .20г	2 см	Внезапный выброс угля и газа в осевом штреке 553.	Невыполнение «Комплекса мер по борьбе с динамическими явлениями на шахте «Чертинская-Коксовая» на 2020год» в части проведения осевого штрека 553 без прогноза выбросоопасности (подвигание забоя после последнего прогноза 11.09.2020г. составило не менее 7,6м вместо допустимых 4м).
6	ООО «Шахта имени С.Д. Тихова» АВАРИЯ	22.01 .21г	3 см	Внезапный выброс угля и газа при отбойке горной массы в забое конвейерного штрека № 23-1-6 (от наклонных стволов)	Не выполнение «Комплекса мер по прогнозу и предотвращению ДЯ на 2021 год», в части перехода на сотрясательное взрывание и применения поддерживающего типа крепи. Нарушения основных требований при проведении противовыбросных мероприятий (длина прогнозных шпуров была менее 5,5м, а разгрузочных скважин менее 10м).
7	ООО "Шахта "Юбилейная"	14.02 .21г	1 см	Внезапное выдавливание угля в объеме 25,4 м ³ и 1360 м ³ газа на локальном участке при работе проходческого комбайна EBZ-200 в забое конвейерного штрека 16-24бис.	Отсутствие контроля за напряженным состоянием массива угля в забое. Недостаточная разгрузка массива в зоне непрогнозируемого внутрипластового геологического нарушения.
8	АО «Распадская-Коксовая» ООО «Распадская угольная компания»	13.03 .21г	1 тяж	Пучение почвы вентиляционного штрека 3-3-1 бис на высоту до 0,5 метра на протяжении 35 метров от забоя лавы 3-3-1 бис.	Причины происшествия расследуются

Борьба с горными ударами осуществляется в направлении снижения напряженного состояния приконтурного массива путем управления горным дав-

лением и изменения свойств горных пород и перевода их в потенциально неуadroопасное состояние. При этом можно выделить следующие основные методы:

- технологические;
- камуфлетное взрывание;
- увлажнение горных пород;
- бурение разгрузочных скважин;
- использование поверхностно-активных веществ.

Технологические методы состоят в выборе таких параметров разработки месторождений, которые в максимальной степени нейтрализуют опасные последствия горного давления.

Камуфлетное взрывание представляет собой взрывание заряда внутреннего действия без выброса породы. При этом в массиве образуется зона трещиноватости, параметры которой определяются конструкцией и величиной камуфлетного заряда.

Увлажнение горных пород путем предварительного нагнетания воды в удароопасный массив. Жидкость, проникая в трещины, оказывает расклинивающий эффект, способствуя их дальнейшему развитию. Однако перенапряженный удароопасный массив, как правило, не имеет открытых трещин, и проникновение воды в него практически невозможно. В этом случае используют гидроразрыв пород по контактам пластов за счет очень высокого давления нагнетания.

Эффект способа бурения разгрузочных скважин заключается в том, что вокруг скважин, пробуренных в сильно напряженных участках, происходит интенсивное разрушение угля, что обеспечивает разгрузочное действие в массиве угля. Скважины бурят по схеме: в подготовительных забоях и капитальных выработках - по направлению подвигания выработки; при очистных работах - из подготовительных выработок параллельно очистному забою или со стороны очистного забоя. Длина скважин 6-12 м, расстояние между скважинами от 1,5 до 3 м; диаметр 250 мм.

Одним из перспективных направлений борьбы с горными ударами является управление свойствами и состоянием пород поверхностно-активными веществами (ПАВ). Эффективность ПАВ как средства воздействия на свойства горных пород доказана, однако применительно к борьбе с горными ударами они не получили широкого распространения [4]. Необходимо использовать новые методики и комплексы методов для контроля состояния массива и выявления предвестников динамических явлений [5-9].

Таким образом, следует отметить, что борьба с горными ударами является одной из главных проблем, при ведении подземных горных работ на больших глубинах. Для снижения напряжений в массиве следует использовать локальные меры предотвращения динамических явлений, а также способы управления труднообрушаемыми кровлями. Для ввода в действие новых методик и комплексов методов прогноза динамических явлений, а также мер их предотвращения нужно предусмотреть в нормативных документах

порядок и механизм легитимного ввода в действие.

Библиографический список

1. Горный удар // Главгосэкспертиза России URL: <https://gge.ru/analytics/experts/naibolee-slozhnoy-i-vazhnoy-problemoj-pri-razrabotke-glubokozalegayushchikh-mestorozhdeniy-yavlyaets/>.

2. Панин С.Ф., Поляков А.И. Опыт организации сейсмического мониторинга на участке проявления горных ударов на шахте «Алардинская» в Кузбассе / Сборник научных трудов ВНИМИ. СПб., 2012. – С. 50-61.

3. Лазаревич Т.И., Харкевич А.С., Власенко Ю.Н. Характеристика и анализ горнотехнических условий проявления динамических явлений: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2018. - № 4. С. 459-462.

4. Способы борьбы с горными ударами // studwood.ru URL: https://studwood.ru/1193208/geografiya/sposoby_borby_gornymi_udarami

5. Разработка технических и технологических решений по обеспечению безопасной отработки склонных к горным ударам запасов руды на глубине более 600 м // Борзых Д.М., Никитина А.М., Володина А.В. / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. 2020. С. 159-162.

6. Разработка технико-технологических решений по предотвращению горных ударов на угольных шахтах // Е. А. Сорокожердев, С. В. Риб, А. М. Никитина / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 1. Технические науки. – С. 97-100.

7. Использование системы подземного сейсмологического мониторинга на основе сейсмических комплексов типа GITS // С. В. Супонин, А. М. Никитина / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019. С. 101-105.

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

9. Серяков В. М., Риб С. В., Басов В. В., Фрянов В. М. Геомеханическое обоснование параметров технологии отработки угольных пластов в зоне взаимовлияния очистного пространства и передовой выработки // ФТПРПИ. - 2018. - № 6. - С. 21 - 29.

РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ДЕГАЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ООО «ШАХТА «АЛАРДИНСКАЯ»

Болдецкий С.Ю., Никитина А.М., Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: stanislav338@gmail.com*

В данной статье предложены решения по повышению эффективности дегазации угольных пластов в условиях угольных шахт Кузбасса. Для ООО «Шахта «Алардинская» предложен комплексный подход воздействия на угольный пласт б-ба с применением скважин направленного бурения.

Ключевые слова: шахта, дегазация, прогноз газообильности, воздействие на пласт, направленное бурение.

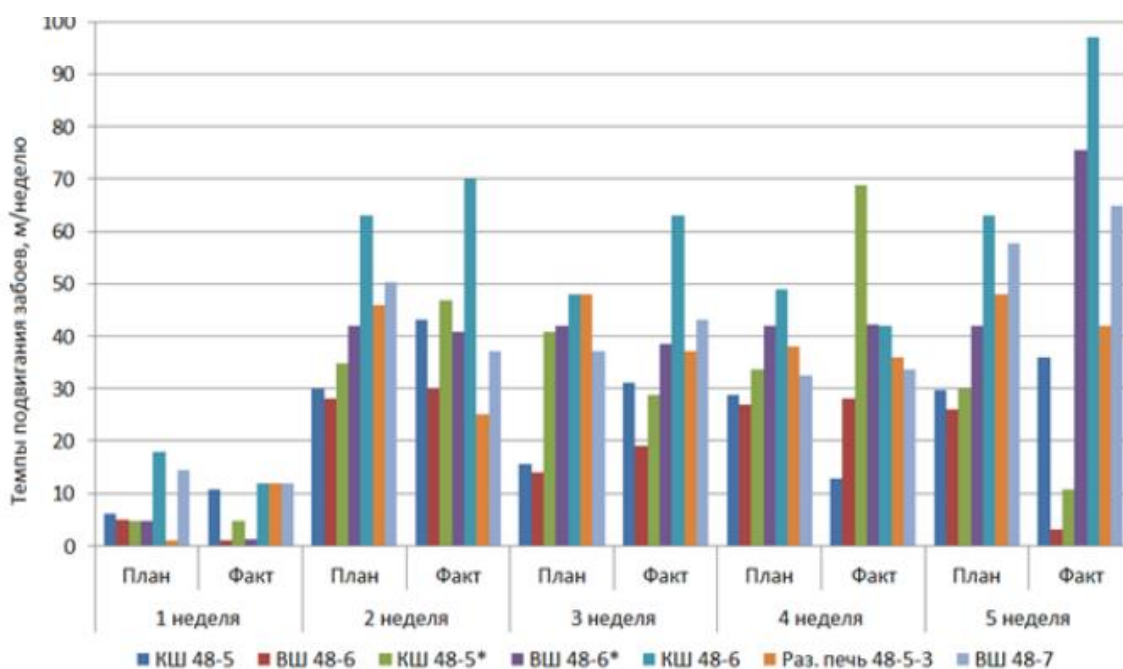
Одной из проблем современных угольных шахт в России и за рубежом является высокая природная метаноносность угольных пластов на глубине более 400 м, которая приводит к выделению метана в количестве более 20 м³/т добытого угля.

Даже с подачей максимального количества воздуха не всегда обеспечивается снижение содержания метана до предельно допустимых концентраций. В настоящее время относительная метанообильность отдельных шахт составляет 100—140 м³/т. В связи с высокой метанообильностью увеличивается опасность работ в шахтах и ограничиваются производственные возможности угледобывающих машин и агрегатов [1-3].

Действующая методика прогноза газообильности базируется на давно устаревших подходах руководства по проектированию вентиляции угольных шахт (МакНИИ, 1989 г.), которые в некоторой степени приемлемы для нагрузок до 4 тыс. т/сут. Уже в настоящее время нагрузки превышают 5-10 тыс. т и достигают 30 тыс. т/сут (шахты ОАО «СУЭК-Кузбасс») и выше.

Поскольку резкое увеличение количества подаваемого на выемочный участок воздуха в условиях действующих шахт невозможно, задача уменьшения газовыделения решается только дегазацией, которая находит широкое применение в угольных шахтах и является неотъемлемым технологическим процессом в добыче угля. Опыт применения дегазации подтверждает технико-экономическую эффективность этого способа борьбы с метаном в горных выработках [4,5].

Установлено, что основная доля простоев подготовительных забоев (67 %) связана с реализацией мероприятий по дегазации углепородного массива и обеспечением регламентированных ПБ параметров шахтной атмосферы. На рисунке 1 показаны гистограммы распределения фактических и плановых темпов подвигания подготовительных забоев на пласте 48 шахты «Ерунаковская VIII», Кузбасс [6,7].



КШ 48-5 – конвейерный штрек 48-5; ВШ 48-6 – вентиляционный штрек 48-6; КШ 48-5* – конвейерный штрек 48-5; ВШ 48-6* – вентиляционный штрек 48-6 (встречный забой); КШ 48-6 – конвейерный штрек 48-6; разрезная печь 48-5-3 – разрезная печь 48-5-3; ВШ 48-7 – вентиляционный штрек 48-7

Рисунок 1 – Графики изменения темпов подвигания подготовительных забоев шахты «Ерунаковская VIII» [7]

Отчетливо проявляется стохастический характер распределения темпов подвигания подготовительных забоев. Отклонения фактических темпов проведения выработок от плановых в среднем по отдельным подготовительным забоям достигают 21 %. Отсюда следует, что техническим службам шахт требуются соответствующие системы контроля и прогноза ситуаций, что требует привлечения новых знаний о газогемеханических процессах, определяющих газовый режим выемочных участков и подготовительных выработок.

Так, для условий ряда шахт даже при эффективности комплексной дегазации 75-80 % для современных нагрузок на очистной забой требуется применение пластовой дегазации с эффективностью не менее 0,2-0,4, что далеко не всегда может обеспечить дегазация, осуществляемая из горных выработок на стадии подготовки и отработки выемочного участка. Дальнейшее совершенствование дегазации в условиях постоянного роста нагрузок на очистной забой свыше определенного уровня для ряда горно-геологических и горнотехнических условий возможно только на базе региональной дегазационной подготовки, в частности, путем заблаговременного извлечения метана из угольного пласта скважинами с поверхности и существенного снижения газоносности последнего до начала ведения основных горных работ.

В этой связи актуальным является исследование существующих и разработка новых способов и средств дегазации угольных шахт при ведении горных работ.

Согласно результатам анализа, применение методов воздействия на угольный пласт и скважин направленного бурения является весьма перспективным.

ООО «Шахта «Алардинская» относится к сверхкатегорным. Пласт 6-ба отнесен к угрожаемым по внезапным выбросам угля и газа с отметки пласта плюс 100 м. По горным ударам пласт 6-ба отнесен к опасным с глубины 300 м.

Для проведения дегазации при подготовке нового выемочного столба по пласту 6-ба с помощью станка направленного бурения на ООО «Шахта «Алардинская»» предлагается следующая схема (рисунок 2).

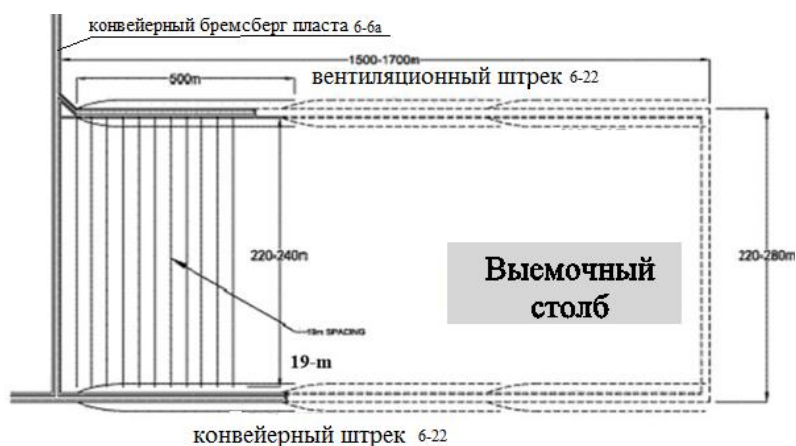


Рисунок 2 - Схема расположения дегазационных скважин, сооружаемых станком направленного бурения

Интенсифицировать процесс газоистощения призабойной части пласта с целью снижения метанообильности предлагается путем проведения с обязательным неснижаемым опережением гидроразрыва пласта 6-ба через барьерные дегазационные скважины (рисунок 3). В представленной схеме проведения гидроразрыва количество скважин может быть увеличено, в том числе за счет скважин, пробуренных из забоя выработки.

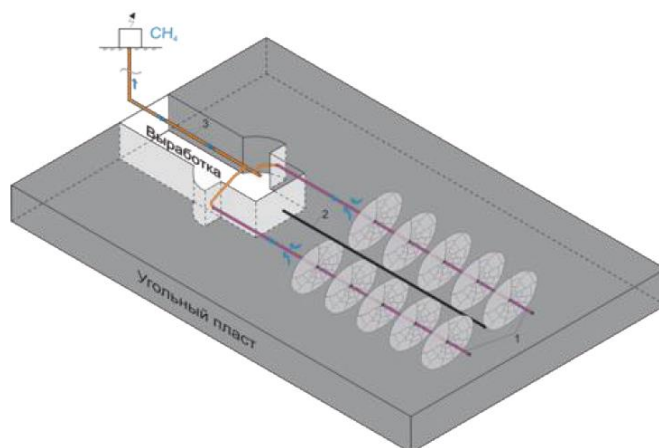


Рисунок 3 – Технологическая схема применения гидроразрыва при проведении подготовительных выработок по пласту 6-ба: 1 – барьерная скважина; 2 – контрольная скважина; 3 – дегазационный трубопровод

Общий процесс проведения мероприятия по выполнению гидроразрыва пласта через барьерные скважины следующий:

1. Бурение контрольной скважины.
2. Бурение барьерных скважин, доставка пакера к забою скважины.
3. Проведение гидроразрыва угольного пласта.

Гидроразрыв считается успешно выполненным, если в результате выполнения гидроразрыва из контрольной скважины началось истечение жидкости.

4. Повторение операции 3 по длине барьерных скважин.
5. Подключение скважин к дегазационному ставу.

Ожидаемый положительный эффект от внедрения технологии гидроразрыва при проведении подготовительных выработок по пласту 6-6а:

- снижение газодинамической опасности;
- повышение темпов подвигания забоя подготовительной выработки.

Данный способ рекомендуется при разработке технических и технологических решений по дегазации в условиях шахт Кузбасса.

Библиографический список

1. 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.

2. Разработка технико-технологических решений по дегазации при ведении горно-подготовительных работ в условиях ОАО «Шахта «Есаульская» / С. А. Зазулин, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 7. Технические науки. - С. 236-241. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

3. Управление газовыделением на выемочных участках шахты «Октябрьская» / А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 4. Естественные и технические науки. – С. 100-103. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

4. 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, 13-15 июня 2018 г. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - Вып. 22. Ч. 3. Технические науки. - С. 27-31.

5. Разработка технологической схемы дегазации угольного пласта скважинами направленного бурения / С.В. Риб, О.А. Козлова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-21 мая 2020 г. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2020. - Выпуск 24. Часть I. Естественные и технические науки. - С. 106-110.

6. Предварительный и оперативный прогноз допустимых нагрузок на очистной забой при интенсивной отработке газоносных угольных пластов / С. В. Сластунов, Г. Г. Каркашадзе, Г. П. Ермак, Е. П. Ютяев // Уголь. - 2015. - № 3. - С. 30-35.

7. Применение современных методов дегазации при отработке пласта 48 в условиях филиала «Шахта «Ерунаковская-VIII» / С. Н. Ширяев, А. М. Никитина, Р. А. Дадынский // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – № 3 (25). – С. 41-46. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

УДК 622.6

ЦИФРОВАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОСНОВНОГО ТРАНСПОРТА АО «БОЛЬШЕВИК»

Братищева А.В., Курдюков М.О., Фурасов А.Н.

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, nastia.bra98@gmail.com*

В статье предлагается цифровая экспериментальная модель системы основного транспорта для угольного предприятия, позволяющая оптимизировать работу предприятия, сократить затраты и минимизировать время простоя горно-шахтного оборудования, а также повысить его надежность и производительность за счет внедрения современных информационных технологий и датчиков работы оборудования.

Ключевые слова: цифровая модель, информационные системы, оптимизация работы предприятия, шахтный транспорт.

На протяжении последних 20 – 25 лет внедрение систем автоматизации производственных процессов на горно-добывающих предприятиях ставится основной задачей. Однако, только в последнее время реальность передачи части или всего объема полномочий в управлении производственным процессом от человека искусственному интеллекту становится весьма реальным.

Поставленные цели достигаются за счет создания цифрового двойника предприятия. При интеграции всех автоматизированных систем предприятия воплощается в жизнь представленный проект цифрового предприятия.

В статье предлагается определить несколько основных этапов цифровой трансформации угольной шахты, соответствующих уровню развития технологии предприятия. На первом этапе необходимо уделить внимание эффективности работы предприятия за счет стабильной и безаварийной работы основного транспорта угольной шахты. Внедрение датчиков и автономных систем диагностики и контроля по результатам математического моделирования приведёт к повышению надежности работы горно-шахтного оборудования, росту производительности работы конвейерного транспорта и увеличению срока наработки оборудования за счет своевременного ремонта и сервисного обслуживания [1-3]. Для реализации проекта "Цифровая шахта" на предприятии АО "Шахта "Большевик" необходимо создание информационных систем управления горным предприятием, которое заключается в трансформации горнодобывающего предприятия, то есть в изменении способов управления предприятием на всех этапах создания стоимости в ходе его основной деятельности за счет использования современных информационных технологий. Это позволит оптимизировать свои внутренние бизнес-процессы и кардинально сократить затраты [4].

По мнению авторов статьи, основной транспорт горно-шахтного производства в наибольшей степени должен быть автоматизирован с выявлением оптимальных ресурсосберегающих технологий эксплуатации. Конвейерный транспорт угольной шахты в значительной степени определяет эффективность и уровень промышленной стабильности работы горного производства. Системы дистанционного управления (диспетчеризации) горнотранспортным комплексом занимают центральное место в рассматриваемом проекте «цифровая шахта и автоматизированные процессы».

Эффективность работы горно-шахтного оборудования (далее ГШО) достигается за счет минимизации времени незапланированных простоев, непредвиденных остановок и аварий техники. Обед, пересменки, личные нужды – все эти вынужденные простои неведомы безлюдным технологиям. Экономия средств и увеличение работоспособности ГШО достигаются за счет «регламентированного» обслуживания и замены агрегатов до наступления времени проектных поломок и инцидентов.

Для шахты "Большевик" характерны большие расстояния транспортирования горной массы конвейерным транспортом, это послужило основным фактором выбора предприятия для оптимизации работы основного транспорта и минимизации производственных затрат предприятия. Для реализации проекта предлагается:

1. Создание дополнительных выработок минимального сечения для разделения основного и вспомогательного транспорта.

2. Внедрение вспомогательного высокоскоростного дизельного транспорта на пневмоходу для перевозки грузов и перевозки трудящихся типа DriftRunner по обособленным выработкам;

3. Дистанционное управление конвейерным транспортом за счет

установки контрольных датчиков и полной автоматизацией основного транспорта и определения оптимального режима работы без участия человека.

4. Система контроля загрузки ленточных конвейеров, обеспеченная за счет установки соответствующих датчиков загруженности ленты и регулированию скорости движения в зависимости от загруженности, позволит увеличить производительность транспортировки на 5-8%. Все основные показатели датчиков передаются в «серверную» (службу сбора информации), где в автономном режиме принимается решение компьютерной программой изменения скорости движения конвейерной ленты на каждом этапе технологической схемы. У диспетчера отпадет ответственность принятия решения о выборе режима работы конвейерной линии, особенно при работе в особо опасных условиях (зонах геологического нарушения, активных геодинамических зон с повышенным выделением метана). Обучаемые математические программы ситуационного моделирования, на основе нейронных сетей, самостоятельно контролируют рабочие режимы оборудования в реальном времени и управляют процессами транспортировки горной массы. Принципиальная схема контроля и управления конвейерным транспортом представлена на рисунке 1.

С ростом производительности горного оборудования и автоматизации процессов горного производства разрабатываются системы мониторинга и управления на основе технологий Wi-Fi и радиосвязи. На этом этапе цифровой трансформации будут решены задачи математического моделирования с определением направлений оптимального планирования горных работ.

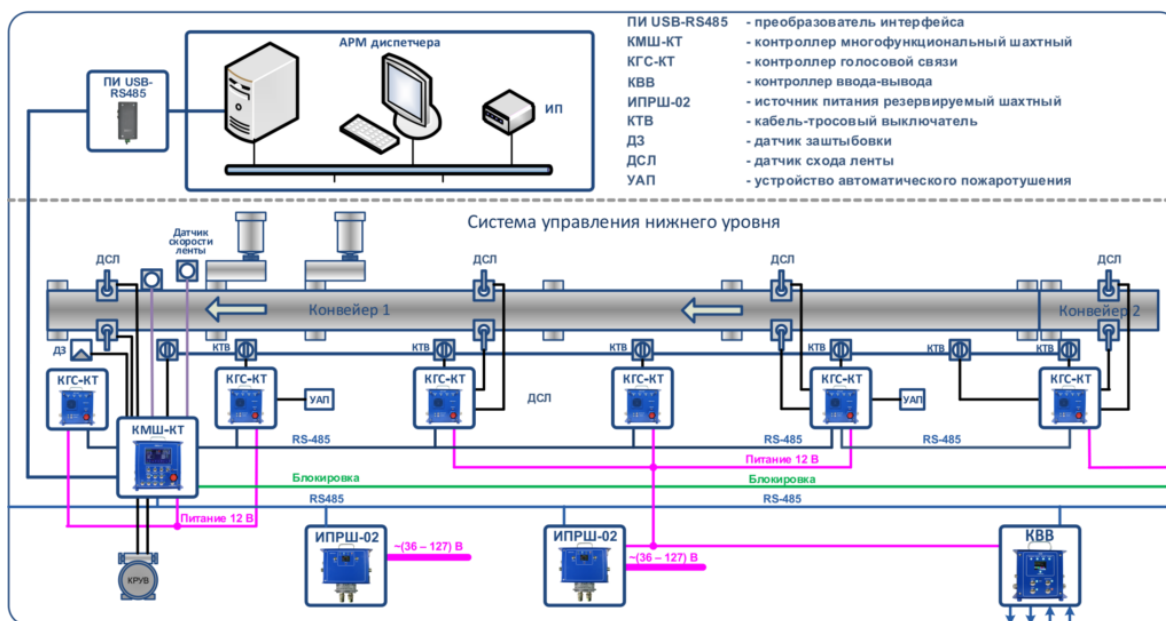


Рисунок 1 - Система контроля и управления конвейерным транспортом

На этом этапе будет рассматриваться работоспособность построенной модели математического «цифрового двойника предприятия». Компьютерные программы проверяют запланированные на год работы и соответствие их жизнеспособности по таким факторам как, кадровый потенциал, технологическая карта оборудования, оптимизация технологических схем (расстановка оборудования в производственном процессе) и работа в сложных горно-геологических условиях. В результате может быть достигнуто увеличение производительности горно-шахтного оборудования на 5–20%, снижение издержек на эксплуатацию на 7–10% .

Следующим этапом предусмотрена разработка компьютерных программ моделирования ожидаемых результатов при принятии технологических решений стратегического характера с определением целесообразности инвестиций и приобретение прогрессивных технологий, а так же определение наиболее приемлемых путей развития предприятия при снижении стоимости конечного продукта на рынке. Без такой интеграции дальнейшее продвижение по пути цифровой трансформации не представляется возможным.

Последующие этапы цифровой трансформации связаны с внедрением систем автономной, безлюдной навигации, применение которых позволит повысить производительность проходческих комбайнов на 11–25%, оптимизировать и автоматизировать прохождение подземных горных выработок.

Данные, полученные датчиками, установленными на горно-шахтном оборудовании, передаются, накапливаются и обрабатываются в диспетчерских системах и системах имитационного моделирования. На основании полученных данных и расположения существующих горных выработок, осуществляется проектирование новых горных выработок и планирование дальнейших процессов в шахте и контроль за ведением угледобывающих работ. С помощью интеграционных механизмов вся информация, будь то план горных выработок, элементы основного самоходного дизельного оборудования, элементы шахтного транспорта, оси горных выработок, производственные процессы, рабочие смены и график работ, импортируется в систему за считанные минуты. Данный способ позволяют руководителям шахт и компаний принимать важные стратегические решения в режиме реального времени на основе конкретных данных, полученных в результате математического моделирования «цифрового двойника» предприятия.

Следующим этапом цифровой трансформации горнодобывающих предприятий является переход к роботизированной горной технике и безлюдным технологиям добычи полезных ископаемых в особо сложных и опасных условиях, к которым можно отнести зоны геологических нарушений, зоны повышенного геодинамического проявления. Целесообразность применения роботизированных технологий складывается из факторов экономической эффективности и повышения уровня безопасности применения безлюдных технологий.

Оснащенность современными системами управления горнотранспорт-

ными комплексами – необходимое условие успешного развития роботизированных технологий на горных предприятиях.

Авторы статьи уверены, что для создания «цифрового двойника» для шахты АО «Большевик» необходима адаптация не только отдельных автоматизированных процессов и безлюдных технологий, а так же настройка работы саморегулируемой математической модели управления отдельными автоматизированными процессами. Конвейерный транспорт является наиболее предпочтительным участком горного производства шахты и наиболее полно подходит в качестве «пилотного варианта» настройки системы «цифрового двойника» шахты в целом.

Библиографический список

1. Разработка технологических решений по повышению эффективности использования основного транспорта на угольных шахтах // Р.Г. Коновалов, С.В. Риб / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. - С. 62 - 66.

2. Разработка технико-технологических решений по внедрению новых технических средств и совершенствованию вспомогательного транспорта в условиях шахты «Осинниковская»/ Т.Ю. Шадэ, С.В. Риб, А.М. Никитина // Наука и молодёжь: проблемы, поиски, решения: тр. всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. - Новокузнецк, 2015. - С. 37-40.

3. Разработка технологических решений по применению монорельсовых дорог на угольных шахтах // К.П. Казаринов, С.В. Риб / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. - С. 58 - 62.

4. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации // Горная промышленность. 2020 №1. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42649178_61116311.pdf.

ПРИМЕНЕНИЕ НАБРЫЗГ-БЕТОНА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УТЕЧЕК ВОЗДУХА В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Ворсина А.М., Агеев Дан А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассмотрена проблема утечек воздуха в подземных горных выработках. Предложен способ снижения уровня утечек воздуха с использованием набрызг-бетона обеспечивающий герметизацию горных выработок.

Ключевые слова: вентиляция, гидроизоляция трещин, набрызг-бетон/торкрест-бетон, утечки воздуха, рудник.

В данной статье рассматривается проблема утечек воздуха в шахтах и рудниках в условиях крайнего севера. Утечки снижают поступление воздуха к основным местам его потребления - забоям очистных и подготовительных выработок. Для компенсации утечек приходится увеличивать подачу воздуха в шахту, с тем, что бы обеспечить забои и другие объекты проветривания необходимым количеством воздуха [1] и создать безопасные условия труда различными методами и способами [4,5]. Увеличение подачи воздуха приводит к увеличению расхода электроэнергии на вентиляцию.

Большое значение имеют запасы полезных ископаемых крайнего севера, в том числе кимберлитовая трубка Удачная, которая расположена на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и географически относится к Мирнинскому району Республики Саха (Якутия). Разработка кимберлитовой трубки является приоритетом. Особенности природных условий крайнего севера определяют их влияние на добычу полезных ископаемых. Запасы сначала разрабатывались на бортах карьера, затем началась разработка запасов под дном карьера.

Рассмотрим применение набрызг-бетона [2] на примере месторождения трубки «Удачная», которая обладает нефтебитумонасыщенностью – нефть и битум фиксируются как в осадочных породах, так и в кимберлитах.

Рудник является газоопасным. Газоносность месторождения обусловлена наличием растворенных в нефтях и рассолах газов. Схема проветривания рудника центральная, при этом часть исходящего воздуха выдается через порталы в борт карьера, способ проветривания – нагнетательный [3].

Предлагается использование набрызг-бетона/ торкрест-бетона для гидроизоляции трещин в массиве породы, противодействующий протечкам воздуха, рисунок 1.

Для получения торкрет и набрызг-бетона используются классические со-

ставляющие: цементный порошок высоких марок; песок; щебёнка и гравий. Все компоненты смешиваются с чистой водой. Для придания недостающих качеств вводятся химические и минеральные добавки, пластификаторы. Можно использовать армирующие материалы – фибры и декорирующие пигменты. Все применяемые ингредиенты должны соответствовать ГОСТ и ТУ.



Рисунок 1 – Нанесение набрызг-бетона/ торкрест-бетона

Оптимальный состав торкрета – это, когда при минимальном расходе цемента, малом количестве отскока и адгезии в пределах нормы достигается заданная проектом прочность.

Достоинства внедрения набрызг-бетона / торкрест-бетона:

- В процессе набрызга не образуется пыль и нет необходимости в дополнительной защите рабочей площадки от выбросов цементной пыли в атмосферу;

- Слой покрытия получает однородный состав, из этого следует высокая степень водо- и газонепроницаемости;

- Распыляющая пушка имеет компактные размеры, что позволяет работать с ней на ограниченной площади.

- Низкий коэффициент отскока.

Также присутствуют и недостатки внедрения набрызг-бетона/торкрест-бетона:

- Рабочая поверхность требует предварительной подготовки, с нанесением грунтовки повышающей адгезию;

- В бетонной смеси используются ускорители схватывания, поэтому она должна использоваться в кратчайшие сроки.

Вследствие снижения утечек воздуха в рудопородную подушку, снизится и требуемое количество свежего воздуха, подаваемого в горные выработки. Для решения этой задачи предложена установка всасывающих вентиляторов для обеспечения комбинированного способа проветривания. За счет установки всасывающих вентиляторов повысится надежность работы системы вентиляции, улучшится возможность получать высокие перепады давления при относительно небольших депрессиях вентилятора, а также будет возможность существенно снизить подсосы или утечки воздуха с поверхно-

сти. Но при применении нескольких вентиляторных установок главного проветривания усложняется процесс регулирования воздушных потоков.

Библиографический список

1. Вентиляция глубоких карьеров в условиях крайнего севера // Павздерин К.А., Герлинская С.Д. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. 2020. С. 138-143.

2. Торкрет-бетон: технология работы и особенности // Электронный ресурс: Набрызг бетона технология - Утепление своими руками от А до Я (kursksauna.com).

3. Дроздов А.В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011.- №3. – С. 153-165.

4. Обоснование аэрогазодинамических параметров угольной шахты в условиях возникновения экзогенного пожара с использованием программного комплекса "вентиляция 2.0" / Д. А. Киселев, Д. Е. Елхимов, С. В. Риб, А. М. Никитина // 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. 66-70.

5. Чубриков А. В., Риб С. В. Развитие и совершенствование полимерных технологий на угольных шахтах Кузбасса // Вестн. Сиб. гос. индустр. ун-та. - 2016. - № 2. - С. 3 - 6.

УДК 622.2

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Горбунова А.Р.

Научный руководитель: д-р тех. наук, профессор Фрянов В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: garro7991@mail.ru*

В статье кратко рассмотрены одни из самых востребованных инновационных продуктов, применяемых в горнодобывающих районах: GEOVIA Surpac, лазерное сканирование, глобальная навигационная спутниковая система.

Ключевые слова: цифровая модель, экологические и геомеханические процессы, деформация, лазерное сканирование, мониторинг.

В настоящее время более 75 % угля в Кузбассе добывается открытым способом. Это приводит к негативным последствиям для окружающей среды: нарушается рельеф, исчезают природные виды флоры и фауны, разрушаются сооружения и здания. Методика оценки состояния нарушенных земель не учитывает в будущие периоды вероятные оползни, нарушения бортов и отвалов вскрышных пород, возможность использования отработанных территорий и земель для развития экономики района. Поэтому исследования, направленные на разработку и внедрение передовых технологий оценки влияния природных и техногенных факторов на экологическое и геомеханическое состояние окружающей среды горнодобывающих районов Кемеровской области в предстоящие периоды развития регионов угледобычи, являются актуальными.

Существующая среди горнодобывающих предприятий конкуренция приводит к постоянному росту темпов извлечения из недр полезных ископаемых, что ведет к интенсивному образованию и накоплению отходов производства и потребления промышленных предприятий.

Наибольшее количество пустой породы доставляется на отвалы автомобильным транспортом, но при этом не всегда удается безопасно и надежно обеспечить проведения отвальных работ. Проблема безопасности актуальна на тех территориях, где выпадает большое количество осадков, присутствуют постоянно низкие температуры, наблюдаются сезонное промерзание и оттаивание отвального массива, которые оказывают негативное влияние на его устойчивость. Вышеназванные факторы снижают устойчивость отвала и провоцируют возникновение оползней, которые приводят к выходу из строя не только дорогостоящего и ценного оборудования, но могут привести и к человеческим жертвам.

Благодаря развивающимся компьютерным технологиям появляются новые возможности развития в каждой отрасли, разрабатываются современные программные средства, которые позволяют оптимизировать и сократить время проведения работ. Развитие автоматизированных систем проектирования в различных сферах экономики обуславливают необходимость внедрения структуры цифровой модели местности для инженерного назначения.

Моделирование местности, ее анализ и изучение по построенным моделям постепенно становятся неотъемлемой частью исследований. Пространственные данные, представленные в виде цифровых моделей местности, широко применяются в горнодобывающей отрасли [1].

Цифровая модель месторождения (ЦММ) – базовая основа, обладающая способностью накопления информации, которая имеет способность построения и визуализации аналитической трехмерной топографической поверхности [1].

ЦММ может также дополняться моделью специального инженерного назначения. В инженерной практике не редко используются сочетания цифровых моделей, характеризующих ситуацию, рельеф, гидрологические, инже-

нерно-геологические, технико-экономические и многие другие показатели.

Внедрение инновационных компьютерных технологий в работу предприятий позволяет повысить скорость обработки данных. Обработка данных горного производства ведется с помощью специализированных систем, одна из самых востребованных которых является - GEOVIA Surpac.

GEOVIA Surpac - одна из лидеров создания качественной 3D-графики для горных приложений. Данная программа обеспечивает продуктивность и достоверность работы за счет простоты в использовании, мощной трехмерной графики и возможности автоматизировать рабочие процессы с учетом специфики конкретного предприятия и потоков данных. Это программное обеспечение является наиболее часто применяемой в мире программной системой такого типа, которая поддерживает открытый способ разработки и подземные горные работы, а также используется для поддержки геологоразведочных проектов. GEOVIA Surpac позволяет провести подсчет и оценку запасов месторождения и спланировать наиболее эффективное, рациональное и спланированное извлечение природного ресурса. Сферы применения программного продукта: геологоразведка, моделирование и подсчет запасов, планирование горных работ, проектирование горных выработок, маркшейдерские работы, экологические исследования [1,2].

Создание цифровой модели месторождения в программном комплексе GEOVIA Surpac позволит результативно и плодотворно вести горные работы на предприятии.

Определение деформаций на карьерах в современных условиях также производят с помощью лазерного сканирования. Лазерное сканирование – это высокотехнологичный метод, позволяющий четко создать цифровую модель окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами [3].

Наземное лазерное сканирование активно применяется и широко используется на карьерах, разрезах, шахтах, рудниках, обогатительных фабриках и других зданий и сооружений для получения трехмерных моделей. Благодаря дистанционному методу съемки, можно выполнять работы без остановки производства. Полученные данные используются в BIM- моделях, которые несут трехмерное изображение внутренних частей карьеров и шахт. В этих моделях присутствуют также изображения коммуникаций и данных о них, что упрощает управления предприятием [4].

Преимущества лазерного сканирования – высокая скорость работ, не зависящая от их объема и трудоемкости, возможность проведения рабочего процесса в любое время суток, получение более точных и полных данных, которые невозможно обеспечить тахеометрической съемкой. Данная цифровая технология полностью реализовала принцип дистанционного зондирования, позволяющий собирать необходимую информацию об исследуемом объекте, находясь от него на расстоянии и с большой вероятностью безопасно вести горные работы.

Применяется лазерное сканирование при съемках завалов горной массы при плановых и неплановых работах, при оценке оседания конструкций и контроле деформации, при создании трехмерной модели карьера с целью оценки его состояния и оценки объемов добываемых пород [5].

Результатом работы лазерной сканирующей системы являются как обычные плоские чертежи, так и полные трехмерно визуализированные картины объекта.

Все чаще к решению задач по наблюдениям за деформациями в карьерах, изменением экологической обстановки привлекают средства измерений, основанные на глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС).

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – это система, при помощи которой можно получить координаты в любой точке земной поверхности путем обработки спутниковых сигналов [6].

В широком смысле ГНСС воспринимается как мониторинг по наблюдению за изменениями на карьерах и в целом за окружающей средой, представляющей собой динамическую, то есть постоянно модифицирующую систему с целью ее изучения, мониторинга, контроля и охраны.

По уровню охвата территории обычно распознают глобальный, региональный и локальный мониторинг, по оперативности получения различают прогноз от долей секунды до нескольких часов и даже суток и более. Мониторинг деформаций инженерных сооружений и бортов карьеров с применением спутниковых технологий становится обычным явлением. Главное преимущество мониторинга с применением ГНСС состоит в его непрерывном характере, что возможно и в реальном масштабе времени, и с постобработкой. Вместе с тем любая природоохранная деятельность реализуется в рамках конкретных локаций. Поэтому планирование, реализация и контроль результатов природоохранных мероприятий требуют объективных данных об экологической обстановке и ее динамике в разных частях территории, что невозможно без использования картографической формы представления информации [7].

Экологические информационные данные крайне многообразны и добываются в результате исследований с использованием различных методов. Сюда можно отнести: материалы дистанционного зондирования, качественные и количественные характеристики загрязняющих веществ и статистические данные об объемах и условиях их поступления в окружающую среду, пространственная и временная динамика фактически измеренных уровней и состава загрязнения, данные о состоянии здоровья населения, растительном покрове и животном мире и многое другое. Единственным что объединяет столь разнообразные сведения, является их принадлежность к определенной территории.

Обобщение столь разнородной экологической информации, имеющей при этом четкую пространственную приуроченность, в настоящее время невозможна без использования специальных программных продуктов обобщения и визуализации пространственных данных – геоинформационных систем [8,9].

Таким образом, предприятия, разрабатывающие месторождения от-

крытым способом, могут нести значительные затраты при локализации зон деформаций в результате завышенного угла откоса борта или при извлечении излишней вскрыши в результате заниженного значения угла откоса борта. В то же время, расходы денежных средств можно оптимизировать, вкладывая деньги на стадии подготовки исходных данных в проектирование для проведения дополнительных мероприятий по уточнению характеристик массива и параметров откосов бортов. Такими мероприятиями могут быть: геологоразведочные работы на участках расположения бортов карьеров, дополнительные исследования для уточнения свойств пород, характеризующих массив, использование геофизических методов исследования массива, дополнительные геомеханические расчеты. Применяя вышеперечисленные технологии, можно более точно определить параметры откосов карьеров и минимизировать излишние затраты. Кроме того, на эти средства можно создавать на базе предприятия службу геотехнического контроля с современным оборудованием, которое позволит своевременно проводить мониторинг за состоянием массива.

Таким образом, в настоящее время при внедрения инновационных технологий в горнодобывающей промышленности для управления экологическими и геотехническими процессами эффективнее будет вести мониторинг за значением физико-механических свойств горных пород не только в образцах, но и в массиве, то есть в условиях всестороннего сжатия, в значительной мере предопределять рациональные параметры карьеров, обеспечивающих продуктивную и безопасную разработку месторождения. Экономически целесообразно также проведение дополнительных геолого-разведочных работ на отдельных участках, требующих особого обоснования параметров откосов бортов. На предприятиях с ведением новых передовых технологий экономически выгодно создать дополнительные службы маркшейдерского и геодезического контроля, организовывать лаборатории, оснащенные современным оборудованием, по изучению и мониторингу приоткосного массива горных пород для оперативного управления его геомеханическим состоянием.

Библиографический список:

1. Горбатова Е.А., Колесатова О.С., Тулубаева М.Ф. Создание цифровой модели месторождения// Актуальные проблемы горного дела №2. Научно-технический журнал. Вып.2. Магнитогорск: Изд-во ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 2016 г. С. 3-8.
2. Geovia Surpac Интегрированное решение для геологии, моделирования ресурсов, планирования горных работ и управления добычей [Электронный ресурс]: [сайт]. [2002-2021] URL: <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/surpac> (дата обращения: 16.03.2021).
3. Лазерное сканирование. Каталог компании «Навгеоком», 2006 г.
4. Наземное лазерное сканирование. Введение в технологию. [Электронный ресурс]. [сайт]. URL: <http://www.gsi.ru/catalog.php?id=1> (дата обра-

щения: 16.03.2021).

5. Картунова С.О. Определение деформаций на карьерах с применением современных технологий// Актуальные проблемы горного дела №2 Научно-технический журнал. Вып.2. Магнитогорск: Изд-во ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 2016 г. С. 9-13.

6. ГИС-Ассоциации. [Электронный ресурс]: [сайт]. [2002-2014] URL: <http://gisa.ru>.

7. Геоинформационные системы. [Электронный ресурс]: [сайт]. [1992-2021] URL: <http://www.dataplus.ru>.

8. Струман В.И. Экологическое картографирование: Учебное пособие / В.И. Струман. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.

9. Академия САПР и ГИС. [Электронный ресурс]: [сайт]. [2001-2021] URL: <http://www.cadacademy.ru>.

УДК 622.272: 347.447

ОБЯЗАТЕЛЬСТВА ЭМИТЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИЦЕНЗИИ НА ШАХТЕ «СИБИРГИНСКАЯ»

Елкина Д.И.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yolkinadasha00@gmail.com*

В данной статье рассматриваются обязательства эмитента для получения лицензии на шахте «Сибиргинская». Приведены требования при получении лицензии и их виды.

Ключевые слова: недра, участки недр, требования, соблюдение, лицензия, организация.

Эмитент - юридическое лицо, органы исполнительной власти или местного самоуправления, несущие от своего имени обязательства перед владельцами ценных бумаг по осуществлению прав, закрепленных ими. Иными словами, эмитенты — это «поставщики» товара — ценных бумаг и эта деятельность для них не является профессиональной, требующей специальной лицензии.

Недра являются собственностью государства. Пользователями недр могут быть субъекты предпринимательской деятельности, в том числе участники простого товарищества, иностранные граждане, юридические лица, если иное не установлено федеральными законами.

На шахте «Сибиргинская» пользователем недр является «Угольная компания «Южный Кузбасс», в соответствии со ст.10 Закона РФ "О недрах",

как победителю аукциона от 11.11.2004г. и на основании решения аукционной комиссии и совместного постановления Федерального агентства по недропользованию и администрации Кемеровской области.

С 2016 года предоставление в пользование участков недр осуществляется в соответствии с Программой лицензирования угольных месторождений на период до 2020 года, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 декабря 2016 г. № 639, которая учитывает потребности рынка в угольных ресурсах и особенности угледобывающих регионов.

На участке шахты «Сибиргинская» право пользования участком недр осуществляется с целью разведки и добычи коксующегося угля [1]. Шахта «Сибиргинская» получила лицензию в 2004 году сроком на 20 лет, см. рисунок 1.



Рисунок 1 – Лицензия на разведку и добычу полезного ископаемого сроком на 20 лет на участке шахты «Сибиргинская»

Для получения лицензии необходимо было, чтобы эмитент выполнил все обязательства и требования, которые распределены на шесть групп, представленные на рисунке 2.



Рисунок 2 – Обязательства эмитента

Основные обязательства и требования для получения лицензии на участок шахты «Сибиргинская» представлены ниже.

1. По объемам, основным видам работ и срокам их проведения обеспечить:
а) подготовку и согласование в установленном порядке проекта разведки каменного угля на Лицензионном участке не позднее 15 декабря 2005 года;

б) начало геологоразведочных работ на Лицензионном участке не позднее 15 декабря 2005 года;

в) подготовку и согласование с уполномоченными органами в установленном порядке технического проекта разработки Лицензионного участка не позднее 15 сентября 2008 года и т.д.

2. По рациональному использованию запасов полезных ископаемых и охране недр обеспечить:

а) соблюдение требований законодательства, а также утвержденных в установленном порядке стандартов (норм и правил) по технологии ведения работ, связанных с пользованием недрами;

б) соблюдение требований технических проектов и технической документации [2,3];

в) наиболее полное извлечение из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов, недопущение сверхнормативных потерь полезного ископаемого, выборочной отработки отдельных участков Лицензионного участка;

г) предотвращение загрязнения недр при проведении работ и т.д.

3. По промышленной безопасности и охране труда обеспечить:

а) своевременное проектирование опасных производственных объектов, их декларирование и экспертизу промышленной безопасности в установленном порядке;

б) страхование гражданской ответственности за причинение ущерба третьим лицам и окружающей природной среде;

в) организацию обучения и повышения квалификации руководителей и работников опасных производственных объектов;

г) обслуживание объектов строительства и эксплуатации при ведении горных работ на основе договоров с подразделениями профессиональной горноспасательной службы и т.д.

4. По охране окружающей природной среды обеспечить:

а) соблюдение установленных требований по охране окружающей среды;

б) соблюдение требований нормативных документов о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах;

в) принятие необходимых мер для сокращения или избежания загрязнения, вызванного деятельностью горнорудного предприятия;

г) очистку шахтных (карьерных) вод (подземные воды и атмосферные осадки) перед сбросом в поверхностные водные объекты до норм, утвержденных ПДС и т.д.

5. По участию в социально-экономическом развитии региона обеспечить:

а) организацию рабочих мест для населения, проживающего в районе проведения работ;

б) организацию профессиональной подготовки населения с целью привлечения его к проведению работ, связанных с освоением участка недр и т.д.

6. По другим условиям пользования недрами обеспечить, до истечения срока действия Лицензии:

а) завершить все виды работ на Лицензионном участке;

б) завершить ликвидацию или консервацию горных выработок и других объектов своей деятельности;

в) произвести полный расчет по платежам и налогам, связанным с использованием недрами;

г) сдать в установленном порядке геологическую, маркшейдерскую и иную документацию (акты ликвидации горных выработок, рекультивации, статистическую отчетность и др.);

д) вернуть Лицензию в Роснедра.

Основанием для добычи угля являются:

- Лицензия на право пользования недрами КЕМ 13639 ТЭ от 14.06.2006 г. на добычу каменного угля на участке Разрез Сибиргинский Курейнского, Сибиргинского и Урегольского каменноугольных месторождений с Дополнением № 2 (Приложение 13 к Лицензии КЕМ 13639 ТЭ от 13.05.2014г), в соответствии с которым срок окончания действия лицензии – 31.12.2032 года;

- Лицензия на право пользования недрами КЕМ 12917 ТЭ от 17.12.2004 г. на разведку и добычу каменного угля на участке «Шахта Сибиргинская» Сибиргинского и Томского каменноугольных месторождений со сроком действия до 15.12.2024 г. и с Дополнением № 2 (Приложение 13 к Лицензии КЕМ 12917 ТЭ от 12.10.2013 г.);

- Лицензия на право пользования недрами КЕМ 01914 ТЭ от 19.08.2015 г. с целью разведки и добычи каменного угля на участке Сибиргинский 3 Сибиргинского и Томского месторождений в Кемеровской области со сроком действия до 19.08.2035 г.; - Лицензия на право пользования недрами КЕМ 15463 ТЭ от 17.12.2012 г. на разведку и добычу каменноугольного угля на участке Сибиргинский 2 Сибиргинского и Курейнского каменноугольных месторождений со сроком действия до 14.12.2032 г [4].

Сроки пользования участками недр исчисляются с момента государственной регистрации лицензий на пользование этими участками недр.

Срок пользования участком недр продлевается по инициативе пользователя недр в случае необходимости завершения поисков и оценки или разработки месторождения полезных ископаемых либо выполнения ликвидационных мероприятий при условии отсутствия нарушений условий лицензии данным пользователем недр [5].

Порядок продления срока пользования участками недр на условиях соглашения о разделе продукции определяется указанным соглашением.

Право пользования недрами может быть прекращено, приостановлено в случаях и порядке, предусмотренных федеральным законодательством. Пользование недрами на особо охраняемых территориях производится в соответствии со статусом этих территорий [6].

Таким образом, Угольная компания «Южный Кузбасс» для получения лицензии на участок шахты «Сибиргинская» все обязательства и требования выполнила.

Библиографический список

1. Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565123539>
2. Разработка технологических решений по переходу разрывных геологических нарушений очистным забоем в условиях шахты Сибиргинская // Марахин К.В., Риб С.В., Никитина А.М. - Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. - С. 23-27.
3. Риб С.В. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с дроблеными и обводненными породами в условиях ОАО "шахта "Сибиргинская"/ С.В. Риб, Д.М. Борзых, А.М. Никитина // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - 2013. - № 3 (5). - С. 24-27.
4. Проспект ценных бумаг // Открытое акционерное общество «Угольная компания «Южный Кузбасс». С. 41-44 URL: <https://www.ukuzbass.ru/upload/iblock/dd9/dd9ddf4db5c15e11fa6b9e8a38abd703.pdf>.
5. Участки недр: категории и сроки использования // Юридическая энциклопедия "МИП". (ст. 10 Закона РФ «О недрах»). URL: <https://advokat-malov.ru/nedropolzovanie/uchastki-nedr-kategorii-i-sroki-ispolzovaniya.html>.
6. Закон Республики Крым от 7 августа 2014 г. N 45-ЗПК "О недрах" (с изменениями и дополнениями) // система ГАРАНТ. Раздел II. Пользование недрами (ст.ст. 10-28). URL: <http://ivo.garant.ru/#/document /23701867 /paragraph/1:0>.

УДК 622.235

ВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ШАХТАХ ЮГА КУЗБАССА

Кротков И.А., Шмидт Н.А.

Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет.
г. Новокузнецк, csgo.dr@mail.ru*

В статье обозначена проблема увеличения безопасности горных работ в условиях высокого опережающего давления, а также при различных техногенных и природных сейсмических событиях, представляющих опасность для ведения горных работ, в том числе в особо опасных условиях.

Ключевые слова: сейсмическая активность, угольный пласт, шахтное

поле, шахта, исследование.

При разработке свиты угольных пластов, в зонах повышенного горного давления от оставленных угольных целиков на надработанных пластах создаются условия неблагоприятного воздействия массива на устойчивость крепи штрековых выработок, особенно в зоне влияния очистного забоя при зависании основной труднообрушаемой кровли [1-3]. В этих условиях возрастает ответственность руководителей предприятия за принятые решения по усилению крепи или проведению разгрузочных мер, предусмотренных инструкцией по динамическим явлениям. В особо опасных зонах суточный отход комплексно-механизированных очистных забоев резко снижается, усиливается давление не только на секции крепи и возрастает риск вывалов породы и отжим угля в лаве, но и повышается концентрация горного давления в угольных целиках, в створе с очистным забоем, растягивающие напряжения в кровле выработок приводят к поломке крепи и др. На сегодняшний день отсутствует единый критерий определения вероятности повышенного давления на крепь штрековых оконтуривающих выработок, прогноз интенсивности горного давления в кровле и боках выработки, а также интенсивность растягивающих напряжений в створе лавы со штреками.

Авторы статьи предлагают методику контроля напряженно деформированного состояния массива горных пород в очистных и подготовительных забоях. Предложена система горного сейсмологического мониторинга GITS, которая в автоматическом режиме обеспечивает мониторинг событий (техногенных и природных сейсмических событий) в широком диапазоне режиме онлайн при ведении горных работ в пределах всего шахтного поля.

Программный, многофункциональный комплекс GITS (рисунок 1) конструктивно состоит из сети сейсмических датчиков, цифровых телеметрических каналов связи, программного комплекса обнаружения и обработки сигналов, SQL-сервера [4]. Интенсивность потока регистрируемых событий до 100 событий в сутки. Базовый комплект 35 телеметрии поддерживает 6 сейсмодатчиков. Необходимое количество комплектов определяется конкретным местом установки системы. Программное обеспечение системы позволяет сконфигурировать до двух базовых комплектов и обеспечить 12 трехкомпонентных каналов регистрации.

Выносные модули GITS устанавливаются в удаленных от базовых модулей (до 8 км) скважинах. С них информация поступает на компьютер, где установлена программа выделения сейсмических сигналов, превышающих заданный уровень. Компьютер по заданным параметрам производит запись сигналов и передает их в базу компьютера обработки и связи, на котором установлен SQL-сервер, передающий реплику базы данных по единой вычислительной сети на обрабатывающий компьютер. Интенсивность выявления зон потенциально опасных по проведению динамических явлений несколько раз в секунду. Результаты обработки передаются в Сибирское пред-

ставительство ВНИМИ в городе Прокопьевск.

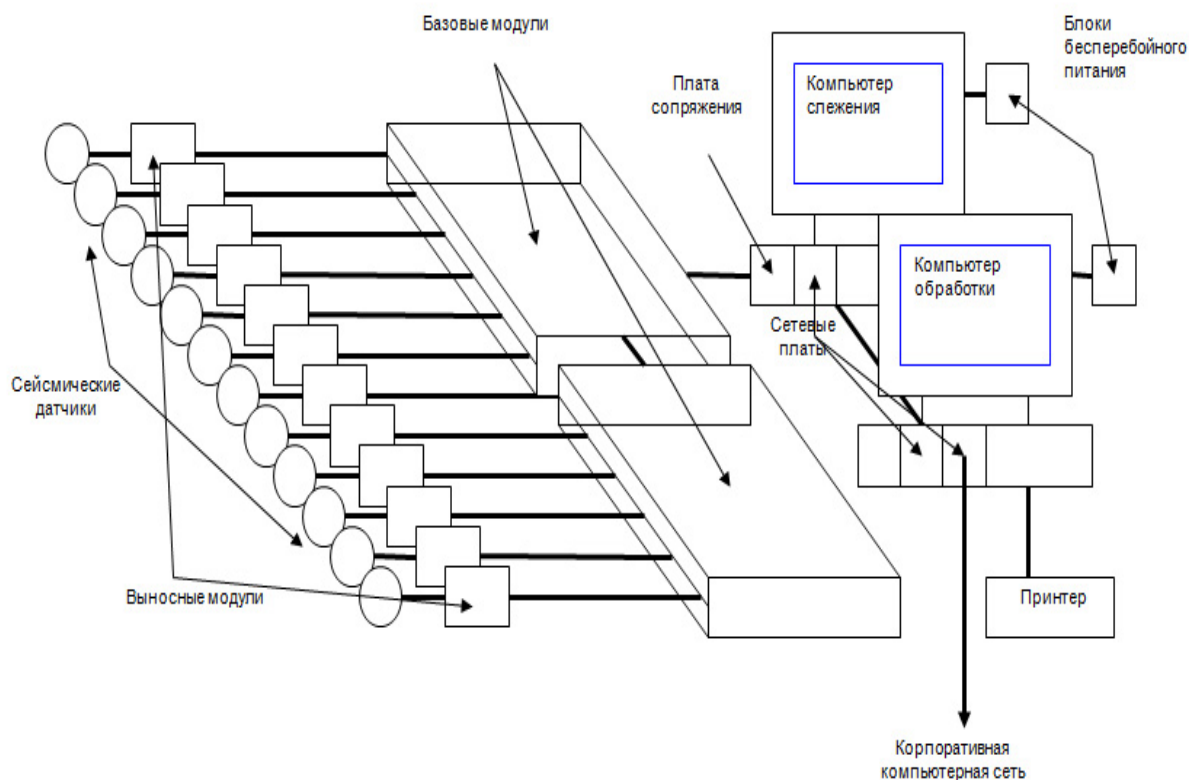


Рисунок 1 – Общий вид схемы системы GITS AO «ВНИМИ»

По полученным данным специалист ВНИМИ контролирует (задает параметры) построение графиков и диаграмм, анализ карт сейсмической активности программа производит в автоматическом режиме, на основании результатов замеров выдаются рекомендации на усиление крепи, разгрузку массива или принудительную посадку основной кровли, для устранения риска повышенного давления на крепь штрековых выработок в зоне опорного давления от выемочного участка. Представленные мероприятия особо важны при ведении работ в особо опасных зонах (зонах повышенного горного давления и в зонах геологических нарушений). Работая в автономном режиме, система является предшественником «цифрового двойника» шахты, способного выбирать минимальные затраты и оптимальную трудоемкость работ и выбрать меры по приведению горных работ в безопасное состояние по заданным критериям.

Система ГИТС определяет зоны для ведения детального контроля состояния массива при помощи портативного прибора «ANGEL-M», производства АО «ВНИМИ». Прибор «ANGEL-M» (рисунок 2) предназначен для оценки удароопасности в горных выработках угольных шахт и рудников, в том числе опасных по газу и пыли, позволяет на основе анализа накопленных данных, определять критерии повышенной интенсивности горного дав-

ления в кровле, боках и почве выработки и принимать решения о возможности продолжения работы или проведения прогнозных мероприятий и мер по разгрузке массива.



Рисунок 2 – Геофизический комплекс ANGEL-M АО «ВНИМИ».

Комплекс обеспечивает прием сигналов от источников электромагнитных колебаний, способен определить разрушение пород в массиве на ранних стадиях (в процессе интенсивного трещинообразования и интеграции напряжений в глубине массива), а запись результатов, полученных в ходе исследования, позволяет сравнивать их с ранее полученными и делать вывод о напряженно деформированном состоянии массива горных пород в окрестности горных выработок. Результаты замеров заносятся в базу памяти, передаются на компьютер для вывода исходных данных при математическом моделировании запаса прочности принятого паспорта крепления в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях шахты.

Автоматизированная система ГИТС позволит существенно повысить безопасность горных работ, особенно в особо опасных условиях (зонах геологических нарушений и повышенного горного давления при отработке сближенных пластов). Оперативное принятие решения об усилении крепи или проведения мероприятий по принудительной посадке зависающих пород основной кровли позволит повысить безопасность труда рабочих, снизить трудоемкость работ, повысить производительность труда рабочих очистного забоя.

Библиографический список

1. Риб С.В., Фрянов В.Н., Волошин В.А., Черепов А.А. Закономерности формирования зон повышенного горного давления под влиянием угольного целика-штампа при отработке свиты пластов//Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 23 -29.

2. Домрачев А.Н., Риб С.В., Никитина А.М. Адаптация методов оценки риска обрушения подземных горных выработок к условиям шахт юга Кузбасса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 81 - 89.

3. Серяков В. М., Риб С. В., Фрянов В. Н. Напряженно-деформированное состояние угольного целика при переходе очистным механизированным комплексом зоны геологического нарушения//ФТПРПИ. - 2017. -№ 6. -С. 32 -40.

4. Д.В.Яковлев, Т.И. Лазаревич. Методические указания по созданию систем контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт (во исполнение требований п. 41 ЕПБ). ОАО «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ». Санкт-Петербург 2012 – 82 с.

УДК 622.817

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ШАХТНОГО МЕТАНА В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Лесных А.С., Никитина А.М., Риб С.В.

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

В данной статье рекомендуется к использованию блочная установка утилизации метана, позволяющая не только сжигать метан в специальной камере тем самым, предотвращая выделения в атмосферу вредного парникового газа, но и для выработки электроэнергии и дополнительно для производства тепловой энергии.

Ключевые слова: шахтный газ, гидраты, извлечение метана, природный газ.

В связи с принятием нового законодательства, регулирующего выбросы парниковых газов, во многих странах мира наблюдается значительный рост интереса к утилизации шахтного метана как одного из самых низкочатратных способов снижения вредных выбросов. Растущие цены на природный газ и энергоносители также повышают экономическую привлекательность подобных проектов.

Шахтный газ является значительным, но практически неосвоенным ресурсом с основными запасами, находящимися в примерно десятке стран. Китай, Россия, Польша и США являются крупнейшими «загрязнителями» атмосферы, совместно отвечая за три четверти от всего мирового выброса шахтного газа. По прогнозам, количество выбрасываемого шахтного газа в мире увели-

чится на 2,5 % к 2025 г. в основном за счет роста угольной добычи в Китае.

С одной стороны, шахтный газ, сродни природному газу обладает полезными свойствами горючего топлива, с другой стороны, при попадании в атмосферу он наносит сильнейший урон экологической обстановке. Основной компонент шахтного газа, метан (CH_4), в 21 раз сильнее, чем углекислый газ (CO_2) по своей способности создавать парниковый эффект на планете.

Извлечение метана угольных месторождений позволит решить одновременно несколько задач: использовать извлеченный метан для выработки электроэнергии, тепла и т.д.; уменьшить выбросы метана в атмосферу; снизить объем выделения метана в горные выработки и тем самым повысить безопасность и эффективность добычи угля [1-3].

Технологические предложения по хранению и транспорту природного газа в гидратном состоянии появились еще в 40-х годах 20-ого века. В последние годы интерес к проблеме газовых гидратов во всем мире значительно усилился. Рост активности исследований объясняется следующими основными факторами [5]:

- активизацией поисков альтернативных источников углеводородного сырья в странах, не обладающих ресурсами энергоносителей, т.к. газовые гидраты являются нетрадиционным источником углеводородного сырья, опытно-промышленное освоение, которого может начаться в ближайшие годы;

- необходимостью оценки роли газовых гидратов в приповерхностных слоях геосферы, особенно в связи с их возможным влиянием на глобальные климатические изменения;

- изучением закономерностей образования и разложения газовых гидратов в земной коре в общетеоретическом плане с целью обоснования поисков и разведки традиционных месторождений углеводородов (природные гидратопоявления могут служить маркерами более глубокозалегающих обычных месторождений нефти и газа);

- активным освоением месторождений углеводородов, расположенных в сложных природных условиях (глубоководный шельф, полярные регионы), где проблема техногенных газогидратов обостряется;

- целесообразностью сокращения эксплуатационных затрат на предупреждение гидратообразования в промысловых системах добычи газа за счет перехода на энерго-ресурсосберегающие и экологически чистые технологии;

- возможностью использования газогидратных технологий при разработке, хранении и транспорте природного газа.

В последние годы исследования гидратов в России продолжались в различных организациях как посредством госбюджетного финансирования, так и за счет грантов международных фондов - ИНТАС, СРДФ, ЮНЕСКО и др. [5].

В настоящее время исследования по газовым гидратам проводятся в ОАО «Газпром». Активно разрабатываются газогидратные технологии, в частности, для получения гидратов с использованием современных методов интенсификации технологических процессов (добавки поверхностно-

активных веществ (ПАВ), ускоряющие тепломасооперенос; использование гидрофобных нанопорошков; акустические воздействия различного диапазона, вплоть до получения гидратов в ударных волнах и др.).

При анализе технологии утилизации шахтного метана на «Шахте им. С.М. Кирова» рассмотрен вариант установки газогенераторной станции, включающей 7 газогенераторов с электрической мощностью каждого 1,021 МВт. Газогенераторы, поставляются в контейнерном исполнении и могут оснащаться устройствами утилизации тепла с производительностью 1,2 Гкал/МВт. Общий срок службы газогенератора составляет 150 – 250 тыс. часов [6].

Для обеспечения работы станции требуется дебит метана в объеме 4,5 м³/мин (в пересчете на его 100 % концентрацию).

На шахте «Кушеяковская», действующей до 2014 г., имеется опыт проведения предварительной пластовой дегазации при отработке лавы 67-36, имеющую природную газоносность пласта 67 от 2,5 -15,2 м³/т.с.б.м.. Для разрабатываемого пласта были проведены следующие мероприятия: - барьерная дегазация при проходке и бурение восстающих верно-кустовых скважин из ниш вентиляционного штрека, отвод метановоздушной смеси газоотсасывающим вентилятором через фланговую выработку. Данные мероприятия позволили извлечь при проведении барьерной дегазации до 40 % метана, дебит метана из выработанного пространства установкой ВЦГ-7 составил 16,4 м³/мин, достигнута концентрация метана -37,6 %.

Концентрация метана в дегазационном трубопроводе составила 25-40 %, что делает возможным его дальнейшее использование в качестве топлива для газо-поршневых, газотурбинных установок, теплоэлектростанций. В данном случае также возникает проблема в работе вакуумного насоса и кроме того после вакуумного насоса газ необходимо подать в ГТУ, ГПУ, ТЭЦ, поэтому необходима его дальнейшая очистка.

Техническое решение конструкции сепаратора СЦВ-7 позволило увеличить эффективность очистки воздуха до 99,99 %.

Для эффективного использования каптируемого метана по результатам анализа мирового и отечественного опыта, предлагается блочная установка утилизации метана, которая дает возможность не только сжигать метан в специальной камере тем самым, предотвращая выделения в атмосферу вредного парникового газа, но и для выработки электроэнергии и дополнительно для производства тепловой энергии при использовании газа в качестве топлива. Для этого газ подается через систему трубопроводов на электрогенераторный агрегат.

Блочная установка может отсасывать газ непосредственно из дегазационной скважины одной установкой или несколькими параллельно работающими установками. Кроме этого, может подключаться к дегазационному трубопроводу впереди или позади передвижной вакуумно-насосной станции (ППНС) [1].

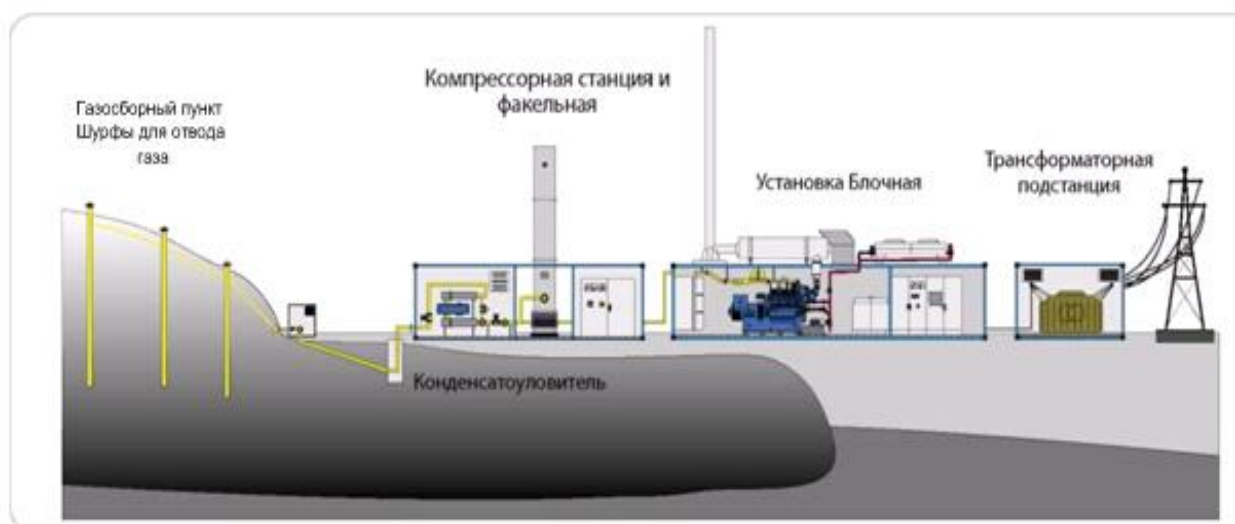


Рисунок 13 – Пример блочной установки [1]

Таким образом, использование метана в условиях угольных шахт окажет положительное влияние на работу угольного предприятия и кроме того, благоприятно скажется на состоянии окружающей природной среды. Реализация проекта по извлечению и использованию метана позволит обеспечить следующее:

1. Улучшение экологической ситуации за счет сокращения выбросов парникового газа.
2. Повышение безопасности труда шахтеров.
3. Рост производительности труда.
4. Экономический эффект. Утилизация шахтного метана позволит снизить себестоимость добычи угля на 3-4%, за счет того, что общепроизводственные затраты на добычу будут распределяться между двумя видами продукции: углем и шахтным метаном.

Библиографический список

1. Безпflug В.А. Опыт утилизации шахтного метана в ФРГ и возможности его утилизации в России [Текст] // Уголь-2006.- № 08. - С.31 - 38.
2. Оценка эффективности способов и средств по снижению газовыделения на выемочном участке и утилизации метана / И. В. Воронков, А. М. Никитина, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 1. Технические науки.– С. 86-88. – URL: [http:// library.sibsiu.ru](http://library.sibsiu.ru).
3. Управление газовыделением на выемочных участках шахты «Октябрьская» / А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. –

Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 4. Естественные и технические науки. – С. 100-103. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

4. Разработка технико-технологических решений по дегазации при ведении горно-подготовительных работ в условиях ОАО «Шахта «Есаульская» / С. А. Зазулин, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 7. Технические науки. - С. 236-241. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

5. Соловьёв В. А. Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое [Текст] // Российский химический журнал, т. 48, №3, 2003, С. 59 - 69.

6. Имгрунд Т. Международные проекты утилизации метана – опыт технического консультанта [Текст] // Глюкауф.-2010.- № 1(2). 0 С.57 0 62.

УДК 622:378.6

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лесных А.С., Моисеев А.К.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandralesnyh01081996@gmail.com*

В статье анализируются предлагаемые положения профессионального стандарта для специалистов по разработке месторождений полезных ископаемых и оценивается возможность их реализации в учебном процессе при подготовке специалистов по специальности 21.05.04 «Горное дело». Особое внимание уделяется методической обеспеченности необходимых требований, а также выбору направлений дальнейшего развития методической работы.

Ключевые слова: профессиональный стандарт, трудовая функция, методическое обеспечение, подготовка специалистов.

Подготовка специалистов, отвечающих всем требованиям современного производства невозможна без формализации требований, предъявляемых к будущим горным инженерам на предприятиях горной промышленности. Особую важность приобретает формулирование таких требований при разработке методического и организационного обеспечения основных дисциплин специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Подземная разработка пластовых месторождений», и прежде всего для дисциплины «Технология отработки пологих пластов». На основании анализа методического

обеспечения, разработанного на кафедре геотехнологии ФГБОУ ВО «СибГИУ» [1-3,6-7] и опыта ведущих угольных компаний юга Кузбасса были разработаны предложения по формализации трудовой функции «Ведение очистных работ» (в длинных и коротких очистных забоях, в т.ч. комплексно-механизированных) производственного стандарта подготовки горняков. Результаты анализа основных положений данной трудовой функции в части возможности их реализации на основе текущего состояния методического обеспечения учебного процесса приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Трудовая функция «Ведение очистных работ» – трудовые действия

Трудовые действия	
Реализация в учебном процессе	Состав
Требуют дополнительных методических разработок для реализации в учебном процессе	Формулирование, оформление, доведение до исполнителей наряда на производство работ
	Оценка состояния промышленной безопасности на рабочих местах и на участке в целом
	Организация работ по (оперативному) устранению отступлений от нормативных документов по промышленной безопасности и требований паспорта очистного участка.
Методические указания [7-11]	Контроль состояния рудничной атмосферы (при посещении горных работ)
Методические указания [1-3]	Текущее информирование руководства о состоянии горных работ на очистном участке
	Планирование состава и объемов работ на сутки
	Разработка/корректировка графиков выходов работников на месяц
	Разработка/корректировка паспорта очистного участка
Требуют дополнительных методических разработок для реализации в учебном процессе	Контроль/ подготовка текущих организационных распоряжений
	Подготовка уведомлений на текущие предписания по службам и контролирующим организациям
Методические указания [6]	Участие в подготовке (вторичной) геологической и маркшейдерской информации для обеспечения безопасного функционирования очистного участка

Таблица 2 – Трудовая функция «Ведение очистных работ» – необходимые умения

Необходимые умения	
Реализация в учебном процессе	Должны уметь
Методические указания [7-11]	Оценивать газовую обстановку и возможные риски возникновения аварийной ситуации при ведении горных работ на очистном участке
Требуют дополнительных методических разработок для реализации в учебном процессе	Составлять и обосновывать заявки на материальное обеспечение производственного процесса на очистном участке
	Квалифицировать действия работников в части соответствия трудовому кодексу Российской Федерации, должностным инструкциям и другим корпоративным документам, регламентирующим права и обязанности работников
Методические указания [1-3] Обучающе-тестирующие системы [4-5]	Выполнять расчет нагрузки на длинный очистной забой при различных вариантах технологии выемки
	Выполнять расчет нагрузки на короткий забой при различных вариантах технологии выемки и крепления
Требуют дополнительных методических разработок	Оценивать состояние горных выработок при различных способах их охраны (в том числе с использованием данных систем геомониторинга)
Обучающе-тестирующие системы [4-5]	Оценивать производительность и надежность средств участкового транспорта угля
Требуют дополнительных методических разработок	Документировать основные параметры работы участка в режиме текущего мониторинга производственного процесса (в том числе с использованием компьютерных программ)
Методические указания [6]	Читать геологическую и маркшейдерскую документацию, формулировать требования на изготовление (выполнение) вторичной маркшейдерской и геологической документации

Таблица 3 - Трудовая функция «Ведение очистных работ» – трудовые действия – необходимые знания

Необходимые знания	
Реализация в учебном процессе	Должны знать
Методические указания [7-11], дополнительное методическое обеспечение	Методы и средства оценки газовой обстановки и риска возникновения аварий и инцидентов на очистном участке
Требуют дополнительных методических разработок	Номенклатуру документов системы материально-технического снабжения горного предприятия
	Требования должностных инструкций и других корпоративных документов, регламентирующих права и обязанности работников
Методические указания [1-3] Обучающе-тестирующие системы [4-5]	Методологию расчета нагрузки на длинный очистной забой (при струговой и комбайновой выемке)
	Методологию расчета нагрузки на короткий забой при различных вариантах технологии выемки и крепления
Требуют дополнительных методических разработок	Возможности и основные технические характеристики современных систем геомониторинга, геопозиционирования и связи, используемых в подземных горных выработках
Методические указания [1-3]	Методологию оценки производительности и надежности средств участкового транспорта угля
Требуют дополнительных методических разработок	Систему документирования текущих параметров производственного процесса на очистном участке (в том числе с использованием компьютерных программ)
Методические указания [6]	Номенклатуру геологической и маркшейдерской документации, методы решения основных горно-геометрических задач (в том числе по определению параметров горных выработок и подсчету запасов)

Таким образом, выполненный анализ указывает на удовлетворительную обеспеченность реализации предлагаемых требований профессионального стандарта, а также позволяет наметить ряд направлений по дальнейшему совершенствованию методической работы в части использования воз-

возможностей геопозиционирования и геомониторинга, знания номенклатуры нормативных документов угольных компаний, оценки уровня промышленной безопасности и сопутствующих рисков при ведении горных работ на шахтах. Использование приведенных выше предложений при разработке программы и фонда оценочных средств учебной дисциплины «Технология отработки пологих пластов» позволит существенно повысить уровень знаний и навыков будущих специалистов и сделать их востребованными на рынке труда в Кемеровской области и за ее пределами.

Библиографический список

1. Домрачев А.Н. Технология и механизация отработки пологих пластов. – Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т, 2016. – 73 с.
2. Домрачев А.Н., Криволапов В.Г. Выбор и обоснование параметров комбинированной технологии при различных способах развития шахтного фонда. – Новокузнецк, 2011. – 209 с.
3. Домрачев А.Н. Комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых: Метод. указ. / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост. А.Н. Домрачев. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2015. – 39 с.
4. Домрачев А.Н. Алгоритм и структура контента обучающе-тестирующей программы для базовых дисциплин специальности 130400 «Горное дело» // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2015. – С.184-187.
5. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н. Разработка и внедрение в учебный процесс системы поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 1. – С.159-165.
6. Домрачев А.Н. Горная графическая документация // Домрачев А.Н., Говорухин Ю.М., Коряга М.Г. - Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т, 2017.-55 с.
7. Системы управления газовой выделением угольных шахт: метод. указ. / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост.: Ю.М. Говорухин, А.Н. Домрачев. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 41 с.
8. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Балаганский М.Ю. Методология моделирования фильтрации газовой смеси в выработанном пространстве выемочного участка // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. – №1. – С.72-76.
9. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Филатов Ю.М. Об эффективности дегазации выемочных участков для условий пологих пластов юга Кузбасса // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – №12. – С.11-17.
10. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Домрачев А.Н., Лукашов О.Ю. Программа расчёта вентиляции выемочных участков // Научно-технические

технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – №3. – С.445-448.

11. Криволапов В.Г., Говорухин Ю.М. Возможность использования шахтного оборудования для прогнозирования газодинамических явлений при неравномерном подвигании очистного забоя // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых; под общей ред. В.Н. Фрянова. – 2008. – С.130-136.

УДК 622.013

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И ПОЛНОТОЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ ЗАПАСОВ НЕДР

Мишин С.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В настоящее время горнодобывающие предприятия Российской Федерации функционируют в условиях рыночных отношений, где в вопросе планирования горных работ уже доминирует выполнение объёма добычи в конкретный срок, требуемое качество добытого полезного ископаемого, полнота использования балансовых запасов и т.п. Одновременно с годовыми планами развития горных работ определяются плановые показатели эксплуатационных потерь и разубоживания, и приводятся фактические показатели полноты и качества извлечения полезного ископаемого из недр. Планирование показателей извлечения полезных ископаемых из недр, так же, как и нормирование этих показателей, невозможно без организованного учёта и контроля за ним. В статье рассмотрены основные технологические процессы, влияющие на качество и полноту извлечения продукции открытым способом.

Ключевые слова: качество, потери, полнота извлечения, геологоразведка, буровзрывные работы, вскрышные и добычные работы, обогащение, технологические процессы, динамика, планирование.

Полезные ископаемые имеют огромное значение в экономике страны, являясь основой строительства и промышленности, а масштаб их добычи и переработки определяет уровень материального производства, богатства и экономического развития государства.

Различают полезные ископаемые: металлические (руды черных, цветных, благородных, радиоактивных и редких металлов), неметаллические (сырьё для металлургической, химической и других отраслей промышленно-

сти), горючие (уголь, горючие сланцы, торф и др.) и строительные горные породы (известняки, мраморы, граниты, гравий, пески и др.).

Совокупность свойств, определяющих степень пригодности и экономической эффективности использования, называется качеством полезного ископаемого. Для углей, например, качественными показателями являются теплота сгорания, зольность, содержание влаги, кусковатость, содержание минеральных примесей, выход летучих, содержание серы и др., а для руд процентный состав регламентируемых химических элементов, минералогический состав, структурные и текстурные особенности и другие свойства.

В сложившихся экономических и технологических условиях задача по увеличению полноты извлечения полезных ископаемых открытым способом из недр приобретает особое значение. Разработка и реализация перспективных способов по управлению качеством продукции являются актуальными задачами, так как в условиях рыночных отношений требуется выполнение плановых объемов добычи в требуемый срок, с некоторым упущением полноты извлечения полезного ископаемого.

Предприятия горной промышленности, несомненно, должны быть озабочены полнотой извлечения полезных ископаемых из недр и на регулярной основе проводить собственные исследования по управлению качеством извлечения запасов. Потери при открытой разработке месторождений составляют от 5 до 12 % полезного ископаемого, при сложных условиях достигают 20% и более.

Основные технологические этапы, оказывающие влияние на качество продукции при разработке месторождений открытым способом:

- геологоразведка
- буровзрывные работы
- вскрышные и добычные работы
- обогащение полезного ископаемого

Проведён анализ существующих способов и средств по управлению качеством продукции по каждому из предложенных технологических этапов.

Геологоразведка

Одним из действенных мер в направлении повышения полноты извлечения полезного ископаемого из недр является уточнение запасов по данным эксплуатационной разведки. Это позволяет более точно задавать контуры рудных тел и соответствующие им границы добычных работ.

Советский Союз до 1990г. располагал самой мощной в мире геологической службой, обеспечивавшей ежегодно полуторный или даже двойной прирост запасов по отношению к добыче всех известных полезных ископаемых. Около 25-30 % объемов геологоразведочных работ (ГРР) выполнялось за рубежом (ежегодно в 25-32, а в целом за все годы - более чем в 60 странах мира).

В результате зарубежных работ, а также специальных аналитических исследований, включая и анализ космических съемок, страна располагала уникальной базой данных о геологическом строении и полезных ископаемых

всех без исключения стран мира. К середине 1980-х т. в СССР наметилось некоторое технологическое отставание от развитых стран в области геологоразведочной техники, геофизической и аналитической аппаратуры.

В результате экономических реформ 1992-2004 гг. геологоразведочная отрасль понесла невосполнимые потери.

Все это отразилось на состоянии геологоразведочной инфраструктуры страны, объемы ГРР снизились в 4,5 -10 раз, новые технологии геологоразведки применялись крайне редко, снизилось и качество проведения геологоразведочных работ [1].

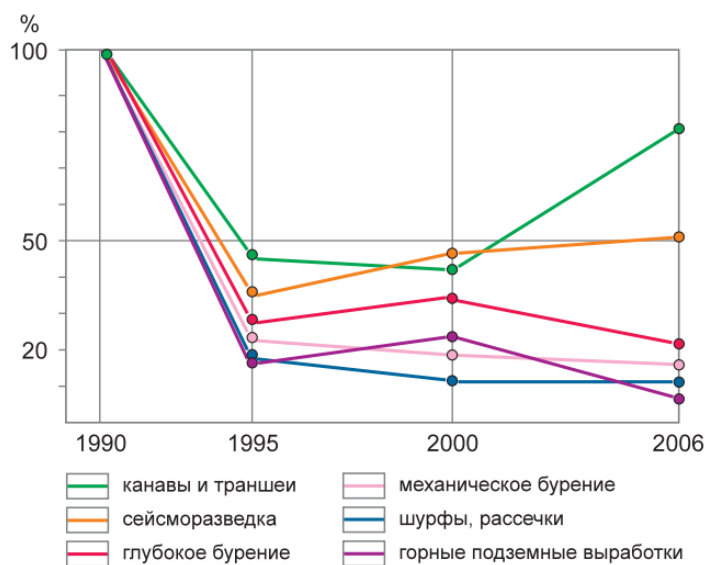


Рисунок 1 - Динамика объемов основных видов ГРР в России за 1990-2006 гг. (по отношению к 1990 г.)

Буровзрывные работы

Вовлечение в процесс добычи широкого спектра разнопрочных руд вызывает повышенные потери полезных компонентов в труднодоступных сортах крупности на стадии обогащения. Это предъявляет повышенные требования к размерам рудной массы после отрыва взрывчатого вещества. В частности, крайне нежелательно повторное измельчение руды во время взрывного отрыва.

Компоненты, входящие в состав руд, обладают различными физико-механическими свойствами. Например, твердость по Моосу молибдена и шеелита составляет 2 и 4,5 соответственно, что значительно меньше твердости основных вмещающих пород. Поэтому вполне естественно, что при разрушении рудных фракций на этапах добычи и подготовки руды менее прочные компоненты подвергаются более интенсивному измельчению.

Следует отметить, что требования, предъявляемые в настоящее время к буровзрывным работам, практически не касаются вопроса формирования потока руды по размерам для условий подготовки и переработки руды.

По мере углубления горных работ повышаются блочность и прочност-

ные свойства горных пород, а также возрастает роль буровзрывных работ в формировании качества руды. Буровзрывной комплекс играет особую роль в адаптации горного производства к изменяющимся геологическим и горным условиям. Особая роль буровзрывного комплекса заключается в следующем:

- влияние БВР на все последующие процессы добычи и переработки полезных ископаемых;

- использование технологических скважин в процессе информационного обеспечения горно-обогажительных процессов [2].

Вскрышные и добычные работы

Основными причинами высоких потерь полезных ископаемых при разработке месторождений являются: слабое технико-экономическое обоснование параметров извлечения запасов, недостаточное отражение уровня количественных и качественных потерь в финансово-экономической деятельности горнодобывающих предприятий, несовершенство методов экономического стимулирования снижения потерь и разубоживания полезного ископаемого, низкая достоверность результатов учета, определения и др.

В понятие ненормируемых потерь вкладывают только нарушение технологии ведения горных работ. Но потери, возникающие при проявлении горных ударов или при их предотвращении, в случае самовозгорания полезного ископаемого или вмещающих пород и т.п. не всегда связаны с нарушением технологии – они возникают не по вине служб предприятия, а от неэффективности геологоразведочных работ, по причинам, усложняющим отработку месторождений, механизм влияния которых на эти потери еще не изучен.

Обогащение

На сегодняшний день из общего числа эксплуатируемых углеперерабатывающих предприятий 18% обогажительных фабрик работают с устаревшей техникой и технологией, 26% обогажительных фабрик введены в эксплуатацию за последние семь лет. В ближайшие годы предусмотрено строительство еще семи обогажительных фабрик. В среднем на строительство новой фабрики требуется полтора - два года, срок окупаемости – от двух до пяти лет. Строительство новых фабрик в кратчайшие сроки обеспечено инвестициями угольных компаний и их пониманием важности проблемы обогащения угля. Углеобогажительные фабрики нового поколения построены на базе комплексного исследования обогатимости и качественной характеристики рядовых углей и творческого подхода к выбору технологических схем и оборудования.

Недостатками новых фабрик является отсутствие флотации и сушки. Флотационный метод не предусматривается в проектах новых фабрик якобы из-за высокой стоимости процесса, обусловленной использованием флотационных реагентов. Отсутствие флотационного метода обогащения для коксующихся марок углей приводит к значительным технологическим потерям, которые составляют 6-14% от рядового угля. Сокращение объемов или полное исключение сушки мелкого концентрата приведет к повышенной влаж-

ности конечных продуктов, которая будет выше требований потребительских ГОСТов. Естественно, что с повышением объемов добычи одновременно возрастает и необходимость обогащения углей, усложняется технология их переработки [3].

Выводы

Все основные проблемы горного производства вытекают из одного единственного фактора – тотальная экономия всех и на всем. Развитие горнодобывающих предприятий, да и вообще любых предприятий требует инвестиций, все хотят без инвестиций на старой технике, по устаревшим данным геолого-разведки построить сильную экономику. В 21 веке это так не работает.

В каждой технологическом этапе освоения полезного ископаемого имеются инновационные аналоги существующих способов ведения горных работ, единственное препятствие их внедрения: они требуют больших вложений и перехода предприятий на автоматизацию производственных процессов.

– В геологоразведке, это эхосканирование высокоточными радарными земной поверхности, что позволяет сократить затраты на бурение скважин, а также получить высокоточную 3D модель разведываемого месторождения.

– В буровзрывных работах, это автоматизированная система управления взрывными работами, позволяющая повысить производительность и эффективность взрывных работ, одновременно повышая качество взорванной массы и снижая расходы на взрывчатое вещество.

– Во вскрышных и добычных работах, использование планировочных поворотных ковшей малого размера, для максимально качественной селективной выемки.

– При обогащении полезного ископаемого необходимо использовать метод флотационного обогащения. Во флотационной установке гидрофобные частички прилипают к пузырькам газа или масла и поднимаются на поверхность, в то время как гидрофильные элементы оседают на дне емкости. Этот процесс имеет высокую эффективность и экономичность. Полная автоматизация позволяет уменьшить себестоимость технологических операций на обогатительной фабрике и в гидрометаллургии.

Качество полезного ископаемого оптимальное, если сумма затрат па его добычу и переработку минимальная. Задача оптимизации качества полезного ископаемого практически решается следующим образом:

1. Выявляются качественные показатели полезного ископаемого исходя из требований предприятий, непосредственно перерабатывающих полезное ископаемое, и последующих производств, для которых сырьем является промпродукт, концентрат и т.д. Для объективного выбора регламентируемых качественных показателей целесообразно методами корреляционного анализа установить значимость каждой качественной характеристики. Необходимо по возможности выбирать минимальное число качественных характеристик, так как увеличение их значительно усложняет управление горными работами.

2. Устанавливается комплексный показатель качества полезного иско-

паемого.

3. Выявляются зависимости полных затрат на добычу и переработку одной тонны руды при изменении комплексного показателя.

4. На основе этих зависимостей строится суммарный график и определяются оптимальное и максимальное значения комплексного показателя качества. При необходимости строят графики (или таблицы), расшифровывающие содержание комплексного показателя через единичные показатели качества.

Таким образом, предприятия, разрабатывающие месторождения открытым способом, могут получить выгоду от полностью автоматизированного оборудования в горной промышленности. Значительное увеличение производительности и безопасности работ приведет к существенным изменениям в экономике всей промышленности. Отрабатываемые месторождения станут более конкурентоспособными. Кроме того, месторождения, отработка которых признана сейчас экономически нецелесообразной, могут перейти в разряд экономически выгодных.

Библиографический список

1. Орлов В.П. Реалии и проблемы отечественной геологоразведки// Минеральные ресурсы России. Экономика и управление №3 (научно-технический журнал). - 2008 г.

2. Уразаев Б., Исагулов С.Т. Роль буровзрывных работ при формировании качества руд и безопасности горных работ// Дальневосточная весна – 2020 г.

3. Антипенко Л.А. Проблемы развития обогащения углей// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2009.

УДК 622.4 (571.56)

БЛОЧНОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ РУДНИКА «УДАЧНЫЙ»

Мысак Е.А., Павздерин К.А., Белкина О.Е., Агеев Д.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

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

В данной статье рассматривается проблема подземного проветривания рудника «Удачный» в условиях Республики Саха, предложен способ снижения уровня утечек воздуха во всех горизонтах в рудопородную подушку.

Ключевые слова: вентиляция, воздухоподающие скважины, утечки, рудник.

Запасы полезных ископаемых Крайнего севера представляют большую

ценность в том числе и кимберлитовая трубка «Удачная», в связи с этим, её освоение является приоритетной целью. Трубка «Удачная» в верхней части разреза до глубины 250 м представлена единым телом, которое ниже этой отметки расчленяется на два обособленных рудных тела конусообразной формы: Западное и Восточное. Специфика природных условий Крайнего Севера обуславливает их влияние на ведение горных работ. Первоначально были отработаны запасы в бортах карьера, затем началась отработка запасов под дном карьера.

При подземной отработке запасов трубки «Удачная» предусматривается нисходящий порядок отработки запасов месторождения (рисунок 1).

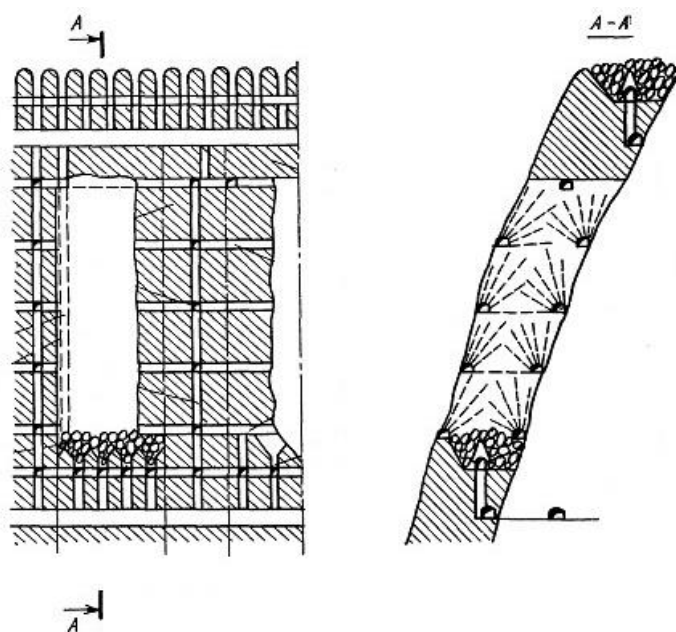


Рисунок 1 – Нисходящий порядок отработки рудного тела

Целью работы является – снижение уровня утечек воздуха в рудопородную подушку на всех горизонтах рудника, а также внедрение блокового проветривания, за счет проведения воздухоподающей скважины с отметки горизонта -260 м до горизонта -480 м.

Решение вопроса утечек в рудопородную подушку в данной работе осуществляется на примере рудника «Удачный», расположенного в Республике Саха (Якутия).

Месторождение находится на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и территориально относится к Мирнинскому району Республики Саха.

Западное рудное тело пронизано многочисленными крутопадающими зонами дробления и представляет собой относительно проницаемую систему. Кимберлиты в зонах дробления сильно выщелочены и дезинтегрированы.

Восточное рудное тело менее трещиновато по сравнению с западным, почти не содержит крупных полостей и пустот, зоны повышенной трещиноватости отмечены лишь в приконтактных частях трубки (рисунок 2).

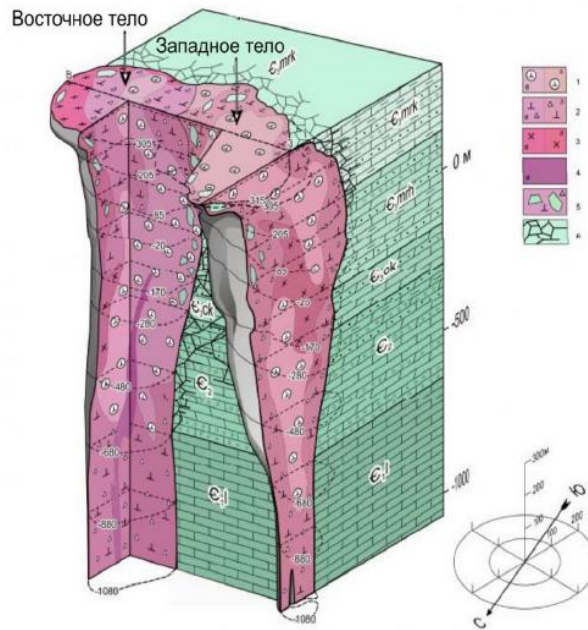


Рисунок 2- Общие сведения о руднике

Рудник является газоопасным. Газоносность месторождения обусловлена наличием растворенных в нефтях и рассолах газов. Схема проветривания рудника центральная, при этом часть исходящего воздуха выдается через порталы в борт карьера, способ проветривания – нагнетательный [1].

В процессе выемки полезного ископаемого атмосфера выработок очистных блоков непрерывно загрязняется ядовитыми газами, выделяющимися при взрывных работах, а также силикозоопасной пылью. Наибольшая трудность в организации проветривания возникает при отработке мощных рудных залежей, так как в этом случае блоки имеют сложную, разветвленную сеть подготовительных и нарезных выработок. Для решения проблемы требуется непрерывная подача в блок свежего воздуха и удаление отработанного [2].

Для обеспечения обособленного проветривания каждого блока предлагается провести воздухоподающую скважину с отметки горизонта -260 м до отметки горизонта - 480м.

Каждый блок должен иметь обособленное проветривание, то есть подача свежего воздуха в выработки и удаление загрязненного должны производиться независимо от другого блока. Для регулирования количества воздуха выработки блока должны иметь контролирующее устройство, позволяющее увеличить или прекратить подачу воздуха в выработку, тем самым целесообразно использовать свежий воздух. Отсутствие контролирующих устройств в блоках приводит к повышению расхода воздуха, к непроизводительным утечкам и к снижению эффективности проветривания.

Блочная схема проветривания позволит исключить утечки воздуха в главных вентиляторных установках клетьевого и скипового стволов и

уменьшит утечки в рудопородную подушку.

Библиографический список

1. Дроздов А.В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011.- №3. – С. 153-165.
2. Вентиляция шахт и карьеров / под ред. Б.А. Стебакова. – М.: Недра, 1964. – 308 с.

622.831:622.274

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАЗУПРОЧНЕНИЮ ТРУДНООБРУЩАЮЩЕЙСЯ КРОВЛИ В УСЛОВИЯХ ФИЛИАЛА «ШАХТА «ОСИННИКОВСКАЯ»

Никитина А.М., Риб С.В., Володина А.В.

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

В данной статье разработаны мероприятия по разупрочнению труднообрушаемых пород кровли в условиях филиала «Шахта Осинниковская». Рекомендуется к использованию способ направленного гидроразрыва (НГР).

Ключевые слова: динамические явления, горный удар, направленное разупрочнение, труднообрушаемые породы.

При увеличении нагрузок на очистные забои возрастает интенсивность проявлений геомеханических процессов в виде вывалов, конвергенции пород почвы, зависания кровли и др. Расширение области применения механизированных крепей в последние годы достигается за счет разработки пластов с труднообрушаемыми кровлями, что значительно осложняет ведение очистных работ, происходят неожиданные неуправляемые динамические обрушения горного массива которые наносят большой вред – разрушают механизмы и горные выработки, повышают опасность для рабочих [5]. За первый квартал 2021 года из-за динамических явлений на шахтах Кузбасса смертельно травмировано 4 рабочих. Кроме того, зависание кровли вызывает концентрацию горного давления на угольный массив в зоне очистного забоя и на сопряжениях его с горными выработками, что провоцирует горный удар [1].

В настоящее время одной из основных причин тяжести проявления динамических явлений на шахтах Кузбасса является большая глубина ведения горных работ [3].

В отрасли освоены и применяются следующие способы разупрочнения: передовое торпедирование, гидромикроторпедирование, взрыво-гидрообработка, два вида принудительного обрушения – взрывание сква-

жинных и шпуровых зарядов, а также новые способы гидродинамическая стратификация, направленный гидроразрыв, взрывоподбутовка [1,2].

Таблица 1 – Глубина ведения горных работ на шахтах Кузбасса

Шахта	Отрабатываемая лава	Глубина очистных работ, м	Глубина подготовительных работ	Относительная газообильность, м ³ /т
ООО "Шахта "Осинниковская"	Лавы 4-1-5-8	646-804	896	13,6 – 23,5
Филиал «Шахта «Ерунаковская – VIII» АО "ОУК "Южкузбассуголь"	Лавы 48-8	672	732	20,2 – 24,8
ПАО "Распадская"	Лавы 5а-7-34 Лавы 5а-7-36	540	690	19,9 – 21,2
АО «СУЭК-Кузбасс» шахта им. С.М.Кирова	Лавы 25-99	605	640	24,5 – 25,5
АО «Распадская-Коксовая» ООО «Распадская угольная компания»	Лавы 3-3-1бис	525	625	19,5 – 21,0
ОАО "Шахта "Полосухинская"	Лавы 26-333	580	610	18,2 – 20,0
ООО "Шахта "Юбилейная"	Лавы 16-21	640	590	20,9 – 22,6
Шахта «Чертинская-Коксовая» ООО «ММК-УГОЛЬ»	Лавы 555	500	500	23,0 – 26,0
ООО "Шахта "Алардинская"	Лавы 6-1-23	400	500	17,0 – 23,0
ООО "Шахта им.С.Д. Тихова"	Лавы 23-1-6	416	467	13,0 – 23,6

Существующие методы разупрочнения труднообрушающихся пород (передовое торпедирование, гидромикроторпедирование и т.д.), несмотря на опытную длительную проверку, не дают в большинстве случаев положительных результатов, так как они обладают, помимо частных, общими недостатками – неравномерностью и неуправляемостью разупрочнения [3].

Разработаны и апробированы в промышленных условиях модификации способа передового торпедирования: межэкранный торпедирование, направленное разупрочнение. Целью применения в очистных забоях этих способов является снижение или полная ликвидация тяжести проявления осадков основной кровли.

В ИГД СО РАН под руководством профессора О.И. Чернова был предложен новый способ разупрочнения труднообрушающейся кровли методом направленного гидроразрыва (НГР), позволяющий получить более равномерное и направленное изменение механических свойств массива.

Рассмотрим технологические схемы НГР для применения в условиях филиала «Шахта «Осинниковская» (рисунки 1-4).

Схема заложения скважин в монтажной камере для снижения интенсивности проявлений первичных осадок основной кровли реализуется в двух вариантах: заложение инициирующих щелей на одном или двух уровнях. Работы осуществляются до начала ведения очистных работ из монтажной камеры. Нечетные скважины бурятся перпендикулярно к плоскости наслоения пород, а четные – под углом к слоистости.

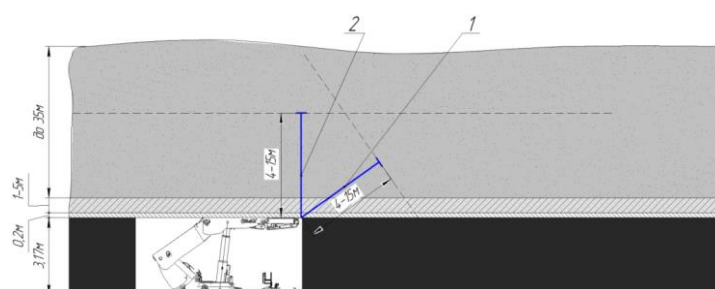


Рисунок 1 – Схема заложения скважин для снижения интенсивности проявлений первичных осадок в условиях филиала «Шахта «Осинниковская»

Первый тип скважин обеспечивает расслоение пород, а второй – отсечение кровли и ликвидацию ее зависания на угольном массиве. Шаг бурения скважин для одного уровня заложения инициирующих щелей равен $2R$, где R – радиус распространения щели, м. Скважины второго уровня бурятся посередине между скважинами первого уровня и при этом являются для них контрольными [1].

Исходя из опыта экспериментальных исследований и визуальных наблюдений, схему обрушения кровли при выходе механизированного комплекса из монтажной камеры можно представить следующим образом (рисунок 2).

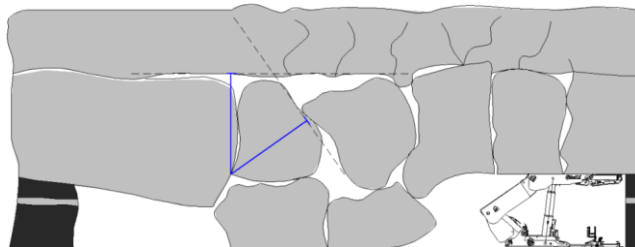


Рисунок 2 - Схема обрушения кровли при выходе механизированного комплекса из монтажной камеры [2]

Создание ориентированных горизонтальных трещин гидроразрыва, одновременно с отсечными, направленными в сторону движения очистного

забоя, позволяют создать искусственный блочный массив, своевременно разрушающийся за механизированной крепью. Применение способа НГР в лаве позволяет получить обрушение наведенного слоя при расслоении кровли за обрезным рядом механизированной крепи, что дает возможность уходить из под завала. Для труднообрушаемых пород, расположенных непосредственно над угольным пластом, предложена инженерная методика расчета мощности слоя, регламентируемая условием его обрушения за обрезным рядом крепи [1]. Экспериментально установленный радиус распространения направленной искусственной трещины из одной скважины превышает 20 м, поэтому при длине лавы до 200 м для первичной посадки кровли требуется бурение менее 10 шпуров глубиной от 4 до 15 м [1].

Схема заложения скважин в выработках для снижения интенсивности проявления вторичных осадок основной кровли, а также сохранения повторно используемых выработок представлена на рисунке 3. На рисунке 4 приведена технологическая схема для сохранения убывающего целика при въезде лавы в демонстрационную камеру [4].

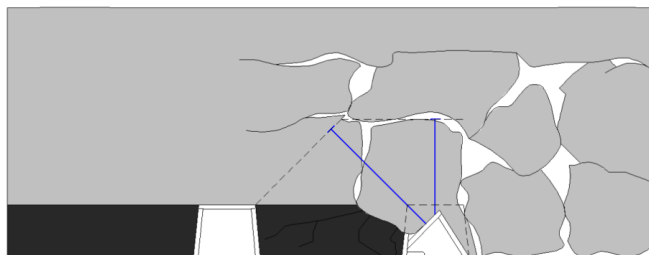


Рисунок 3 - Схема заложения скважин в выработках для снижения интенсивности проявления вторичных осадок в условиях филиала «Шахта «Осинниковская»

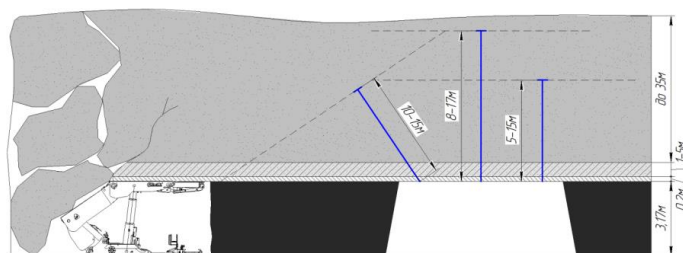


Рисунок 4 - Технологическая схема для сохранения убывающего целика при въезде комплекса в демонстрационную камеру в условиях филиала «Шахта «Осинниковская» [1]

Применение предложенных схем НГР на филиале «Шахта «Осинниковская» позволит наиболее эффективно, без завесаний кровли отрабатывать пласты Е5, Е4 и другие с увеличением нагрузок на очистной забой, снизить концентрацию горного давления на угольный массив, образование вывалов, снизится конвергенция бортов выработок, уменьшатся затраты на ремонт секций крепи, что в свою очередь будет способствовать интенсификации горного производства.

Библиографический список

1. Клишин В.И. Метод направленного гидроразрыва труднообрушающихся кровель для управления горным давлением в угольных шахтах / Клишин В.И. // Уголь. - 2008. - №11. – с. 12-16.
2. Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Салихов А.Ф., Пятерикин Д.В. Разупрочнение труднообрушаемой кровли методом направленного гидроразрыва (нгр) на этапе выхода механизированного комплекса из монтажной камеры // Уголь. 2020. №11 (1136). url: <https://cyberleninka.ru/article/n/razuprochnenie-trudnoobrushaemoj-krovli-metodom-napravlenno-go-gidrorazryva-ngr-na-etape-vyhoda-mehanizirovannogo-kompleksa-iz>
3. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. – Л.: ВНИМИ, 1991. – 102 с.
4. Разработка технико - технологических решений по повышению эффективности монтажно-демонтажных работ для шахт Юга Кузбасса на примере ООО «Шахта «Алардинская» / Микунов В. В., Никитина А.М., Риб С.В. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-18 мая 2017 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып. 21. – Ч. 2: Естественные и технические науки.– С. 78-84.
5. Разработка технологических и технических решений по повышению эффективности поддержания и ремонта подготовительных выработок в условиях шахты «Осинниковская» / А. М. Никитина, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 4. Естественные и технические науки. – С. 92-96. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

УДК 622.831

РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ В ПРЕДЕЛАХ ГОРНОГО ОТВОДА ШАХТЫ «ЕСАУЛЬСКАЯ»

Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.

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

В статье приведен анализ отработки тонких пластов в России и зарубежом. Рассмотрены варианты отработки остаточных запасов пластов на шахте «Есаульская». Предложены технико-технологические решения по отработке тонких угольных пластов стругом.

Ключевые слова: доработка запасов, струговая выемка, тонкие пласты,

струговые установки, безлюдная выемка.

На шахте «Есаульская», как и на остальных шахтах Кузбасса, в настоящее время ведется отработка пластов наиболее удобной технологической мощности, для которых создана и серийно выпускается новая высокопроизводительная техника для очистных работ, проходки, транспорта. Запасы, сосредоточенные в тонких и маломощных пластах, остаются в недрах и не вынимаются [2].

Отказ от разработки пластов малой мощности приводит к увеличению глубины горных работ, нарушению порядка отработки свиты, а также быстрому истощению запасов более мощных пластов. Ведь по подсчетам удельный объем запасов угля в тонких пластах по Кузбассу составляет 60 %, а в Байдаевском районе он достигает 43 %. В тонких пластах залегают большие запасы углей высокого качества [1].

Шахта «Есаульская», призвана обеспечить компенсацию убывающей добычи коксующихся углей на шахтах Байдаевского района.

Сегодня необходима оптимизация производственных затрат на основе внедрения альтернативного варианта доработки шахтного поля, в соответствии с требованиями рынка и ограничениям по экономической, социальной, промышленной и экологической безопасности [3-6].

Несмотря на трудности, тонкие пласты разрабатываются почти во всех странах с развитой угледобывающей промышленностью, самые высокие показатели достигнуты на шахтах США, Австралии, Германии и ЮАР. Однако, отсутствие единой классификации пластов по их мощности приводит к тому, что в разных странах к категории тонких относятся пласты различной мощности: в Бельгии - до 0,6 м, в Болгарии - до 1,3 м, в Великобритании - до 0,91 м, в Германии - 0,7 м, во Франции и Чехословакии - до 1,0 м, в США - до 1,05 м, в России - до 1,2 м [3].

Организация и техника подземной разработки тонких пологих пластов на зарубежных шахтах мало, чем отличается от разработки пластов средней мощности. Пласты разрабатываются по сплошной, столбовой или комбинированной системам разработки, лавами, длина которых достигает 200 - 250 м, иногда 350 м. Средняя отрабатываемая мощность пласта за эти годы увеличилась в 1,3 раза. Причем отрабатываются, в основном, пологие (85 %) и полого-наклонные пласты (12 %).

Как показала практика, отсутствие эффективных схем отработки тонких пластов привело к увеличению их удельного веса в имеющихся запасах угля.

В США, ввиду резкого отличия в лучшую сторону горно-геологических условий залегания пластов от Европейских и находящихся в России, применяются камерно - столбовые системы разработки, для которых создано соответствующее выемочное оборудование.

При отработке тонких пластов на шахтах Германии, США, Чехии, Польши комбайновую выемку применяют только тогда, когда невозможно

применить струговую технологию.

В России одним из направлений создания безлюдной технологии является струговая выемка, т.к. единственной машиной и механизмом в очистном забое является струг, с помощью которого осуществляется выемка и транспортирование угля. Известно, что пределы применения струговой выемки обусловлены очень крепким углем или пластами с породными прослойками.

Безлюдная технология выемки угольного пласта практически в 10 раз повышает производительность труда рабочих по добыче угля и снижает себестоимость добываемого угля на выемочном участке при резком сокращении (10-30%) удельного расхода электрической энергии. Технология позволяет вынимать угольные пласты некондиционные по мощности и зольности, в местах их геологических нарушений. При этом обеспечивается добыча практически беззольной горной массы, скоростное проведение выработок в разгруженной зоне, повышается техническая и экологическая безопасность отработки угольных пластов.

В полностью автоматизированном струговом очистном забое все процессы протекают под контролем компьютера. Дозированная струговая выемка обеспечивает строго определённую глубину резания, которая может изменяться в зависимости от крепости угля, чтобы оптимально использовать имеющиеся мощности привода.

К достоинствам данной схемы выемки следует отнести:

- Струг работает с высокой скоростью подачи и относительно небольшой величиной стружки и после каждого прохода струга, весь комплекс может быть продвинут вперёд. Очистные работы ведутся в наиболее благоприятных для принятого оборудования условиях, что позволит использовать его с максимальной отдачей.

- Высокий уровень безопасности работ, т.к. нет необходимости нахождения людей в забое при работе струга.

- Малооперационность и полная автоматизация работ.

- Конвейер совершает передвижку автоматически, консольное управление обеспечивает высокую точность даже при волнообразном залегании пласта.

- Лава работает в режиме саморегулирования. Наклон конвейера определяет путь всего оборудования.

- Сервисное обслуживание струга значительно проще чем комбайна, поскольку они состоят чисто из механических элементов.

- Система управления превращает её в высокопроизводительную добычную технику. Наклон конвейера, точная юстировка, подвигание конвейера с точностью до миллиметра, точный контроль за скоростью струга, за мощностью потребляемой приводами.

- Движение струга вдоль лавы осуществляется по специальным направляющим посредством кольцевой цепи двумя приводами, вынесенными

ми на штреки.

- Автоматизированная система управления шахтными машинами типа РМС позволяет осуществлять визуальный контроль за параметрами выемки угля на дисплее компьютера и управление оборудованием комплекса при выполнении всех технологических операций с центрального пульта оператора. Транспортировка отбитого угля осуществляется конвейерами типа 2ЛТ100У производительностью 850 т/ч. Глубина стружки при движении исполнительного органа со скоростью 1,92 м/спо восстанию пласта (навстречу движению конвейерной цепи) составит 150 мм, а при обратном движении со скоростью 0,64 м/с – 40 мм.

Предлагаемые технико-технологические решения по отработке тонких угольных пластов стругами имеют следующие достоинства [6]:

- Струговые системы приспособляются к колебаниям мощности пласта и к изменениям крепости углей.
- Возможна работа в полностью автоматизированном режиме.
- Максимальная продуктивность и низкие производственные затраты при отработке пластов мощностью менее 2м.
- Более простой доступ к запасам, сосредоточенных в пластах малых мощностей.
- Ремонтные работы всегда могут производиться вне очистного забоя.
- Не требуется присутствие машиниста в очистном забое.
- Максимально безопасная работа в очистном забое.
- Надежность работы даже при наличии волнистой гипсометрии угольного пласта и геологических нарушений.
- Дозированная передвижка с определенной глубиной резания в зависимости от крепости угля постоянно обеспечивает прямолинейность очистного забоя.
- Интеллектуальные приводные системы гарантируют оптимальную защиту цепи от порывов.
- Более высокие нагрузки на очистные забои, достигающие 10000т в сутки на тонких пластах от 1 до 1,5м.
- Снижение зольности на 3-4 % за счет устранения присечек боковых пород, улучшение качества отгружаемой продукции, повышение содержания крупно-средних сортов на 12-20%.
- Уменьшение трудоемкости и повышение безопасности работ.
- Значительное снижение затрат на концевые и вспомогательные операции.
- Снижение вероятности проявлений газодинамических явлений при отработке пластов, опасных по внезапным выбросам и горным ударам.

Применение струговых установок позволяют устранить недостатки, присущие комбайновой выемке угля при отработке тонких пластов.

Вывод: в результате анализа технологических схем отработки тонких пологих пластов выявлено несколько наиболее распространённых и экономиче-

ски выгодных направлений в данной области:

- с применением струговой установки;
- с применением комбайна.

Многолетний отечественный и зарубежный опыт показал, что при отработке тонких пластов в большинстве случаев применяются струговые установки. В настоящее время этот способ выемки угля является наиболее перспективным и технологически удобным для практического перехода на безлюдную выемку как в самом очистном забое, так и на штреках.

Библиографический список

5. Зависимость производительности очистного забоя от продолжительности нештатных операций / И. В. Антипов, А. В. Савенко, И. А. Турбор / УкрНИМИ НАНУ, Донецк. - 2015. - №15. - С.68-78.

6. Техническая документация шахты «Есаульская».

3. Оценка эффективности применения отечественного и импортного оборудования в подготовительном забое / А. А. Обрядин, Е. В. Черешнева, С. В. Риб, А. М. Никитина // 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. 96-99. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

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

5. 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.

6. Высокоэффективная струговая выемка при отработке тонких пластов в условиях шахт Кузбасса // Борзых Д.М., Никитина А.М, Риб С.В. / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 55–57.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

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 приведен анализ существующих методов и средств борьбы с пылью. Для снижения запыленности воздуха до санитарных норм предложен комплекс мероприятий.

Ключевые слова: запыленность, угольная пыль, борьба с пылью, пылеподавление.

Оснащение угольных шахт высокопроизводительной проходческой техникой и большой объем взрывных работ привели к сильному возрастанию запылённости и метанообильности подготовительных выработок, превратив их в объект повышенной пожаро- и взрывоопасности [1-7]. Применяемые в таких условиях средства не в состоянии поддержать допустимую нормативную атмосферу. В результате на всём протяжении выработки покрыты отложившейся угольной пылью или в определённых условиях имеет метановый слой [1]. Применяемые в настоящее время способы и средства пылеподавления, к сожалению, недостаточно эффективны. Поэтому потенциальная опасность взрывов метано- пылевоздушных смесей всегда остается, требуя разработки качественно новых способов борьбы с пылью, обеспечивающих высокие темпы проведения горных работ.

К периодическим источникам пылевыделения относятся взрывные работы в подготовительных выработках и на добычных участках, разбучивание углеспускных печей. Эти процессы характеризуются выделением большого количества пыли в течение непродолжительного времени [1].

Для борьбы с пылью в горных выработках необходимо знать закономерности движения пылевых частиц, их оседание и повторный переход во взвешенное состояние. В числе факторов, влияющих на эти процессы, форма и размеры пылевых частиц. Форма пылинок, образующихся при добыче полезного ископаемого, может быть самой разнообразной: кубической, столбчатой, плитчатой, удлиненно-плитчатой, пластинчатой и удлиненно-пластинчатой. Форма находится в прямой зависимости от физико-механических свойств (структуры, излома, твердости, хрупкости и др.).

Угольная пыль, находящаяся во взвешенном состоянии, более пожаро- и взрывоопасна, чем отложившаяся на стенках, почве и кровле выработки. Объясняется это тем, что горение отложившейся пыли протекает аналогично горению твердых веществ, в то время как горение взвешенной в вентиляционном потоке угольной пыли может происходить в виде взрыва.

Значительный вклад в решение проблемы снижения уровня запыленности на горнодобывающих предприятиях внесли такие учёные как: А.И. Ксенофоптова, В.В. Кудряшов, И.Г. Ищук, Б.Ф. Кирин, А.Д. Рубан, Ю.В. Шувалов, М.М. Сметании, И.П. Озерной, Г.А. Поздняков, С.П. Подображин, А.А. Трубицын, Л.Я. Лихачёв, С.Б. Романченко, О.В. Скопинцева и др.

Как показали исследования МакНИИ, во взрыве пыли принимают участие пылинки, начиная от мельчайших частиц до частиц размером 0,75-1 мм. Установлено, что основным носителем взрывчатых свойств пыли являются фракции размером менее 75 мкм.

В России к опасным по пыли относятся пласты угля (горючих сланцев) с выходом летучих веществ 15 % и более, а также пласты угля (кроме антрацитов) с меньшим выходом летучих веществ, взрывчатость пыли которых установлена лабораторными испытаниями.

В настоящее время методы и средства пылеподавления можно рассматривать как неотъемлемую составную часть подземного технологического комплекса. На первом месте стоят мероприятия, направленные на уменьшение пылеобразования, на втором - методы подавления пыли в процессе ее образования, а затем способы и средства обезвреживания образовавшейся пыли, т.е. ее улавливания и осаждения.

В современных условиях на угольных шахтах важнейшим методом борьбы с пылеобразованием при выемке угля является увлажнение угля в массиве. Ни в одном другом случае не удастся так же эффективно уменьшить интенсивность пылеобразования. Для этой цели применяются традиционные способы увлажнения угольных пластов, такие как нагнетание растворов и эмульсий через шпуров, короткие и длинные скважины, пробуренные из очистного забоя. Однако при увеличенном объеме добычи в забое данная технология увлажнения угольного массива связана с нарушением производственного процесса, так как в течение короткого промежутка времени, на которое прерывается ведение выемочных работ, не всегда удастся ввести то количество воды, которое необходимо для эффективного пылеподавления при данных объемах добычи.

Для повышения эффективности предварительного увлажнения угольного массива в воду могут добавляться смачиватели, коагулянты или растворы солей, облегчающие процесс проникновения жидкости в поры и трещины пласта. В некоторых случаях были отмечены однозначные признаки уменьшения пылеобразования. Однако рекомендовать их к повсеместному применению все же нельзя, так как не всегда наблюдалось повышение эффективности увлажнения.

Для нагнетания воды в угольный массив разработаны специальные нагнетательные установки с автоматическим регулированием параметров нагнетания типа УНВ, рисунок 1 [8].

В настоящее время проводится большой объем работ по разработке и применению эффективных мер по борьбе с пылью при передвижке механизированной крепи, однако, несмотря на стандартное оснащение секций, пока

не удалось найти удовлетворительного решения. Следовательно, необходимы новые идеи и другие подходы к решению проблемы борьбы с пылью. Как известно, на пылесвязывающий эффект воды влияет продолжительность ее контакта с пылью. Осаждение сравнительно быстро осыпающейся с перекрытий крепи пыли каплями воды оказывается менее эффективным, чем нагнетание воды в наслоившуюся на перекрытие массу, чтобы увлажнить пыль и сделать ее нелетучей.

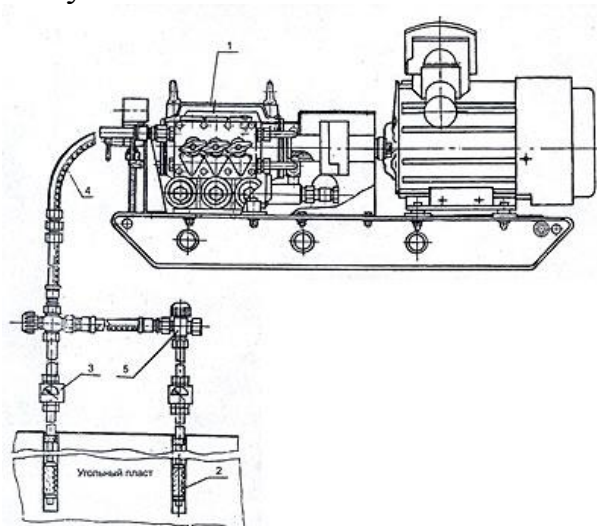


Рисунок 1 – Установка для нагнетания жидкости в угольный массив УНВ-2М [8]

Для снижения запыленности воздуха до санитарных норм предлагается следующий комплекс мероприятий:

1. При очистной выемке:

– предварительное увлажнение угольного массива нагнетательными установками с автоматическим регулированием параметров нагнетания типа УНР через скважины, пробуренные из конвейерных штреков буровыми станками БЖ45-100Э;

– выемка угля производится без подготовки ниш;

– односторонняя работа очистного комбайна, исключая подрубку кровли или почвы пласта;

– орошение в зоне разрушения и погрузки угля;

– средства обеспыливания при передвижке механизированных крепей;

– очистка от пыли исходящих из забоев вентиляционных струй с помощью водяных завес.

2. При проведении выработок проходческими комбайнами:

– увлажнение угольного массива нагнетательными установками УНР через длинные скважины;

– орошение мест работы режущего и погрузочного органов комбайна, а также места перегрузки отбитой горной массы;

– взрывозащитное орошение с подачей жидкости в зону разрушения в

забоях, опасных по фрикционному искрообразованию;

- пылеотсос с помощью пылеулавливающих установок;
- связывание осевшей пыли, также ее смыв;
- при проветривании подготовительных выработок исключается поступление в них пыли из соседних действующих забоев.

3. При буровзрывных работах:

- бурение с промывкой шпуров;
- водяная забойка;
- водяные завесы при взрывах шпуров;
- орошение взорванной горной массы;
- связывание осевшей пыли и ее смыв.

4. В местах погрузки и перегрузки угля и породы:

- форсуночное орошение;
- устройство течек, исключающих свободное падение горной массы с большой высоты.

5. При работе ленточных конвейеров:

- автоматическое орошение горной массы на конвейере;
- укрытия с пылеотсосом на пунктах перегрузки;
- очистка холостой ветви конвейера;
- контроль запыленности с помощью аппаратуры дистанционного контроля;

В случае, когда технические меры не могут обеспечить снижения запыленности рудничного воздуха до предельно допустимых концентраций, на рабочих местах с интенсивным пылеобразованием рекомендуется обязательное применение противопылевых респираторов.

Библиографический список

1. Фомин А.И. Исследование влияния угольной пыли на безопасность ведения горных работ / А.И. Фомин, Я.С. Ворошилов, Д.Ю. Палеев // Горная промышленность. – 2019. – № 1 (143). – С. 70-73.

2. Снижение запыленности горных выработок в условиях шахты «Хакасская» // А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сибирский государственный индустриальный университет; под общественной редакцией М.В. Темлянцева. 2019. С. 96-100. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

3. Снижение запыленности горных выработок в условиях шахты «Талдинская - Западная-1» // В. А. Сизых, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 7. Технические науки. - С. 267-271. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

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

5. Увеличение темпов проведения подготовительных выработок на высокогазоносных угольных пластах // Салманова Е.А., Никитина А.М., Риб С.В. / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. 2020. С. 58-62.

6. Разработка технических решений по обеспечению пылевзрывобезопасного состояния горных выработок угольных шахт // Секингер Н.Ю., Никитина А.М., Риб С.В., Коряга М.Г. / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. 2020. С. 62-66.

7. 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.

8. Руководство по эксплуатации УНВ 2М.00.000 РЭ – ЗАО «СИБГОРМАШ», 2004г. URL: [https:// http://www.sibinfo.org/gidravlika/products/undnvup.htm](https://http://www.sibinfo.org/gidravlika/products/undnvup.htm).

УДК 622.456

ПРИМЕНЕНИЕ ВСПЕНЕННЫХ ПЛАСТМАСС ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УТЕЧЕК ВОЗДУХА В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ РУДНЫХ И УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Мысак Е.А., Павздерин К.А., Белкина О.Е., Агеев Д.А
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kirill_03_04@mail.ru*

В данной статье предложен способ снижения уровня утечек воздуха в выработках, за счет напыления полимерного состава, обеспечивающего герметизацию горных выработок.

Ключевые слова: вентиляция, виларес-РНП-БН, утечки, рудник.

Запасы полезных ископаемых Крайнего севера представляют большую ценность в том числе и кимберлитовая трубка «Удачная», она расположена на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и территориально относится к Мирнинскому району Республики Саха (Якутия). Освоение кимберлитовой трубки является приоритетной целью. Специфика природных условий Крайнего Севера обуславливает их влияние на ведение горных работ. Запасы первоначально были отработаны в бортах карьера, затем началась отработка запасов под дном карьера.

Целью работы является – снижение уровня утечек воздуха в рудопородную подушку на всех горизонтах рудника за счет герметизации горных выработок.

Решение вопроса утечек в рудопородную подушку в данной работе осуществляется на примере рудника «Удачный».

Месторождение находится на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и территориально относится к Мирнинскому району Республики Саха. Рельеф местности в районе месторождения под действием техногенных факторов при освоении трубки существенно изменился.

Месторождение трубки «Удачная» обладает нефтебитумонасыщенностью – нефть и битум фиксируются как в осадочных породах, так и в кимберлитах

Рудник является газоопасным. Газоносность месторождения обусловлена наличием растворенных в нефтях и рассолах газов. Схема проветривания рудника центральная, при этом часть исходящего воздуха выдается через порталы в борт карьера, способ проветривания – нагнетательный [1].

Предлагается использовать пенопласт Виларес-РНП-БН для герметизации горных выработок. Данный пенопласт представляет собой вспененную пластмассу мелкоячеистой структуры и образуется в результате экзотермической реакции полимеризации при смешивании фенолоформальдегидного резолы, кислотного катализатора и многофункционального продукта марки ФЭБ. Основные достоинства разработанной композиции:

- относится к группе трудногорючих;
- может приготавливаться непосредственно в горной выработке при температуре окружающего воздуха $t = 15/40^{\circ}\text{C}$;
- возможность использования технологии как напыления, так и заливки;
- высокие адгезионные, воздухо- и теплоизоляционные свойства;
- возможность достаточно широкого изменения прочности (от 0,2 до 4,5 МПа);
- стойкость к воздействию масел и кислотных жидкостей [2].

Нанесение пенопласта на поверхность выработки осуществляется напылением при помощи специальной установки МНШ-3 и пистолета-распылителя.

Применение фенолоформальдегидного состава для герметизации горных выработок требует дополнительного решения некоторых вопросов техники безопасности, а также технологических требований. К числу техноло-

гических требований относятся необходимость предварительной подготовки оборудования и места нанесения покрытия, соблюдения определенной последовательности выполнения операций. В зоне ведения работы необходимо убрать все куски отслоившейся породы, струей сжатого воздуха сдуть пыль и мелкие куски породы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Нанесение полимерного покрытия

При проведении работ по герметизации перемычек подземных выработок следует учесть, что компоненты пенопласта Виларес-РНП-БН выделяют в окружающее пространство вредные для организма фенол (в момент пенообразования свыше 10 мг/м^3) и формальдегид (свыше 1 мг/м^3). Через час после образования пенопласта выделение фенола и формальдегида снижается соответственно в 5 и 15 раз. Измерения в шахте показали, что выделяемые в рудничную атмосферу вредности - фенол и формальдегид - в некоторых случаях в 6-7 раз превышают предельно допустимые концентрации (ПДК).

В связи с этим запрещается постоянное пребывание людей в выработке, в которой ведется герметизация, на расстоянии 200 м по ходу вентиляционной струи. Кроме того, на расстоянии 3 м от места напыления по ходу вентиляционной струи необходимо установить водяную завесу, включаемую за 15 мин до начала и выключаемую через 1 ч после окончания работ. Вода поглощает фенол и формальдегид, а содержащиеся в летучих соли, кислоты, щелочи переводит в связанное состояние [3].

Вследствие снижения утечек воздуха в рудопородную подушку, снизится и требуемое количество свежего воздуха, подаваемого в горные выработки. Для решения этой задачи предлагается создание автоматизированной системы, которая включает себя взаимодействующие между собой стационарные газоанализаторы и вентиляторные установки главного проветривания. Сущность работы данной системы заключается в том, что мощность работы вентиляторных установок регулируется автоматически, ориентируясь на данные полученные с газоанализаторов и датчиков скорости движения воздуха и при превышении предельно допустимых концентраций ядовитых газов будет увеличиваться мощность вентиляторных установок за счет регулирования угла поворота лопастей вентилятора.

Библиографический список

1. Дроздов А.В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011.- №3. – С. 153-165.

2. Берлин А.А., Шутов Ф.А. Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров. М.: Химия, 1978. – 296 с.

Технологические особенности напыления Виларес-РПП-БН // sv-barrisol.ru URL: <http://sv-barrisol.ru/polimernye-kompozicii/1317-tehnologicheskie-osobennosti-napyleniya-vilares-rnp-bn.html>.

УДК 622.235

РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Пустовит А.В., Фурасов А.Н.

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

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

В данной статье рассматривается роботизация грузоперевозок на открытых горных работах.

Ключевые слова: грузоперевозки, автосамосвал, роботизация, диспетчеризация, открытый способ разработки месторождений, Yandicoogina и Nammuldi.

Преобладающим направлением развития мировой горной промышленности в ближайшей перспективе считается открытый способ разработки месторождений, обеспечивающий наивысшие экономические показатели. Дальнейшее развитие горных работ зависит не только от применения новых разнообразных видов горного и транспортного оборудования, но и от ускоренной разработки и широкого внедрения на карьерах современных автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами с использованием спутниковой навигации.

В последние годы производство робототехники переживает мощный подъем. В 2020 г. объем рынка промышленных роботизированных систем управления составил 16 млрд долларов, а его рост (по прогнозу Международной федерации робототехники) ожидается 10-12 % в год.

Сегодня в горной промышленности имеется ряд острых проблем:

- нестабильность рынка;

- оптимизации работы человека с использованием автоматизированных систем грузоперевозок;
- сложное управление и требование единого контроля;
- оперативное вмешательство.

За рубежом создание роботизированных технологий ведется уже многие годы. Известно, что в эти исследования и разработки вкладываются очень большие деньги, ожидаемые результаты от внедрения достигаются не сразу, например, на первых порах КТГ карьерных самосвалов снижается, производительность падает, но компании настойчиво продолжают двигаться вперед и совершенствуют технологии. Для мировых горных компаний и производителей горной техники, как уже отмечалось выше, цифровая трансформация и роботизация, как ее современный этап, означают, прежде всего, захват новых рынков, в большей степени, чем решение текущих проблем повышения операционной эффективности.

Компания Komatsu использует более 130 роботизированных самосвалов оснащенной автоматической транспортной системой (Autonomous Haulage Systems – AHS) перевозящих разные грузы на шести горных предприятиях в Австралии, Северной и Южной Америке [3].

В 2010 г. компания Rio Tinto создала диспетчерский центр, который контролирует 4 морских порта, 15 рудников и 43 железнодорожных состава. Сегодня компания Rio Tinto использует более сотни роботизированных самосвалов AHS на своих рудниках Yandicoogina и Nammuldi. Управление самосвалами осуществляется операторами из центра в Перте, находящейся в 1200 км от места добычи. В настоящее время – это пример наиболее комплексного применения автономной технологии.

Заслуживает внимания отечественный опыт разреза Черногорский (горнопромышленный холдинг ОАО «СУЭК») в Хакасии по введению в эксплуатацию роботизированных самосвалов.

В настоящее время на разрезе Черногорский работают два роботизированных самосвала БЕЛАЗ – 7513R грузоподъемностью 130 т. Технология внедряется компанией «Вист групп» (входит в ГК «Цифра») (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 - Роботизированный самосвал БЕЛАЗ – 7513R с разреза Черногорский (Хакасия)

Самосвалы БЕЛАЗ работают на угольном разрезе «Черногорский» (УОГР Абаканский, г. Черногорск, Хакасия) в паре с экскаватором ЭКГ-8У.

Беспилотные автомобили движутся по выделенному участку разреза, протяженностью 1350 метров и перевозят вскрышную породу. В настоящее время идет оптимизация под конкретные геологические условия разреза, чтобы максимизировать эффективность цикла перевозки. В дальнейшем планируется, что эксплуатация роботов перейдет в круглосуточный режим и этот цикл будет повторяться без необходимости непосредственного участия человека в этом процессе.

Одновременное движение сразу двух самосвалов на одном участке - самая технологически сложная часть проекта. Для реализации разъезда двух автомобилей были созданы специальные алгоритмы, позволяющие выбрать оптимальную очередность движения самосвала. Также на участке имеется пересечение с технологической дорогой общего пользования, для переезда которой реализован алгоритм автоматизированного управления шлагбаумами и светофорами на перекрестке.

Ранее были проведены испытания, во время которых самосвал двигался без остановок 24 часа на испытательном полигоне БЕЛАЗ, совершив 500 технологических циклов.

Точность и надежность передвижения самосвалов обеспечивается современным оборудованием. В частности, это лидеры Quaenergy и LeddarTech, радары Delphi, камеры Orlaco, радиооборудование АBB TropOS и высокоточная спутниковая связь навигация Trimble, работающая в паре с инерциальной системой навигации Xsense [2].

В восточной части каменноугольного месторождения «Разведчик» в Кондомском геолого-экономическом районе Кузбасса расположен разрез «Степановский». В административном плане рассматриваемый участок размещается в Новокузнецком муниципальном районе Кемеровской области, на землях Новокузнецкого муниципального района и лесного комплекса Кемеровской области. Ближайшие населенные пункты – поселок Красинск, села Сосновка, Куртуково.

В настоящий момент на разрезе «Степановский» работают автосамосвалы БелАЗ-7555В, БелАЗ-7555Е, БелАЗ-7557, Komatsu HD785-7, Terex TR100, БелАЗ-75131 в количестве 10 – 12 штук ежедневно. Срок службы разреза «Степановский» на первом этапе отработки составляет 17 лет. Проектная мощность 1500 тыс. т/год.

В качестве альтернативного оборудования авторами статьи предлагается использование автосамосвалов Doosan Моху МТ-41, Bell В40D на основе диспетчерского управления техникой.

При внедрении автоматизированного управления транспортом на разрезе предлагается на первом этапе:

- создать постоянно пополняемую базу данных использования Транспортного оборудования с анализом причин простоев

высокопроизводительной техники;

- замерить время на концевые операции, с выходом и посадкой водителя;

- диагностика и своевременная профилактика;

- организация весового контроля – поставить датчик массы.

Таблица 1 – Чек лист простоя самосвалов

<i>Наименование операции</i>	<i>Ожидание погрузки</i>	<i>Маневровые операции на погрузку с выходом и посадкой водителя</i>	<i>Время в пути на пункт весового контроля</i>	<i>Ожидание на пункте весового контроля</i>	<i>Время в пути на разгрузку</i>	<i>Время в пути на погрузку</i>
<i>Максимальное время, мин</i>	25	29	15	26	60	50
<i>Среднее время, мин</i>	15	27	10	15	45	30
<i>Примечание</i>						

На основании фактических данных авторами статьи сделан вывод о целесообразности установки системы ГЛОНАС для определения скрытых резервов производства. Исходя из результатов наблюдений по таблице 1, после исключения части вынужденных простоев рекомендован к применению экспериментальный роботизированный самосвал.

Стабильная работа транспорта позволит экономить ГСМ, снижать аварийность, что позволит внедрить беспилотные самосвалы.

Проверка (мониторинг) работы горнодобывающих предприятий на вскрышных работах позволит определить целесообразность применения методов дистанционного управления и контроля за работой экскаваторов.

Основной ожидаемый эффект от роботизированной техники заключается в снижении затрат на ремонты, а также обеспечение безопасности персонала, оптимизирование параметров ведения добычи (ширина зоны погрузки, дорог, обусловить изменение углов бортов карьера), решение вопросов нехватки квалифицированных кадров.

Библиографический список

1. Клебанов Д.А. Основы создания и научно-технические этапы реализации роботизированной системы грузоперевозок на действующих горных предприятиях /К.Н.Трубецкой, Д.А.Клебанов, С.В.Лсученя // Горный журнал- 2013 -№10 - С. 67-73.

2. Бондаренко А.В., Клебанов Д.А. Диспетчеризация – повышение эффективности горных работ. Глобус. № 2 (15), 2011, с. 68-74.

3. Клебанов Д.А. Применение технологий высокоточной спутниковой навигации в горнодобывающей отрасли / Д.А.Клебанов, М.А.Макеев // Недропользование XXI-2010-№5-С. 34-36.

**АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА ГОРНЫЕ
ВЫРАБОТКИ ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
НА АО «РАЗРЕЗ «СТЕПАНОВСКИЙ»**

Агеев Д.А., Климкин М.А., Пустовит А.В.

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

В данной статье приведен анализ буровзрывных работ на АО «Разрез «Степановский», воздействия массовых взрывов на горные выработки. Приведены также ситуационный план ведения взрывных работ на 2021 год, схема простирания песчаника по кровле, на основании данных буровзрывных работ построен график зависимости удельного расхода ВВ.

Ключевые слова: буровзрывные работы, массовые взрывы, воздействие массовых взрывов, сейсмические колебания, удельный расход ВВ.

Для разрушения горных пород и полезного ископаемого используется буровзрывной способ, являющийся наиболее эффективным в сравнении с другими способами разрушения.

Взрывное дробление пород и полезного ископаемого осуществляется проведением массовых взрывов скважинных зарядов. Количество взрывчатых веществ на массовый взрыв изменяется в пределах от 4 до 200 – 300 тонн и более. Такое количество взрывчатых веществ, применяемых с большой периодичностью, и на протяжении более десятка лет, приводит к негативным проявлениям, к которым относится изменение структуры и механических характеристик пород, в радиусе зоны сейсмического воздействия. Данное проявление требует постоянного внимания и при длительном воздействии может привести к деформации горных выработок, а также сооружений, находящихся в непосредственной близости к предприятию, где осуществляется взрывные работы.

Из анализа литературы следует, что, хотя проблема изучается давно, но актуальности своей не потеряла и на сегодняшний день, т.к. различные научные исследования, как правило, проводились для отдельно взятых месторождений и регионов. Данные, полученные различными исследователями, в большинстве случаев справедливы для конкретных условий, в которых проводились экспериментальные работы, поэтому для условий месторождений в Кузбассе, требуется проведение комплекса исследований с целью изучения постоянного воздействия промышленных взрывов на грунты и горные выработки [1,2].

Сейсмические колебания земной поверхности при проведении промышленных взрывов зависят от многих факторов, и носит чрезвычайно сложный характер. Причинами этого являются как совокупность горно-

геологических условий на пути распространения сейсмозрывных волн, так и особенности самого промышленного взрыва как источника упругих волн.

Объектом исследования выступило горнодобывающее предприятие АО «Разрез Степановский», находящееся на юге Кузбасса в 20 км от г. Новокузнецка, вблизи пос. Гавриловка. Оработка угольного месторождения «Разведчик» ведется открытым способом.

Добыча угля на разрезе АО «Разрез Степановский» ведется при помощи буровзрывного рыхления вмещающих пород с применением массовых взрывов. Горные работы ведутся на расстоянии от 1200 м до поселка Гавриловка.

Буровзрывные работы на АО «Разрез «Степановский» были сконцентрированы на четырех участках в следующих периодах:

- 2011-2019г. на Южном блоке;
- 2014-2019гг. на Центральном блоке;
- 2017-2020гг. на вост. крыле Красинской антиклинали Северного блока;
- 2019г. - по н.в. на западном крыле Красинской антиклинали Северного блока (рисунок 1).

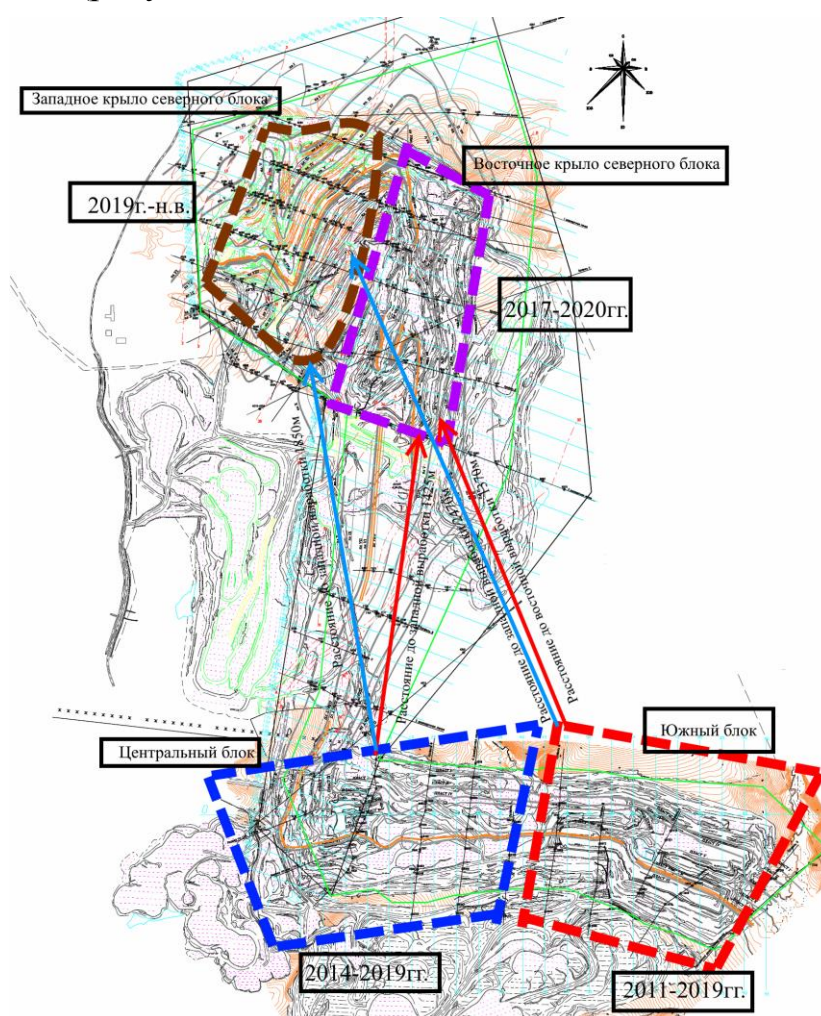


Рисунок 1 – Схема горных работ

Основная часть пород участка представлена переслаиванием алевролитов с песчаником. Алевролиты обычно темно-серые, часто неслоистые, иногда с мелкой неясно выраженной слоистостью. Песчаники чаще светло-серые мелко- и среднезернистые, крепкие, с мелкой неясно выраженной слоистостью [2]. Физико-механические свойства коренных пород представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические свойства коренных пород

Показатели физико-механических свойств	Песчаники м/з	Переслаивание песчаника м/з и к/з	Переслаивание алевролита и песчаника
1	2	3	4
Временное сопротивление сжатию, кг/см ² (по каждой пробе серия определений)	Макс. значения	<u>244-1260</u> 817(15)	<u>648-875</u> 751(1)
	Мин. значения	<u>44 - 982</u> 480(15)	<u>648-875</u> 751(1)
	Ср. значения	<u>105-1127</u> 619(15)	<u>648-875</u> 751(1)
Динамический коэффициент крепости	<u>2,0-6,83</u> 4,31(11)	7,33(1)	<u>2 - 7</u> 4,33
Плотность, г/см ³	<u>2,66-2,77</u>	2,71(1)	<u>2,66-2,73</u>
Объемная масса, г/см ³	<u>2,35-2,63</u> 2,56(15)	2,63(1)	<u>2,25-2,59</u> 2,49(6)
Общая пористость, %	<u>2,27-14,37</u> <u>5,94(15)</u>	2,83(1)	<u>4,95-17,61</u> <u>7,85(6)</u>
Крепость по М.М. Протодьяконову	5	7	5
Трудность экскавации	IV	IV	IV
Категория буримости	V	V	V

В качестве объекта для анализа физико-механических свойств пород, под долгосрочным воздействием массовых взрывов, был определен массив песчаника, проходящий по кровле VI пласта, который на основе данных геологоразведки является наиболее однородным и имеет однотипную структуру на всем простирании [3,4]. На основании вышеуказанных результатов геологоразведочных работ а также данных эксплуатации с 2011г. по 2021г., была построена схема простирания плиты песчаника вдоль кровли VI пласта через границу участка (рисунок 2).

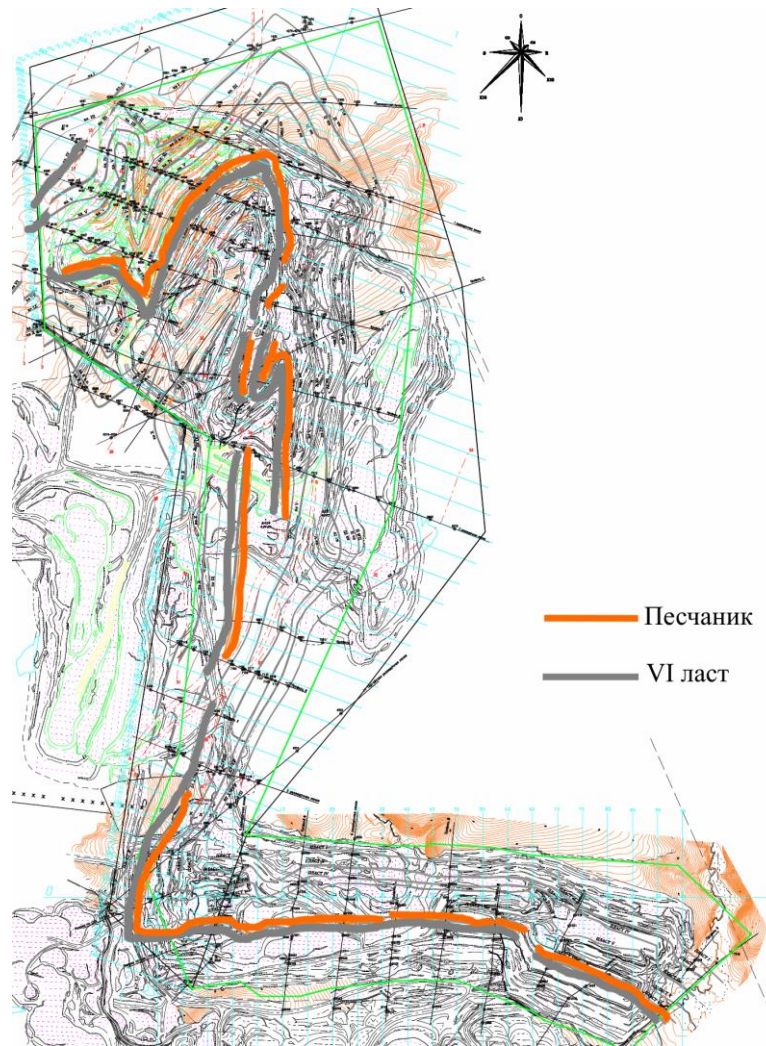


Рисунок 2 – Схема простирания песчаника по кровле VI пласта
 На рисунке 3-6 приведены профили разведочных линий.

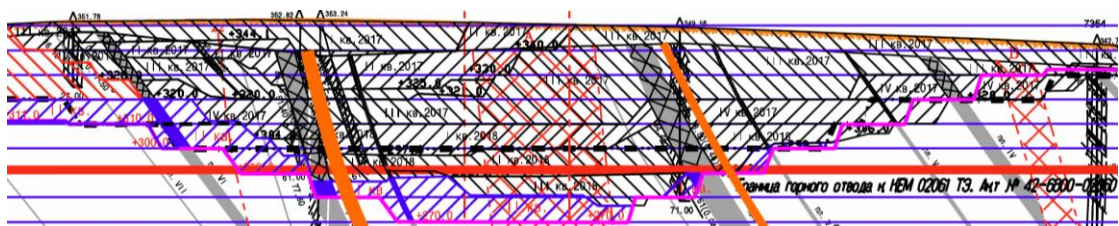


Рисунок 3 – Профиль Д

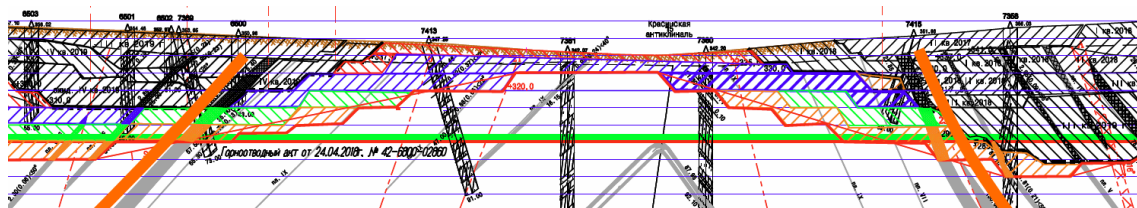


Рисунок 4 – Профиль

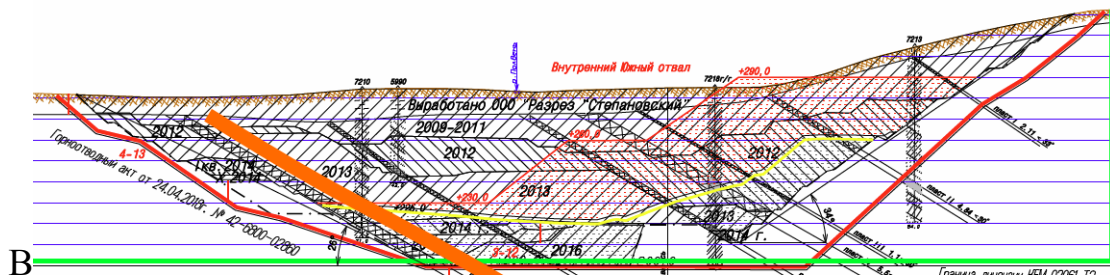


Рисунок 5 – Профиль Ш

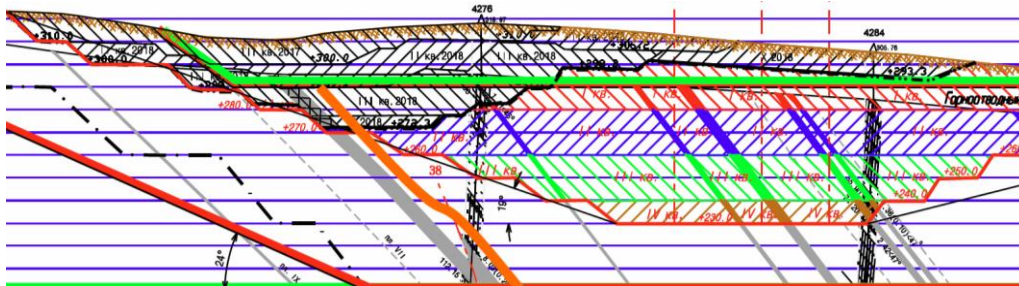


Рисунок 6 – Разрез II

За период 2011-2021 года на предприятии было взорвано 979 блоков. Взрывные работы на Южном блоке велись на протяжении девяти лет, за это время на данном участке было взорвано 293 блока, на Центральном блоке за шесть лет отработки были проведены взрывные работы на 347 блоках. Суммарно на Центральном и Южном блоках, за весь период отработки было взорвано более 18 тыс. тонн взрывчатых веществ.

На основе данных буровзрывных работ за все время разработки, построим график зависимости удельного расхода ВВ на блоках в соответствии с продвижением фронта работ. Для анализа были взяты по 36 блоков на каждом из участков, расположенных на схожих горизонтах и находящиеся в однотипных горно-геологических условиях, по кровле VI пласта пересекающих плиту песчаника на Южном, Центральном и Северном блоках. График представлен на рисунке 7.

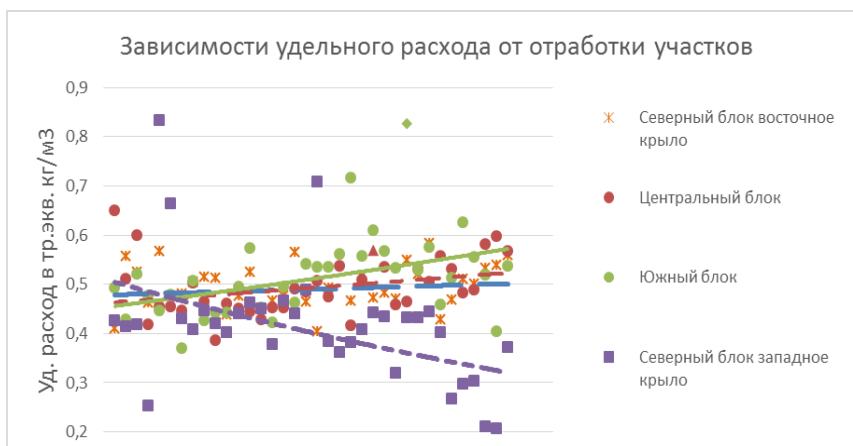


Рисунок 7 – График зависимости удельного расхода ВВ

Анализ полученных зависимостей показал, что в результате периодического проведения взрывных работ на участках, обрабатываемых в более поздние периоды, изменилась структура пород: повысилась трещиноватость массива, снизилась его устойчивость к нагрузкам, что подтверждает снижение удельного расхода взрывчатых веществ на м³. Данное проявление говорит о непосредственном влиянии массовых взрывов на устойчивость горного массива, что может привести к пересчету устойчивости горных выработок и изменению результирующего угла откоса в меньшую сторону, что повлечет за собой увеличение коэффициента вскрыши и корректировку балансовых запасов угля.

На основании полученных данных трудно получить точную корреляцию между степенью влияния периодических массовых взрывов на устойчивость горных выработок, находящихся в непосредственной близости к месту их проведения. Причиной этому является недостаток данных для анализа и погрешность в горно-геологических условиях грунтов, для чего требуется анализ образцов пород, сравнение данных с геологическим отчетом 2011 года и продолжения исследований на данном объекте.

Полученные данные имеют практическое применение и актуальность исследований для оптимального проведения взрывных работ на АО «Разрез «Степановский» и прогнозирования воздействия массовых взрывов на сооружения и горные выработки.

Библиографический список

1. Процессы открытых горных работ: Практикум по дисциплине «Процессы горного производства» для студентов, обучающихся по направлению 550600 «Горное дело» /сост. В.М. Мазаев, С.И. Протасов, П.А. Самусев: Кузбасский Государственный Технический Университет. - Кемерово, 2000. - 109с.
2. Исследование устойчивости подготовительных горных выработок / В.А. Волошин, С.В. Риб, М.А. Денисов, Е.В. Черешнева, В.С. Риб // Вестник СибГИУ. - 2016. - № 4 (18). - С. 27-31.
3. «Дополнение №4 к техническому проекту разработки каменноугольного месторождения «Разведчик». Отработка запасов угля открытым способом на участках недр Степановский и Степановский Глубокий 1 ООО «Разрез «Степановский» ООО «ПГПИ» 2020г.
4. Дополнение №3 разработки месторождения «Разведчик» «Степановский глубокий» АО «Разрез «Степановский». ПГПИ 2019г.

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Розум И.Г.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Домрачев А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: rozum.1999@inbox.ru*

В данной статье рассматривается возможность использования бесплатных программ реализации методов имитационного моделирования как средство разработки моделей процессов горного производства для применения в учебном процессе и научно-исследовательской работе студентов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, сети Петри, процессы горного производства, крепление механизированной крепью.

Моделирование технологических процессов является важной составляющей подготовки инженеров-технологов. Кафедрой геотехнологии ФГБОУ ВО «СибГИУ» выполнен целый ряд исследований по адаптации методов математического моделирования к задачам, решаемым на горных предприятиях и в рамках изучения технологических дисциплин специальности «Горное дело» по специализации «Подземная разработка пластовых месторождений» [1-6].

Одним из направлений имитационного моделирования является реализация моделей технологических процессов на основе сетей Петри. Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, содержащий вершины двух типов - места (обозначаются окружностями) и переходы (обозначаются прямоугольниками). Для соединения вершин используются дуги, причем на соединение вершин одного типа введен запрет. Каждое место сети может содержать ноль или более меток, которые в процессе моделирования могут переноситься с одного места на другое. Для каждого перехода может быть указано время задержки.

Для изучения основных принципов моделирования процессов технологии горного производства большой интерес представляет использование свободно распространяемых программ с минимальными функциональными возможностями, как например, VisualPetri-1.2.

С учетом особенностей топологии сетей Петри каждый отдельный элемент технологического процесса может быть представлен в виде связки «место → переход → место», где место символизирует начало рабочего процесса, а переход определяет его длительность или параметры протекания. Кроме того, отдельные переходы могут использоваться для задания порядка выполнения и синхронизации отдельных работ в составе крепления в очист-

ном забое (передвижки секции механизированной крепи). На рисунке 1 приведена модель процесса крепления, реализованная в свободно распространяемой программе VisualPetri-1.2.

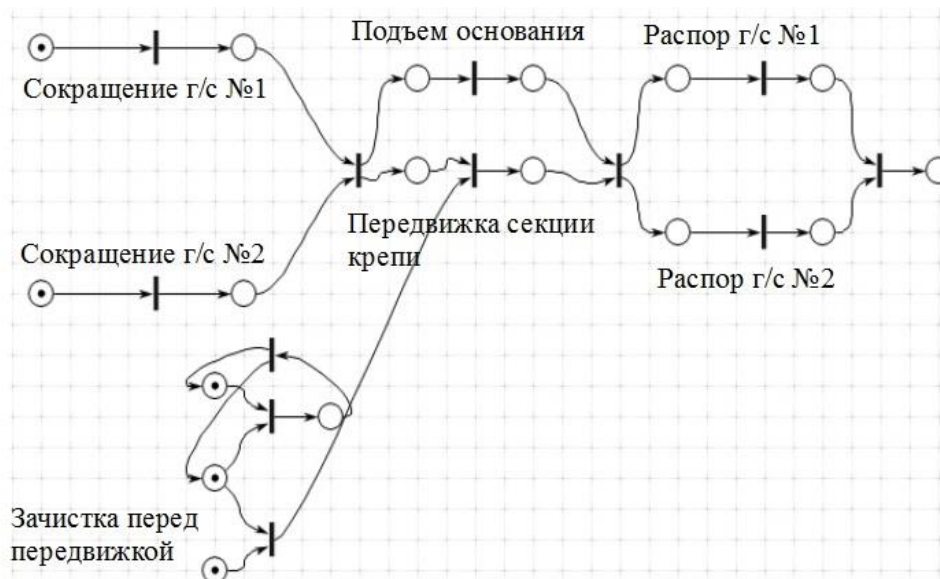


Рисунок 1 – Модель секции механизированной крепи

В качестве случайного элемента выступает зачистка пространства между секцией и забойным конвейером, необходимость и длительность которой не могут быть определены как детерминированные параметры. Зачистка секции реализована в виде системы имитации конфликта, которая позволяет представить этот процесс как стохастический с распределением времени (числа тактов) исполнения, близким к нормальному.

Длительность зачистки может быть определена согласно [7], общая длительность передвижки секции (суммарная задержка переходов) составляет 25 – 40 с. Результатом моделирования является длительность задвижки секции мехкрепя (сек), которая определяется как число тактов до момента заполнения конечного места модели.

Предлагаемая модель может быть использована в учебном процессе для детального изучения операций в составе процесса крепления очистного забоя механизированной крепью, а также для оценки скорости крепления длинного очистного забоя с учетом влияния случайных внешних факторов.

Библиографический список

1. Домрачев А.Н. Использование среды MATLAB при моделировании процессов горного производства // А.Н. Домрачев. - Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей междунар. научно-практич. конф. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под ред. Е.В. Пугачева, В.Н. Фрянова. - Новокузнецк : СибГИУ, 2002. – С. 215-219

2. Лукин К.Д. К вопросу об особенностях реализации генераторов случайных чисел при моделировании воспроизводства очистного фронта на

шахте // К.Д.Лукин, А.Н.Домрачев. - Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ. – 2008. - № 8. – С. 24-27.

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

4. Моделирование технологических процессов горного производства : Методические указания / М-во науки и высш. образования Российской Федерации, Сиб. гос. индустр. ун-т, Каф. геотехнологии; сост.: А.Н. Домрачев. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2020.–67 с.

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

6. Алгоритм вероятностной оценки длительности простоев комплексно-механизированного очистного забоя / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, Ю.М. Говорухин, В.Г. Криволапов // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2017. – № 3. – С. 153-155.

7. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах/ ИГД им. А.А. Скочинского. Часть первая: Технологические схемы. М.: Недра, 1979. – 232 с.

УДК 622.242.2

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ «БУРОВАЯ КАРЕТКА»

Садов Д.В., Дубина Е.М.

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

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

В данной статье рассматривается автоматическая система бурения шпуров, рассмотрен принцип работы буровой каретки.

Ключевые слова: буровзрывные работы, буровая каретка, система автоматического управления, шпур, манипулятор.

Для обеспечения точности действий при проходке, основные процессы зачастую выполняются ручным трудом и наиболее трудоемким из этих процессов являются буровзрывные работы. Буровзрывные работы – это процесс, который требует исключительной точности и определенных навыков и

несомненно является самым опасным.

Довольно частая ошибка при ручном бурении – это выход «негабарита», что ведет к дополнительным временным затратам на устранение (рыхление крупных кусков). Для исключения ошибок необходимо разработать устройство «копирующие» движение рук человека [1].

Отечественный и зарубежный опыт горнодобывающих предприятий доказывает, что введение дистанционного управления буровой техникой с наличием систем автоматического управления позволяет увеличить производительность БВР в 3-4 раза. Примером может стать компания «Норникель», которая после введения новейшей техники увеличила производительность в несколько раз.

Бурение шпуров выполняют специальные машины, буровые каретки. Ограниченное пространство в выработке насыщено различным оборудованием, поэтому очень важно верно подобрать габариты буровой каретки, для эффективного и безопасного бурения.

Система автоматического управления каретки выполняет следующие функции:

1) установка буровой каретки в необходимую точку в зависимости от паспорта буровзрывных работ;

2) дистанционное управление во время бурения.

САУ буровых машин должны обеспечивать.

1. Установка каретки в нужную точку автоматически по паспорту буровзрывных работ.

2. Автоматическое забуривание шпуров в требуемых режимах работы.

3. Автоматическое переключение от режима забуривания на режим нормального бурения на заданную глубину.

4. Переход в реверсивный режим при достижении необходимой глубины, без полного отключения механизма.

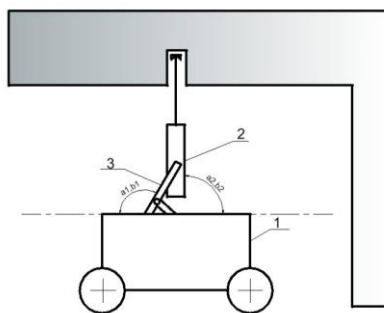
5. Автоматическое отключение всех приводов при окончании работы либо при поломке.

6. Задание нового положения шпура.

7. В случае необходимости переход на ручное управление.

Автоматическое бурение в соответствии с паспортом буровзрывных работ, осуществляется специальным роботом манипулятором, находящимся на самоходном шасси в колесном исполнении и гусеничном (возможно передвижение на гидравлических домкратах при углах наклона выработки более 35°) (рисунок 1).

На каждом этапе работы у робота манипулятора есть данные, а именно α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , по которым сверхточно по сравнению с традиционной технологией происходит бурение. α_1 и β_1 определяют угол манипулятора 3 относительно корпуса машины 1 , а α_2 и β_2 – это угловое положение продольной оси бурового станка 2 относительно продольной оси манипулятора.



1- корпус машины; 2 - буровой станок; 3 - манипулятор

Рисунок 1 – Буровая каретка автоматического бурения

Буровой станок состоит из ударника, вращателя и механизма подачи этой машины на забой с приводом этого механизма. С помощью воды из шпура удаляются продукты бурения (буровая мелочь), вода подается через водяной кран по каналам буровой машины. Для контроля бурения используется система датчиков, а управление буровой установкой производится системой пускателей. Функциональная структура такой системы представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Функциональная система структуры управления

В состав системы управления входят следующие элементы:

- КВ – кран водяной;
- ДКПВ – датчик крана пуска воды;
- ДИ1 – датчик ударно-вращательных импульсов;
- ДИ2 – датчик импульсов привода подачи;
- ДЗП – датчик заднего положения буровой машины;
- ДПП – датчик переднего положения буровой машины;
- ДЗБ – датчик забуривания;
- ПВ – пускатель подачи вперед;
- ПН – пускатель подачи назад;
- Пуд – пускатель ударника;
- ПВр – пускатель вращателя.

Принцип работы автоматической системы бурового станка заключает-

ся в следующем: перед запуском буровой установки водяной кран (КВ) открывается и подает жидкость в шпур. Датчик ДКПВ контролирует подачу воды, после его срабатывания запускается ударник, вращатель и механизм подачи машины в забой. Подача выполняется в режиме забуривания, которая характеризуется малым усилием подачи. За продолжительность режима отвечает датчик ДЗб. При срабатывании этого датчика, буровая установка переключается на нормальную подачу. Импульсные датчики ДИ1 и ДИ2 контролируют процесс бурения. Завершение бурения сигнализирует датчик ДПП, пока он не сработает бурение будет продолжаться. Срабатывание этого датчика сигнализирует о переходе в реверсивный режим. Обратное движение бурового инструмента продолжается до срабатывания датчика ДЗП. При срабатывании датчика отключаются все приводы и перекрывается подача воды. Далее управление передается роботу-манипулятору для установки буровой машины в новое положение [2].

После проделанной работы буровой кареткой, специалисты взрывники закладывают взрывное вещество (ВВ) согласно паспорту буровзрывных работ и вместе с буровой кареткой покидают выработку. После взрыва пространство очищается от горной массы и процесс повторяется. Именно для закладки ВВ в нашей системе используется ручной труд для большей безопасности.

Система автоматического бурения шпуров позволяет сократить время буровзрывных работ, повысить точность при верном использовании и увеличивает безопасность в выработке.

Библиографический список

1. Робототехника / Ю. Д. Андрианов, Э. П. Бобриков, В. Н. Гончаренко и др.; Под ред. Е. П. Попова, Е. И. Юревича.- М.: Машиностроение, 1984.- 288 с.
2. Автоматизация технологических процессов горного производства: учеб. Пособие/ Р.А. Сажин. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009.

УДК 622.242.2

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БУРОВЫМИ РАБОТАМИ НА РУДНИКЕ

Садов Д.В., Дубина Е.М.

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

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

Одной из наиболее тяжелой работы на руднике на данный момент являются буровые работы. В данной статье описан вариант уменьшения трудо-

затрат и повышения скорости работ.

Ключевые слова: буровзрывные работы, буровой станок, система автоматического управления, программное управление.

Горнодобывающая промышленность является важнейшей отраслью первичного сектора, которая включает в себя добычу, переработку и обогащение минерального сырья (рудного, горно-химического, энергетического, строительных материалов). Данная промышленность самая важная составляющая экономики. Ведь она дает сырье и энергоносители для производства химической промышленности, машиностроения, строительной отрасли и так далее.

Основными проблемами на руднике являются:

- 1) большая трудоемкость при монтаже крепи;
- 2) травматизм на рабочем месте;
- 3) присутствует риск возникновения горных ударов [1];
- 4) человеческий фактор.

Как, известно, на горном производстве самым опасным местом является забой. Для повышения безопасности, авторами разработана схема ведения работ, опираясь на оборудование с программным управлением. Человек в забое находится только при подготовке оборудования к работе и его перегоне. Ведение работ диспетчер будет контролировать из мобильного диспетчерского пункта (рисунок 1).



Рисунок 1 - Мобильный диспетчерский пункт

Основные этапы проведения работ представлены на рисунке 2.

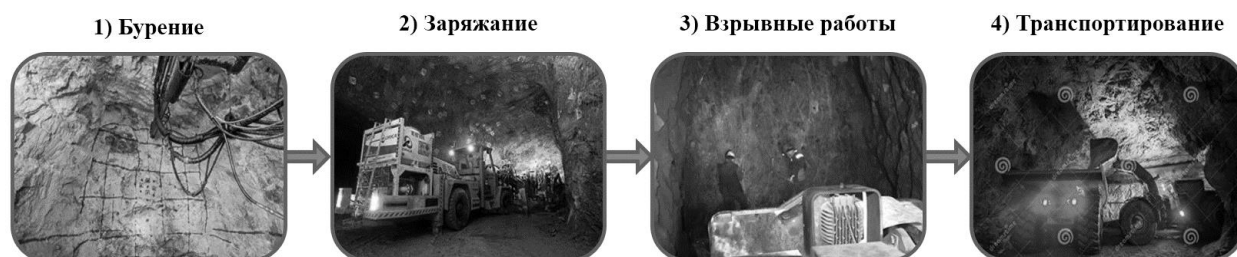


Рисунок 2 - Основные этапы ведения работ.

Для управления техникой необходима соответствующая программа, она называется «управляющая программа».

Управляющая программа — особый относительно простой машинный язык, который может понимать и исполнять буровой станок [2,3]. Чтобы понимать принцип работы программного обеспечения бурового станка, очень важно понимать, как подобная система управляется. Такие машинные языки изначально разрабатывались для непосредственного программирования управлением кареткой путем ввода команд с клавиатуры станка без использования САМ-программ. Они указывают станку, какие движения он должен совершать, одно за другим, также осуществляют контроль выполнения станком других его функций, таких как скорость подачи, частота вращения рабочего органа, глубина. Наиболее распространенным языком подобного рода является G-код или ISO-код — простой буквенно-цифровой язык программирования, разработанный в начале 1970-х годов для первых станков с ЧПУ.

G-код — наименование языка программирования систем с числовым программным управлением (ЧПУ).

Управляющая программа представляет собой обычный текстовый файл и состоит из последовательности кадров и обычно начинается с символа начало программы (%) и заканчивается M02 или M30.

Каждый кадр программы представляет собой один шаг обработки и (в зависимости от УЧПУ) может начинаться с номера кадра (N1...N10 и т.д.), а заканчиваться символом конец кадра (;).

Кадр управляющей программы состоит из операторов в форме слов (G91, M30, X10. И т.д.). Слово состоит из символа (адреса) и цифры, представляющее арифметическое значение.

Адреса X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C, D, E являются размерными перемещениям, используют для обозначения координатных осей, вдоль которых осуществляются перемещения.

Слова, описывающие перемещения, могут иметь знак (+) или (-). При отсутствии знака перемещение считается положительным.

Адреса I, J, K означают параметры интерполяции.

G – подготовительная функция.

M – вспомогательная функция.

S – функция главного движения.

F – функция подачи.

T, D, H – функции инструмента.

Символы могут принимать другие значения в зависимости от конкретного УЧПУ.

Система электрогидравлического управления разработанная для проходческих комбайнов избирательного действия серии КП, производства АО «Копейский машиностроительный завод» уже обладает необходимыми функциями:

- Дистанционное радиоуправление комбайном;
- Управление комбайном с пульта, расположенного на рабочем месте машиниста;
- Диагностика наличия неисправностей в отдельных элементах системы;
- Микропроцессорная защита и управление электродвигателями комбайна;
- Набор датчиков для контроля широкого спектра параметров работы комбайна;
- Система передачи данных на поверхность, визуализации и формирования аналитических отчетов на рабочем месте горного диспетчера и компьютерах руководящего состава;
- Предпусковая предупредительная и аварийная звуковая сигнализация;
- И другие.

Из необходимого нужно установить дополнительный блок управления, который будет выполнять уже заданные программы с помощью уже установленной электрогидравлики.

Техника, представленная на рисунке 3 будет оборудована по схожей системе для программирования и последующего управления без участия человека.

а)



б)



а - буровая установка; б - заряжающая установка

Рисунок 3 - Горное оборудование

Библиографический список

1. Разработка технико-технологических решений по предотвращению горных ударов на угольных шахтах // Е. А. Сорокожердев, С. В. Риб, А. М. Никитина / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 1. Технические науки. – С. 97-100.
2. Блинов Ю.Ф. Методы математического моделирования 2012 – 42с.
3. Бусыгин А.М. Обоснование и выбор параметров дифференциально вращательно-подающей системы бурового станка. Диссертация к.т.н. – МГГУ, 1994.

РОЛЬ ПЕРСОНАЛА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Фурасов А.Н.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

К задачам системы управления персоналом относится способность сохранения каждым сотрудником необходимого производственного поведения для достижения поставленных компанией целей. Анализ состояния промышленной безопасности на угледобывающих предприятиях показал, что, несмотря на нормативно-методическую базу, результаты реструктуризации угольной отрасли, методы управления риском аварий и травм не в полной мере эффективны. Однако травматизм на угледобывающих предприятиях снизился, одной из причин снижения является постоянное сокращение численности персонала. А основной причиной травматизма по-прежнему остается «человеческий фактор».

Ключевые слова: организация производства, эффективность, безопасность, человеческий фактор, управление персоналом, ошибки руководителей, ошибки рабочих, персонал, управление промышленной безопасностью, организационные риски, алгоритм управления производством, функции управления.

Анализ состояния промышленной безопасности

За последние десятилетия научные исследования в области промышленной безопасности на угледобывающих предприятиях осуществлялись в нескольких направлениях, причем организация и функционирование систем обеспечения безопасности горного производства среди этих направлений остаются в приоритете. Несмотря на существующую научно-методическую базу, усовершенствованные методы управления риском аварий и травм в условиях высокой интенсивности горных работ и увеличения уровня производительности труда персонала оказались не в полной мере эффективными.

Отметим, что заметно сократилось количество шахт. Так, в 1991 г. функционировало 238 предприятий, а к началу 2020 г. их осталось 93, что почти на 60 % меньше. Основной целью реструктуризации в угледобывающей промышленности была последовательная ликвидация наиболее травмоопасных, убыточных шахт и разрезов, а также увеличение производительности труда на оставшихся действующих предприятиях. Благодаря реализации государственной программы, направленной на снижение аварийности и травматизма на предприятиях, были внедрены новые технологии и высоко-

технологическое горно-шахтное оборудование, осуществлена модернизация предприятий, освоены современные формы организации труда. Но все реализуемые противоаварийные мероприятия оказались недостаточно эффективными, а состояние безопасности недотягивает до необходимого уровня.

Травматизм на угледобывающих предприятиях в России за последние 10 лет снизился, это объясняется, в частности, постоянным сокращением численности персонала. Но несмотря на это периодически (один раз в 2-3 года) происходит резкое увеличение количества травм со смертельным исходом [1].

Проведенные исследовательские работы на угледобывающих предприятиях показали, что опасная производственная ситуация вынуждает сотрудников, которые оказались в ней, принимать такие решения и выбирать действия, которые противоречат нормам и правилам охраны труда и промышленной безопасности, а также не соответствуют уровню риска.

Выполнение работ, не предусмотренных нарядом и должностной инструкцией, а также низкий уровень профессиональной подготовки способствовали тому, что профессия электрослесаря стала наиболее смертельно опасной профессией в угольной промышленности России. Каждый пятый смертельно травмированный - электрослесарь. Ненадлежащее обучение и контроль процесса прохождения производственной практики является основной причиной увеличения смертельного травматизма среди учеников горнорабочих очистного забоя (ГРОЗ), машинистов горно-выемочных машин (МГВМ), горнорабочих и проходчиков (ГРП).

В почти 60 % случаях смертельного травматизма основным травмирующим фактором является воздействие машин и механизмов (в т. ч. транспорт). Каждый третий случай (35 %) смертельного травматизма происходит с работниками подготовительных участков. Это не только МГВМ и проходчики, но и электрослесари, горнорабочие и инженерно-технические работники.

Необходимо отметить, что гибель людей на угледобывающих предприятиях в основном не связана с авариями и техногенными катастрофами. По результатам анализа Ростехнадзором причин смертельного травматизма выявлено, что основной причиной по-прежнему остается «человеческий фактор». Отсутствие необходимой квалификации как у специалистов, так и у руководителей предприятия, а также периодически умышленное игнорирование ими требований федеральных норм и правил, нарушение производственной дисциплины влекут за собой трагедии. Это свидетельствует о том, что инженерно-технические работники не могут в полной мере обеспечить безопасные условия производства работ не только для своих работников, но даже и для себя.

Система управления персоналом

На сегодняшний день наиболее передовые компании, которые стремятся соответствовать современным условиям, начали ставить новые задачи, включающие развитие и управление персоналом. К таким задачам относятся: мотивация персонала для выполнения безопасного труда, поддержка и удер-

жание в компании высококвалифицированных сотрудников (в последнее время появилась возможность выбирать не только место работы, но и уровень оплаты), в условиях высокой инфляции осуществление индексации оплаты труда, на конкурентном рынке решение проблем по повышению производительности труда при сокращении численности персонала. С появлением новых задач и потребности их решения создаются существенные затруднения у российских угледобывающих предприятий: технологическое развитие компании высокоэффективно, а взаимоотношения собственников и персонала могут быть конфликтными. При проведении анализа деятельности угледобывающих предприятий было выявлено, что эффективность и безопасность производства напрямую зависят от несогласованности интересов и ответственности персонала. Присутствие такого дисбаланса интересов и ответственности приводит к постоянному поиску решений, которые в свою очередь вынуждают привлекать дополнительные ресурсы.

Поскольку основой конкурентоспособности угледобывающего предприятия является эффективность и безопасность производства, то необходимо уделять внимание и мотивации персонала к повышению уровня производительности [4]. Для успешного управления безопасностью необходимо обладать не только знаниями, но и умением их применять на практике. Стандартный алгоритм управления включает: проектирование, планирование и организацию, контроль и регулирование (рис. 1).

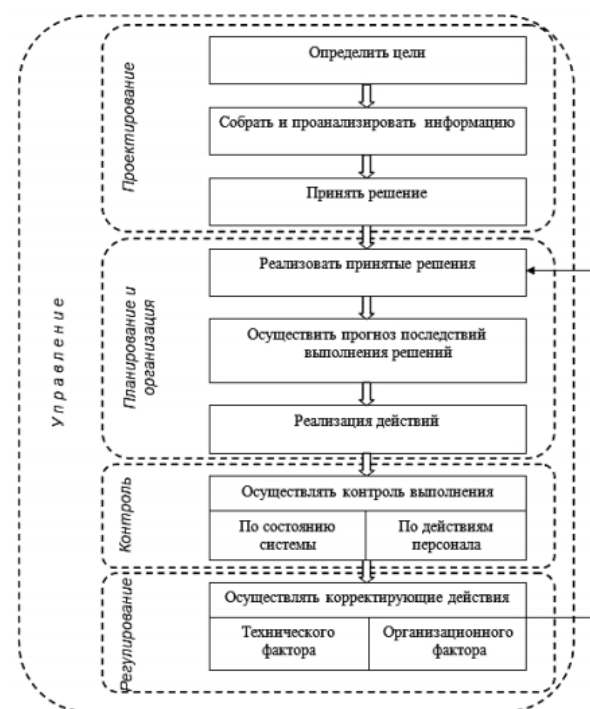


Рисунок 1 – Схема алгоритма управления технологическим процессом

Руководителю для успешного управления необходимо определить цели, проанализировать ситуацию, составить прогноз последствий выполнения решений, определить стратегию и оперативно ее реализовать. Однако возни-

кают проблемы, касающиеся любой области: технологии и техники, организации, экономики и экологии, психологии, а также методов управления. Все это создает большой круг условий, выполнение которых позволит достигнуть поставленную цель системы управления. В связи с рыночным изменением характера работ и с учётом условий подземной добычи особое внимание необходимо уделять производственной дисциплине. Несоблюдение приводит к потере рабочего времени, к травматизму и авариям [3].

Анализируя литературные источники и опираясь на накопленный практический опыт российских предприятий, можно смело утверждать, что в области управления персоналом угледобывающих компаний накоплены обширные и глубокие знания. Несмотря на это, нет единого системного подхода к разработке основ управления персоналом, который позволил бы повысить уровень промышленной безопасности. Существующие системы управления позволяют всего лишь воссоздавать уже достигнутый уровень безопасности производства. Разработав такую систему, можно будет выявить способности сотрудника и поставить его на такую должность, где он сможет реализовать их максимально эффективно.

На рис. 2 представлено содержание работ, выполняемых при реализации основных функций системы управления производством: при планировании, организации, руководстве выполнением работ и координации, а также контроле выполнения.



Рисунок 2 – Основные функции системы управления производством

На сегодняшний день многие российские угледобывающие предприятия, изменив свой курс на систему управления персоналом, вносят изменения и в задачи, функции и структуру управления. Так, на первое место среди функций системы управления персоналом выдвинулось развитие персонала,

поскольку очень выросла роль человеческого фактора в обеспечении безопасности на производстве [4]. Постоянная оценка целесообразности вложения финансов в развитие персонала приводит к поискам других подходов для принятия управленческих решений. Определение правильного соотношения численности сотрудников, постоянное изучение и анализ структуры производственного персонала - все это относится к элементам по улучшению организации и планирования труда.

Заключение

Для повышения уровня безопасности на горнодобывающих предприятиях при планировании, организации и реализации производственного процесса необходимо уделить внимание тем задачам и вопросам, которые касаются персонала.

При анализе причин аварий установлено, что источником возникновения основного количества травм, которые систематически повторяются, является «человеческий фактор». Низкая производственная дисциплина и отсутствие требуемой соответствующей квалификации у персонала всех уровней кадровой иерархии приводит к постоянным систематическим нарушениям требований промышленной безопасности и технологических регламентов. На современном этапе эффективность и безопасность угледобывающего предприятия зависит во многом от действий персонала, надзора и контроля, возрастает роль качества подготовки кадров.

Отступление от требований и прямые нарушения требований промышленной безопасности сотрудниками угледобывающих предприятий при выполнении своих должностных обязанностей указывает на отсутствие необходимой квалификации как у руководителей и специалистов, так и у рабочих, что не позволяет им выполнять свои функции с достаточно компетентно. Принятие обоснованных технических решений до сих пор остается актуальной проблемой. Чем сложнее объект управления, тем меньше существует средств, облегчающих руководителю принятие обоснованного решения, и тем большим объемом знаний он должен обладать, тем лучше понимать существующие технологические и горно-геологические процессы.

Библиографический список

1. Отчет деятельности Ростехнадзора за 2019 год/2.2.7. Объекты ведения горных работ/2.2.7.1. Угольная промышленность.
2. Костеренко В.Н., Тимченко А.Н., Воробьева О.В. Анализ причин взрывов с целью повышения эффективности системы управления безопасностью труда угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2018. - №S61. - С. 3-17.
3. Скопинцева О.В., Баловцев С.В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 1. - С. 78–89. DOI:10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.

4. Скопинцева О.В., Баловцев С.В. Оценка влияния аэродинамического старения выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационноаналитический бюллетень. - 2020. - № 6-1. - С. 74–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

УДК 622.235

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА ОХРАНЯЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА РАЗРЕЗАХ

Фурасов А.Н., Агеев Д.А.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет.
г. Новокузнецк*

Анализ фактической длительности сейсмического импульса при массовых взрывах, по сравнению с расчетной, указывает на необходимость рассмотрения процесса формирования и распространения сейсмиковзрывных волн. Поскольку время действия силовых нагрузок влияет на интенсивность разрушения горных или строительных объектов, целью настоящей статьи является определение длительности сейсмического импульса на основе механизма формирования сейсмиковзрывных волн при массовых взрывах.

Ключевые слова: длительность сейсмического импульса, механизм действия короткозамедленного взрывания, трещиноватый массив, высокоскоростное соударение отдельностей, сейсмический очаг, расчетные формулы.

Введение.

Исследованию сейсмического действия взрыва на горные и строительные объекты при открытой и подземной геотехнологиях посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований российских и зарубежных ученых.

Самым распространенным параметром, который фиксируется экспериментально и определяется теоретически, является скорость колебаний (смещений) в массиве в районе охраняемого объекта. Однако известно, что длительность воздействия различных силовых нагрузок на горные или строительные объекты существенно влияет на их предельные прочностные характеристики, а также степень деформирования и разрушения. Это характерно и при действии сейсмиковзрывных волн. Воздействию сейсмиковзрывных волн при ведении взрывных работ на карьерах подвергаются открытые поверхности рабочих и нерабочих уступов, бортов карьеров, промышленные и жилые здания и сооружения, находящиеся вблизи карьеров, на поверхности

и в глубине массива.

Анализ сейсмограмм показывает, что вслед за цугом сейсмозрывных волн, создаваемых последовательно взрывающимися группами зарядов ВВ (обладают наибольшей амплитудой), появляется цуг волн с меньшей амплитудой. Характерная сейсмограмма приведена на рисунке 1. Поскольку общая фактическая длительность сейсмического импульса влияет на процесс деформирования и степень разрушения объектов, то необходимо прогнозировать данный параметр. Кроме строительных объектов, находящихся вблизи карьеров, большое значение имеет сохранение устойчивости уступов и бортов карьеров в массивах трещиноватых горных пород.

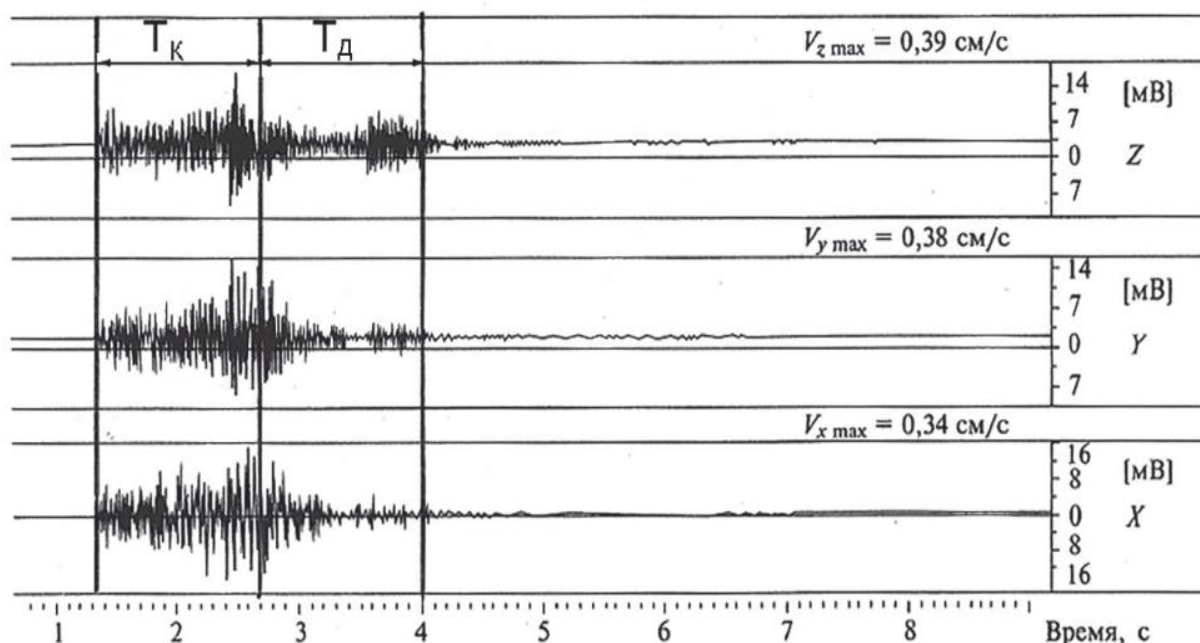


Рисунок 1 - Типичная сейсмограмма массового взрыва (06.06.03 г. [3]).
 $N = 27$; $\tau = 50$ мс; расчетная длительность $T_K = 1,35$ с; фактическая длительность $T = 2,70$ с

Целью настоящей статьи является аналитическое определение длительности сейсмического импульса на основе механизма формирования сейсмозрывных волн при массовых взрывах в трещиноватых массивах горных пород. Исследования позволят определять геометрические параметры сейсмического очага, создаваемого массовым взрывом, а также использовать их для разработки правил ведения взрывных работ для минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на охраняемые объекты.

Результаты исследований

Механизм формирования сейсмозрывных волн в трещиноватых горных массивах для численного определения длительности сейсмического импульса необходимо разработать физический процесс формирования и распространения сейсмозрывных волн в трещиноватых горных массивах.

Таблица 1 - Сопоставление расчетной и фактической длительности сейсмического импульса по данным [3] на разрезе «Степановский»

№ п/п	Дата взрыва	Средний коэффициент крепости, f	Масса ВВ, кг	Расстояние до сейсмодатчиков, м	Число степеней замедления, N	Интервал замедления, τ , с	Длительность сейсмического импульса, с	
					Число скважин в группе, n		Расчётная	фактическая
1	02.09.03	10,5	23 765	150—200	32 2—4	50	1,6	2,1
2	03.09.03	14	22 432	600	12 3—11	60	0,72	1,5
3	05.09.03	11,5	12 044	925	15 4—5	50	0,75	2,5
4	05.09.03	5	17 550	285	35 1—3	50	1,75	2,0
5	06.09.03	9	19 824	850	21 2—5	50	1,05	2,5
Среднее		10,3	23722	470	22 2,5—5,4	52,6	1,16	2,10

М.А. Садовский считает, что горная порода - это сложная блочно - иерархическая система, в которой некоторые из составляющих ее блоков в силу ряда причин (землетрясение, взрыв) находятся в состоянии энергообмена с окружающим массивом горных пород. Совокупность этих блоков названа им «сейсмический очаг» [3]. В работе [1] указано на то, что при подземном взрыве формируется котловая полость и зона разрушения, то есть зоны неупругого деформирования горного массива, которые и являются источником сейсмозрывных волн.

В работах разработан механизм деформирования и разрушения трещиноватого массива горных пород взрывом, согласно которому волна напряжений дробит отдельности, пронизанные зарядом ВВ, а квазистатическое давление продуктов детонации приводит к радиальному смещению раздробленных и нераздробленных отдельностей. В результате образуются зоны дробления, трещинно-блочных и трещинных деформаций.

На основе анализа приведенных источников механизм формирования сейсмозрывных волн в трещиноватом горном массиве можно представить следующим образом.

При взрыве группы зарядов ВВ в результате резкого удара продуктов детонации (ПД) о стенки скважин в отдельностях, пронизанных зарядами ВВ, создается волна напряжений, которая дробит пронизанные отдельности и преобразуется в сейсмозрывную упругую волну. Далее под действием давления ПД раздробленные волной напряжения отдельности движутся в радиальном направлении от зарядов ВВ и соударяются с более удаленными

отдельностями. Процесс последовательного соударения отдельностей иначе называется волной деформаций. Во время движения волны деформаций и соударения отдельностей происходит излучение сейсмозрывных упругих волн. Скорость распространения волн деформаций составляет в среднем 5-100 м/с. Волны деформаций являются затухающими с максимальным распространением от крайних скважин до 150 диаметров заряда ВВ.

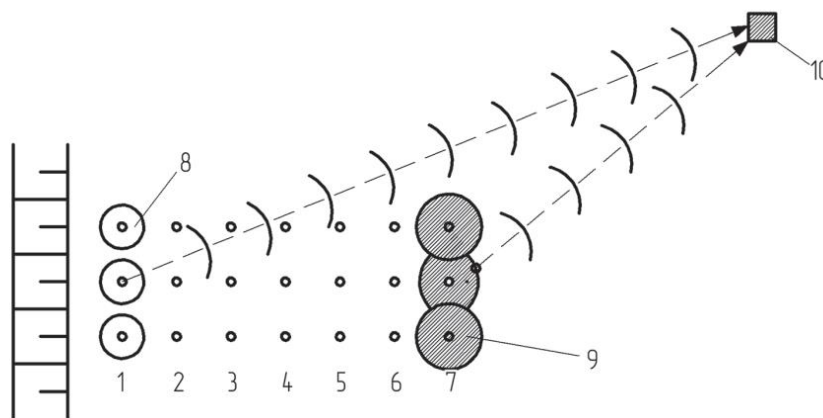


Рисунок 2 - Схема к расчету длительности сейсмического импульса при массовом взрыве: 1-7 - последовательность взрывания групп зарядов ВВ; 8 - зоны преобразования волн напряжений в сейсмозрывные упругие волны; 9 - очаг зоны соударения отдельностей (сейсмический очаг) от взрыва последней группы зарядов ВВ; 10 - охраняемый объект

Длительность сейсмического импульса

Определим интервалы времени, в течение которых сейсмозрывные волны воздействуют на охраняемый объект (рис. 2).

После взрыва первой группы зарядов в результате резкого удара ПД о стенки скважин формируются упругие сейсмозрывные волны, которые достигают охраняемый объект 10. Далее производят короткозамедленное взрывание второй и последующих групп зарядов, что отражается на сейсмограмме отрезком времени T_k в виде цуга волн (рис. 1).

При взрыве последней группы зарядов ВВ волна деформаций за время T_d достигает дальней границы очага 9. За время T_d в очаге 9 происходит соударение отдельностей и излучение сейсмозрывных волн. И наконец от дальней границы очага 9 излучается последняя наиболее медленная сейсмозрывная поверхностная волна Релея, которая достигает охраняемый объект за время T_s .

Следовательно, длительность сейсмического импульса при массовом взрыве можно определить по формуле

$$T = T_k + T_d + T_s, \quad (1)$$

где T_k - длительность короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ;

T_d - время распространения волны деформаций от последней группы взрываемых скважин до границы очага 9;

T_c - время распространения сейсмозрывной поверхностной волны Релея от границы очага 9 до охраняемого объекта. Длительность коротк замедленного взрывания групп зарядов ВВ равна

$$T_k = (N - 1) \tau, \quad (2)$$

где N - число групп зарядов ВВ; τ - интервал замедления.

Длительность распространения волн деформаций от взрывааемых скважин до дальней границы очага при взрыве последней группы зарядов ВВ можно определить по формуле [18]

$$T_d = \frac{8R_0^2 \rho \Phi^{0,5}}{\sqrt{\pi} D \rho_B d_3 \left(1 - \frac{\mu v}{1-v}\right) \ln\left(\frac{2R_0}{d_3}\right) K_1 K_2 K_3 K_4} \quad (3)$$

где R_0 - радиус очага;

ρ - объемная масса горного массива;

Φ - показатель трещиноватости;

D, ρ_B, d_3 - скорость детонации, плотность заряжения, диаметр заряда ВВ;

μ - коэффициент трения между отдельностями;

v - коэффициент Пуассона;

K_1 - показатель усиления действия взрыва перпендикулярно одновременно взрывааемой группе зарядов ВВ;

K_2 - показатель усиления действия взрыва перпендикулярно плоскостям рядов скважин за контуром отбойки при их КЗВ;

K_3 - коэффициент отдачи, указывающий, какая часть энергии передается в окружающий место взрыва массив;

K_4 - показатель усиления действия взрыва в зависимости от длины заряда ВВ.

Время распространения наиболее медленной поверхностной волны Релея от границы очага 9 до охраняемого объекта равно

$$T_c = \frac{r}{c_r} \quad (4)$$

где r - расстояние от границы очага 9 до охраняемого объекта;

c_r - скорость волны Релея в массиве.

Следует отметить, что длительность сейсмического сигнала из очага зависит от радиуса очага $T_d \sim R_0^2$. Известно, что при взрывании на карьерах имеется несколько зон действия взрыва: зона раздавливания с расстоянием от зарядов ВВ до $5d_3$; зона трещинообразования с расстоянием $(5-15) d_3$; зона заколов - $(15-50) d_3$ и зона взрывных остаточных напряжений с расстоянием от крайних зарядов ВВ $(50-150) d_3$ [6]. Все эти зоны будут излучать сейсмозрывные волны, так как в них происходит соударение отдельностей. В зоне раздавливания скорость соударения отдельностей будет максимальной, значит, амплитуда сейсмозрывных волн тоже будет максимальной. Скорость соударения в зоне взрывных остаточных напряжений будет меньше, поэтому и амплитуда сейсмических колебаний будет меньше. Это харак-

терно для всех сейсмограмм [3]: в хвостовой части сейсмограмм скорость колебаний постепенно снижается, а суммарная длительность существенно превышает расчетную длительность от короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ.

Определим численные значения параметров, входящих в формулу (1). Численные значения в формулах (2)-(4): $\rho = 2,6 \cdot 10^3$ кг/м³; $\Phi = 8$; $D = 3,6 \cdot 10^3$ м/с; $\rho_v = 0,85 \cdot 10^3$ кг/м³; $d_3 = 0,25$ м; $\mu = 0,45$; $\nu = 0,25$; $K_1 = 1,97$ ($n = 4$); $K_2 = 3,65$ ($N = 22$); $K_3 = 0,45$; $K_4 = 1,9$; $\tau = 50 \cdot 10^{-3}$ с; $R_0 = 25$ м (принят равным $100d_3$); $r = 500$ м; $c_r = 2,0 \cdot 10^3$ м/с. Численные расчеты дают: $T_k = 1,05$ с, $T_d = 0,97$ с, $T_c = 0,24$ с, тогда $T = 2,26$ с. Сопоставление расчетных данных параметров длительности сейсмического импульса с фактическими, приведенными в таблице, говорит о правомерности формулы (1).

Выводы и направления дальнейших исследований

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Анализ фактической длительности сейсмозрывных волн (2,10 с) по сравнению с расчетной (1,16 с) указывает на необходимость рассмотрения процесса формирования и распространения сейсмозрывных волн.

Предложен механизм действия короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ в трещиноватом горном массиве, где указано на то, что сейсмозрывные волны образуются за счет высокоскоростного соударения отдельных в очаге деформируемого горного массива. Сейсмический очаг наибольшего размера образуется у последней группы зарядов ВВ, что и создает существенное увеличение длительности сейсмического сигнала.

Получены расчетные формулы для определения времени воздействия сейсмозрывных упругих волн при массовом взрыве на охраняемый объект.

Численные расчеты по формуле для определения длительности сейсмического импульса и сравнение их с фактическими данными говорят о правомерности формулы.

Результаты исследований по определению длительности сейсмического импульса позволят определять геометрические параметры сейсмического очага, создаваемого массовым взрывом, кроме того, их можно использовать для разработки правил ведения взрывных работ с целью минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на охраняемые объекты.

Библиографический список

1. Климкин М.А. Регистрация сейсмических колебаний в пос. Гавриловка от массовых взрывов Разреза Степановский / М.А. Климкин, А.А.Сёмин, Апенкин В.Е., Агеев Д.А.; науч. рук. И. В. Машуков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2: Естественные и тех. науки. – С. 102-106.

2. Типовой проект буровзрывных (взрывных) работ АО «Разрез «Степановский».

3. Адушкин В.В., Спивак А.А. Подземные взрывы. - М.: Наука, 2007. - 579 с.
4. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. - М.: Изд-во «Горная книга», Изд-во МГГУ, 2009. - 670 с.
5. Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л., Эквист Б.В., Токаренко А.В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. - М.: Изд-во «Горная книга», 2002. - 228 с.
6. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. - М.: Недра, 1981. - 192 с.

УДК 622.2

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО АГРЕГАТА ЭФФЕКТИВНОЙ ДОРАБОТКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ УГЛЯ НА ШАХТАХ

Шмаков И.К., Крестьянинов А.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.

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

В статье проведён анализ традиционных способов и средств подземной разработки угольных месторождений и обоснована актуальность создания новых технологий, включающих роботизированные средства выемки угля в сложных условиях. Разработаны технологические требования к конструкции выемочного робота, пространственной системе его позиционирования для дистанционного управления процессами разрушения и транспорта горной массы.

Ключевые слова: угольный пласт, остаточные запасы угля, выемочный робот, система позиционирования, дистанционное управление горными процессами.

В настоящее время на угольных шахтах России 80 % добычи полезного ископаемого производится длинными комплексно-механизированными забоями (далее ДКМЗ), однако в пределах шахтного поля остаются запасы не благоприятные для отработки ДКМЗ. Для отработки этих участков требуются новые технические средства и технологии, обеспечивающие не только эффективную разработку участков с остаточными запасами угля, но и безопасность для персонала. Актуальность таких исследований подтверждается тем, что на территории Кузнецкого угольного бассейна уровень травматизма не снижается [1,2]. Это подтверждается графиками, приведёнными на рисунке 1.

Для оценки актуальности создания способов и средств дистанционного управления технологическими процессами в очистном забое проведён анализ факторов, влияющих на уровень травматизма за последние 5 лет

(таблица 1). Установлено, что за этот период прослеживается положительная динамика снижения уровня смертельного травматизма и аварийности на предприятиях угольной промышленности. Однако основная часть полученных травм, по расположению в горных выработках шахт, приходится на призабойное пространство [3].

Научной идеей, реализация которой обеспечит снижение рисков травматизма является удаление человека из опасных зон в процессе работы оборудования.

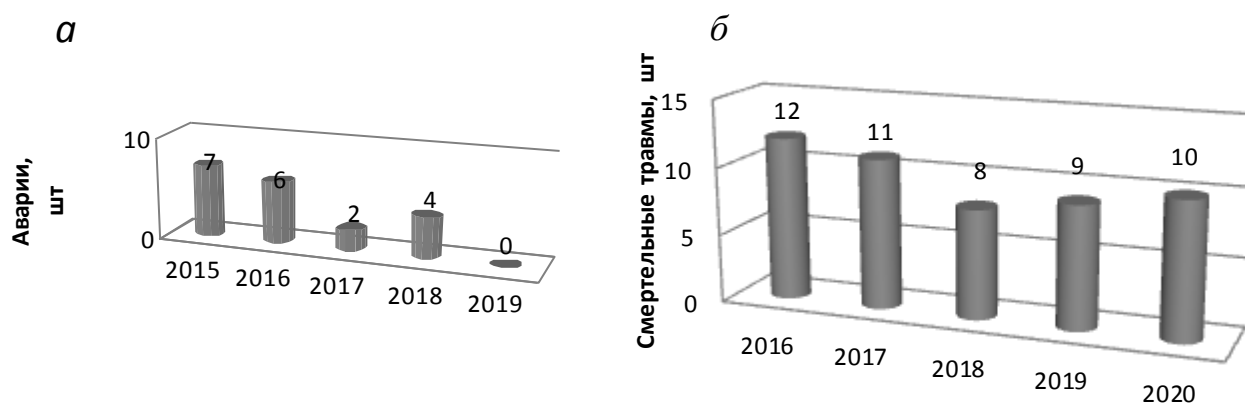


Рисунок 1 - Динамика распределения уровней промышленной безопасности и охраны труда в Кузбассе [1,2]: а –аварии; б –смертельно травмированные работники

Таблица 1 - Анализ причин смертельного травматизма угольных шахт Кузбасса

Причина	2015г.	2016г.	2017г.	2018г.	2019г.
Транспортные средства	2	2	4	4	0
Обрушения	2	5	1	2	4
Машины и механизмы	1	2	3	1	5
Падающие предметы	-	0	0	0	0
Внезапный выброс	-	0	1	0	0
Прорыв воды	-	0	1	0	0
Падение человека	0	1	0	0	0
Прочие	0	1	0	0	0
Всего:	5	11	10	7	9

Научной идеей, реализация которой обеспечит снижение рисков травматизма, является удаление человека из опасных зон в процессе работы оборудования, при повышенном горном давлении или загазировании горных выработок. Человек должен только обслуживать оборудование в ремонтную смену, а в рабочие смены управлять технологическими процессами и машинами дистанционно.

В соответствии с научной идеей целью настоящей работы является обоснование технологических и управленческих решений по использованию дистанционного управляемого горно-шахтного оборудования при доработке остаточных запасов выемочных участков в сложных горно-геологических условиях угольных шахт Кузбасса.

Методы исследований: анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта по отработке локальных участков угольных пластов неправильной геометрической формы в сложных горно-геологических условиях.

Результатом работ является обоснование технологических требований для конструирования и изготовления интеллектуального робота выемки локальных участков угольных пластов сложной формы.

По результатам анализа традиционных вариантов подземной геотехнологии установлено, что роботизированная выемка угольных пластов на участках неправильной геометрической формы может быть реализована с применением следующих систем разработки: камерной, камерно-столбовой, короткими лавами, бурошнековой выемки, комбинированной из открытых горных выработок и др.

Для оценки уровня адаптивности к условиям локальных выемочных участков неправильной геометрической формы рассмотрены три варианта камерно-столбовых систем разработки выемочного участка, изложенные в статье [4].

1. С управлением кровлей подзавальными целиками.
2. С управлением кровлей подзавальными целиками и секциями механизированной крепи (рисунок 2).
3. С управлением кровлей секциями механизированной крепи и извлечением более 85 % угля в междукамерном столбе (рисунок 3).

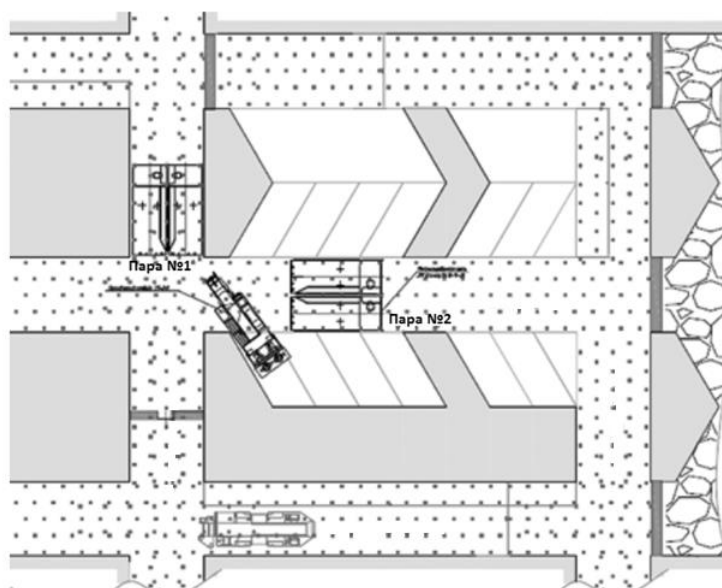


Рисунок 2 – Камерно-столбовая система разработки выемочного столба с управлением кровлей секциями механизированной крепи [8]

Первая технология позволяет извлечь не более 60% угля из столба, так как остаются целики, предназначенные для поддержания непосредственной кровли.

Для увеличения коэффициента извлечения угля был изучен мировой опыт отработки пластов камерно-столбовой системой отработки [6,7]. По опыту шахт Соединенных Штатов Америки было принято решение использовать самоходные секции механизированной крепи (рисунок 2) вместо подзавальных целиков [8].

Одна механизированная крепь передвигается вслед за комбайном, вторая механизированная крепь остается неподвижной и принимает на себя возрастающую нагрузку от основной кровли. К недостаткам применяемой технологической схемы относятся:

- сложность заезда в заходку проходческого комбайна под углом 60° в связи с геометрическими размерами комбайна;
- коэффициент извлечения угля из выемочных междукамерных столбов составляет 73 %;
- зависание кровли в выработанном пространстве после оставления барьерных целиков составляет порядка 80м, что может привести к опасным геодинамическим явлениям в виде горных ударов и внезапных выбросов [9].

Оптимальным с точки зрения технологичности и безопасности оказался вариант, представленный на рисунке 3.

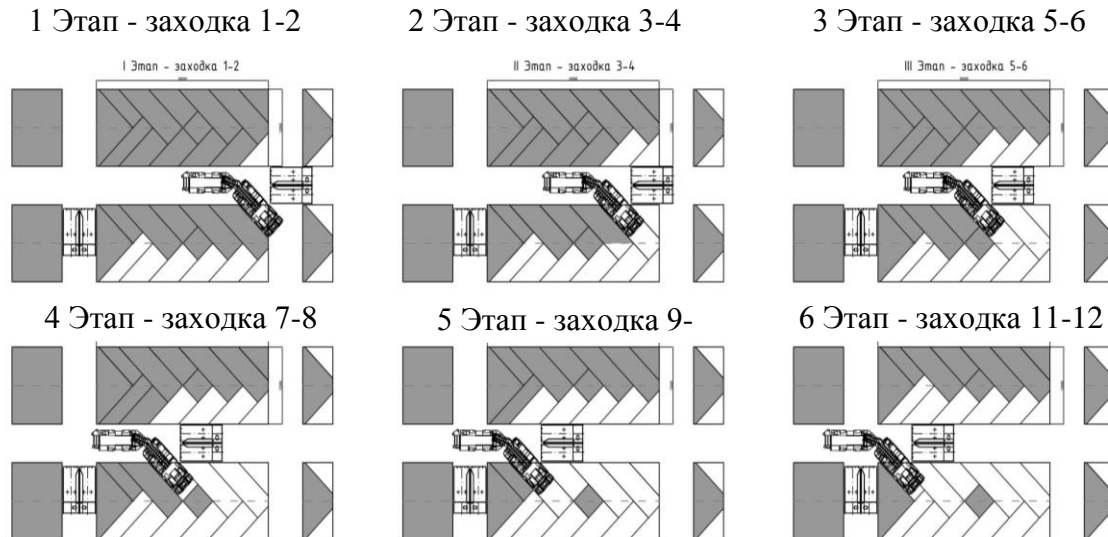


Рисунок 3 – Камерно-столбовая система разработки выемочного участка с управлением кровлей секциями механизированной крепи и извлечением угля до 85 % [4, 5]

Недостатками всех рассмотренных вариантов камерно-столбовых систем разработки является отсутствие прямоточной схемы проветривания тупиковой выработки, что может повлечь за собой загазирование выработок, отсутствие запасного выхода в аварийных ситуациях и другие негативные

последствия. В случае применения робота, при нахождении человека с дистанционным пультом управления на безопасном расстоянии, данные проблемы устраняются посредством удаления человека из опасной зоны и выемку угля в загазованной среде.

На основе проведенного анализа обоснованы следующие технические и технологические требования для конструирования, изготовления и опытной эксплуатации выемочного робота с целью отработки остаточных запасов участков угольных пластов:

- возможность выемки угля без присутствия человека в опасных зонах;
- дистанционное управление;
- наличие системы мониторинга местоположения забоя и робота;
- площадь обнажений пород кровли не должна превышать допустимую для обеспечения безаварийной работы выемочного агрегата;
- площади заходок должны быть достаточными для размещения выемочного агрегата, но не превышать предельной площади устойчивости пород кровли;
- конструкция выемочного агрегата должна обеспечивать выемку максимального объема угля с одной установки при минимальных размерах робота;
- условия безопасной эксплуатации робота следующая: возможность работы в загазованной среде в рабочие смены, автоматизированное крепление пород кровли анкерами при проведении камеры;
- в пределах выемочного участка должны быть установлены датчики контроля положения выемочной машины;
- должен осуществляться визуальный мониторинг режущего органа выемочного робота, поверхности разрушаемого угольного пласта и устойчивости пород кровли с возможностью дистанционной передачи информации оператору;
- необходимо разработать систему дистанционного управления выемочным агрегатом.

Библиографический список

1. Официальные цифры: сколько в Кузбассе работающих шахт и разрезов [электронный ресурс] Режим доступа: <https://vashgorod.ru/kemerovo/news>.
2. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР [электронный ресурс] информация по аварийности Режим доступа: <http://usib.gosnadzor.ru/info>.
3. Анисимов И.М. Обзор аварийности угольных шахт Кузбасса [электронный ресурс] Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/538796230>.
4. Опыт повышения коэффициента извлечения запасов угля при камерно-столбовой системе разработки [Текст] / А.В. Айкин [и др.] // Уголь. – 2019. – №3. – С. 55 – 59.
5. John A. Hudson. Rock Engineering Risk. London: Taylor & Francis

Group., 2015. 596 p.

6. Борщ-Компониец В.И. Практическая механика горных пород. М: Горная книга, 2013. 322 с.

7. Пучков Л.А., Жежелевский Ю.А. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Т. 1. М.: Горная книга, 2017. 562 с.

8. Geomechanics of Mine Workings Support Systems / Volodymyr Bondarenko, Iryna Kovalevska, Hennadiy Symanovych, Mykhaylo Barabash, Oleksandr Vivcharenko. London: Taylor & Francis Group., 2018. 231 p.

9. Дегтярёв Д.Н., Калинин С.И., Филимонов К.А. Технологические схемы отработки мощных пологих пластов камерно-столбовой системой на полную мощность. Область применения // Вестник КузГТУ. 2012. № 3. С. 68-73.

II МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 669.184

ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ КИСЛОРОДНО- КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА

Сафонов С.О.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Протопопов Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru*

Проведен анализ существующих технологий интенсификации кислородно-конвертерной плавки позволяющих повысить технико-экономические показатели кислородно-конвертерного цеха.

Ключевые слова: Интенсификация, производительность, продувка, подогрев лома, внедоменная обработка чугуна, дожигание отходящих газов.

Кислородный конвертер это химический реактор в котором протекает гетерогенный процесс окисления примесей металлошихты на кинетику которого влияют такие параметры: температура компонентов, средняя температура в реакторе, давление в реакторе, тепломассообмен, масса и объем компонентов. И для того чтобы интенсифицировать этот процесс необходимо изменять эти параметры.

На повышение производительности влияют следующие показатели за определенный промежуток времени (год): уменьшение простоев (холодные и горячие ремонты, скорость проведения химического анализа проб металла), увеличение интенсивности продувки, увеличение скорости химических реакций, уменьшение содержания элементов которые подлежат окислению в металлозавалке (Si, Mn, C, P), уменьшение количества шлака, ввод дополнительных источников тепловой энергии. На сегодняшний день существуют технологии повышения интенсификации конвертерного процесса (таблица 1).

Таблица 1 – Технологии интенсификации конвертерного процесса

Технология	Сокращение продолжительности продувки, %	Повышение производительности сталеплавильного агрегата, %
Комбинированная продувка	4-12	2-9
Донная продувка	2-5	1-2
Топливоно-кислородная продувка	5-10	2-4

Продолжение таблицы 1

Технология	Сокращение продолжительности продувки, %	Повышение производительности сталеплавильного агрегата, %
Применение двухъярусной фурмы	10-27	5-12
Применение двухконтурной фурмы	3-7	1-2
Подогрев металлолома	5-30	6-13
Присадка топлива	4-10	2-4
Внедоменная обработка чугуна	1-3	3-6

Комбинированная продувка (рисунок 1) повышает производительность сталеплавильного агрегата за счет уменьшения продолжительности продувки, увеличения выхода жидкого металла на 1-1,5 % и стабильности процесса (количество додувок приближается к нулю) [1].

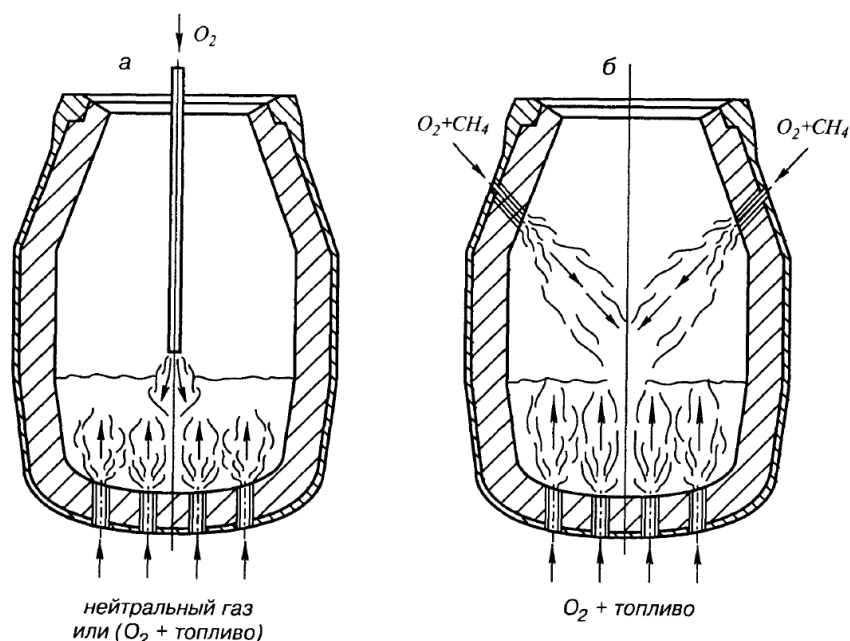


Рисунок 1 – Схема конвертеров комбинированного дутья с верхней продувкой (а) и верхнебоковыми фурмами (топливно-кислородный процесс) (б)

Донная продувка уменьшает угар железа на 50-60 %, уменьшает вспененность шлака, и увеличивает выход жидкого металла на 0,7-1%.

Топливоно-кислородная продувка уменьшает пылевывос и угар железа на 60-70%, уменьшает вспененность шлака, что ведет к лучшему усваиванию тепла от факелов горения топлива и увеличивает выход жидкого металла на 0,4-0,7%. Использование технологии ограничивают конструктивные особенности днища конвертера (оно должно быть вставным). Фактор, который может снижать часть производительности это простои на замену днища.

Использование данных технологий с подачей нейтрального или окислительного газа связано непосредственно с конструктивными особенностями днища конвертера (оно должно быть вставным). Фактор, который может снижать часть производительности это простой на замену днища.

Дожигание отходящих газов двухъярусной фурмой уменьшает пылевывнос и вынос железа на 35-40 %, уменьшает расход извести, сокращает продолжительность продувки на 10-27 %, количество выбросов стремится к нулю, что ведет к повышению производительности агрегата. При этом повышается расход футеровки горловины на 15-20 %. Эффективность теплоотдачи от факела горения СО достигается лишь при малошлаковой технологии, это достигается при внедоменном обескремнивании чугуна. Перспективным является совмещение технологии дожигания отходящих газов вместе с комбинированной продувкой или донной. На рисунке 2 представлена схема дожигания отходящих газов двухконтурной (а) и двухъярусной (б) фурмой [2].

Двухконтурная фурма позволяет дожигать 30 % отходящих газов, уменьшать пылевывнос на 15-30 % и дополнительно перемешивать шлакометаллическую эмульсию.

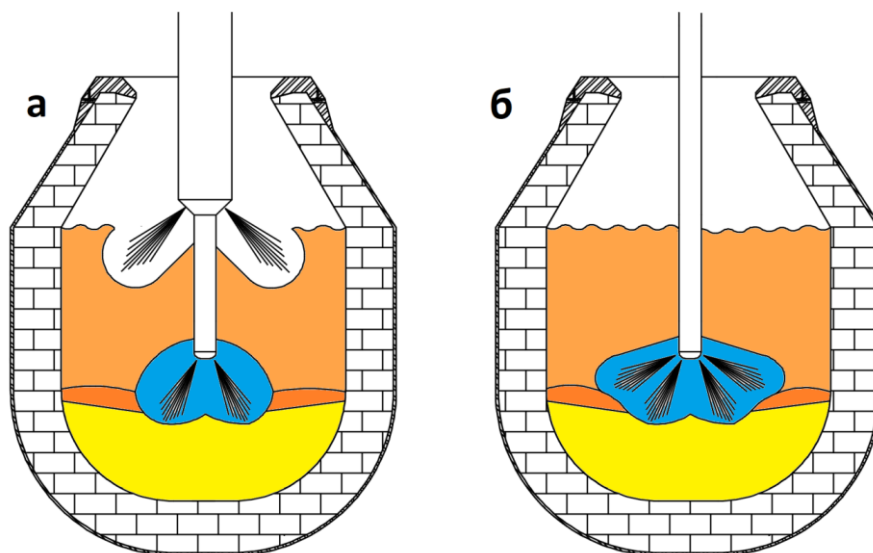


Рисунок 2 – Схема дожигания отходящих газов двухъярусной (а) и двухконтурной (б) фурмой

Основное технологическое отличие в применении данных фурм, заключается в расстоянии факела горения СО от жидкого железоуглеродистого расплава и степени дожигания СО. Степень дожигания СО у двухъярусной фурмы выше на 20 %, чем у двухконтурной потому что реакционная область горения СО больше. А эффективность теплопередачи железоуглеродистому расплаву выше у двухконтурной фурмы.

Подогрев металлического лома можно проводить: в специальной камере, в которую устанавливаются совки; в специальных установках (рисунок 3) после прогрева, в которых лом загружают в совки; с помощью

использования тепла отходящих газов в шахте расположенной над конвертером. Важно, чтобы процесс прогрева лома проходил вне сталеплавильного агрегата только тогда будет прирост, к производительности агрегата.

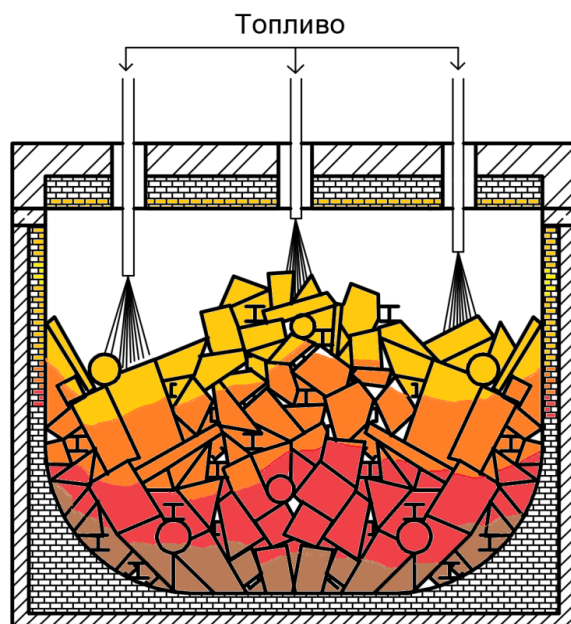


Рисунок 3 – Схема подогрева лома в специальной установке

В конвертер можно подавать любые виды топлива, от вида топлива зависит лишь способ подачи. Например, твердое топливо подается из бункеров непосредственно в рабочее пространство конвертера. Жидкое топливо можно подавать через верхнебоковые фурмы. Газообразное топливо можно подавать через верхнюю фурму, либо через донные продувочные устройства.

На сегодняшний день наиболее перспективным методом, который позволяет интенсифицировать плавку в кислородном конвертере, является подогрев металлического лома вне конвертера, что позволяет убрать операцию прогрева лома в конвертере, тем самым срок службы футеровки растет, растет и фактическая производительность сталеплавильного агрегата.

Библиографический список

1. Анализ энергосберегающих технологий выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – С. 273 – 276.
2. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Metallurgia, 2006. - 453 с.
3. Айзатулов Р. С. Теоретические основы сталеплавильных процессов: учеб.пособие для вузов / Р.С. Айзатулов [и др.]. – М.: Мисис, 2002. – 320 с.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДУВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО РАСПЛАВА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

Сафонов С.О., Фадеев В.С., Люлякин А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Протопопов Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru*

Проведен анализ влияния передувa железоуглеродистого расплава до низких концентраций углерода на необходимый расход раскислителей и количество образовавшихся неметаллических включений.

Ключевые слова: передув, растворимость газов, окисленность шлака, раскислители, расход огнеупоров.

В современных условиях производства стали в кислородном-конвертере без применения продвинутых технологических способов определения момента окончания продувки, не позволяет всегда получать необходимую концентрацию углерода на повалке, которая бы позволяла экономить ферросплавы, расход огнеупоров и увеличивать выход жидкого металла.

В качестве практических данных были рассмотрены 10 плавов стали марки 09Г2С в условиях АО ЕВРАЗ “ЗСМК”. Технологические усредненные параметры выплавки стали 09Г2С приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры плавки

Садка конвертера	Фурма	Температура чугуна	Масса чугуна	Масса лома	Заготовка
325,6 т	Четырехсопловая	1397 °С	250 т	75,6 т	150x200

Химический состав металлошихты и химический состав стали на повалке конвертера приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав металлошихты и химический состав стали на повалке конвертера, и химический состав готовой заготовки

Наименование	Содержание элементов, %							
	С	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Жидкий чугун	4,5	0,45	0,59	0,0108	0,022	0,040	0,010	0,030
Стальной скрап	0,23	0,55	0,20	0,022	0,025	0,001	0,016	0,031
Усредненный состав	3,51	0,472	0,50	0,088	0,023	0,032	0,024	0,054
Металл на повалке	0,038	0,098	следы	0,011	0,022	0,032	0,024	0,054

Продолжение таблицы 1

Наименование	Содержание элементов, %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Готовая сталь 09Г2С (ГОСТ 19281- 2014)	До 0,12	1,3- 1,7	05,- 0,8	до 0,03	до 0,035	до 0,3	0,008	до 0,3
Полученная заго- товка	0,1	1,54	0,74	0,02	0,0052	0,054	0,028	0,06

Состав шлака на повалке конвертера и шлака на АКП приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав сталеплавильных шлаков

Наименование	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	Al ₂ O ₃	S	MnO	P ₂ O ₅	B
Шлак конвер- терный	38,4	14,8	25,4	11,6	1,97	0,08	4,7	1,44	2,59
Шлак ковше- вой	46,7	12,8	3,9	10,5	24,5	0,22	2,87	0,15	3,65

При кислородно-конвертерном процессе концентрация оксидов железа в шлаке зависит, прежде всего, от содержания углерода в металле и основности шлака, а также от режима продувки (высоты расположения фурмы над уровнем спокойного металла, типа фурмы, расхода дутья, его давления и т.д.) При относительно постоянных условиях продувки содержание оксидов железа в конечном шлаке можно определить исходя из содержания углерода в металле и основности шлака, используя следующее эмпирическое уравнение:

$$(\sum\%FeO) = 4 \cdot B_k + \frac{0,3}{[\%C]_{раск}} + 3,9,$$

где $(\sum\%FeO)$ – суммарное содержание окислов железа в конечном шлаке;

B_k – основность шлака;

$[\%C]_{раск}$ – концентрация углерода в металле перед раскислением, %.

Расчетное количество окислов железа в шлаке равно 25,395 %, а фактическое содержание равно 25,4 %. Это говорит о том, что эмпирическое уравнение позволяет рассчитать фактическое содержание ΣFeO в зависимости от содержания в железоуглеродистом расплаве углерода. Расчетная масса шлака составляет 43,963 тонны и 11,164 тонн это масса окислов железа. А при содержании углерода 0,1 масса шлака будет 41,3 тонны и масса окислов железа равна 8,466 тонн. Разница в выходе жидкого металла, между передутым железоуглеродистым расплавом и расплавом доведенным до нужного

химического состава, составляет 0,8 %. Учитывая разницу по углероду между готовым металлом и металлом на повалке 0,062 %, и учитывая длительность повалки 8 минут и длительность выпуска металла 6 минут, можно не учитывать количество внесенного углерода Ферросиликомарганцем марки ФМn18 и количество углерода внесенного ферросилицием марки ФС65 исходя из того, что во время повалки в железоуглеродистом расплаве с растворенным в нем кислородом, интенсивно окислялся углерод и во время выпуска металла из агрегата передутый расплав напрямую контактирует с кислородом воздуха который растворяется в нем до предельных концентраций. Расход кокса составил 0,344 т для того чтобы снизить суммарный расход раскислителей и даже это мероприятие позволит сократить избыточный расход раскислителей лишь на 60% потому что кислород растворился до большой концентрации в железоуглеродистом расплаве [1].

На рисунке 1 приведена зависимость концентрации кислорода в железоуглеродистом расплаве от концентрации углерода в нем.

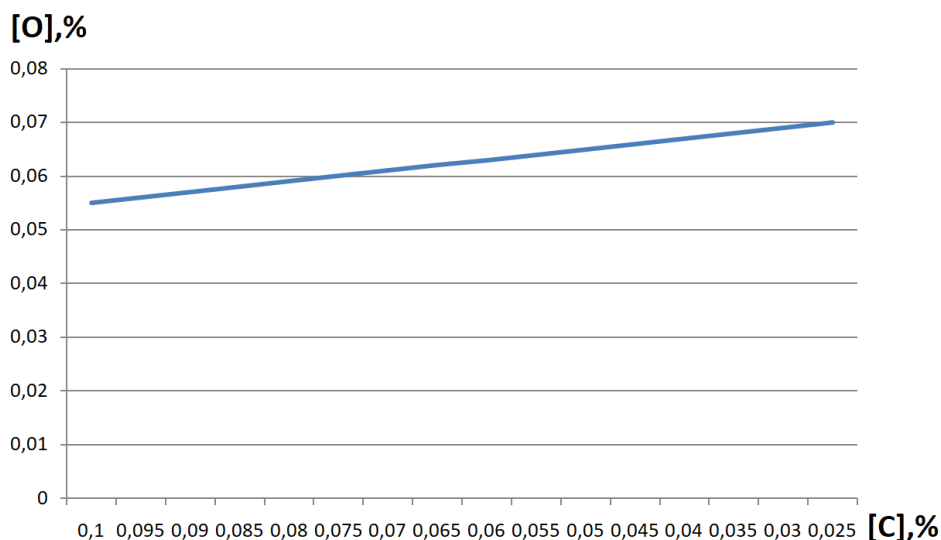


Рисунок 1 – Взаимосвязь концентрации [%O] и [%C] в конце продувки

Исходя из концентрации кислорода [%O] = 0,068 % на массу жидкого металла 305 т, мы получим 0,207 т массу атомарного кислорода растворенного в железоуглеродистом расплаве. А если бы продувка была остановлена на моменте когда концентрация C = 0,1 %, масса атомарного кислорода растворенного в расплаве составила 0,167 т. И для того чтобы раскислить переоxygenный железоуглеродистый расплав необходимо ввести на 19,33% больше раскислителей.

Расход ФСМn18 на плавку составил 6,583 т, масса элементов подаваемых в ковш Si = 1,099 т, Mn = 4,568. Расход ФС65 на плавку 1,780 т, масса кремния подаваемого в ковш Si = 1,185 т. Расход алюминия АВ87 на плавку 0,5 т, чистый алюминий попадающий в расплав Al = 0,435 т.

Проанализировав, ковшевые пробы стали на УДМ было установлено,

что фактический угар кремния составил 16 %, угар марганца 13 %, угар углерода 23 %, угар алюминия ≈ 100 % во время раскисления на выпуске. Это негативно сказывается на качестве продукции в связи с большим содержанием Al_2O_3 в непрерывнолитой заготовке [2].

Согласно практическим данным при повышении окисленности шлака на 1 % расход огнеупоров на горячие и холодные ремонты возрастает на 5 %. Повышенная концентрация окислов железа в шлаке ухудшает механическую и термическую прочность защитного шлакового гарнисажа [3].

Уменьшение выхода жидкого и увеличение расхода огнеупоров, снижают производительность сталеплавильных агрегатов. Повышенное загрязнение непрерывнолитых заготовок неметаллическими включениями повышает вероятность возникновения брака продукции, что непосредственно влияет на выход годного.

На рисунке 2 приведена взаимосвязь между технико-экономическими показателями конвертерной плавки и применяемой технологии выплавки.

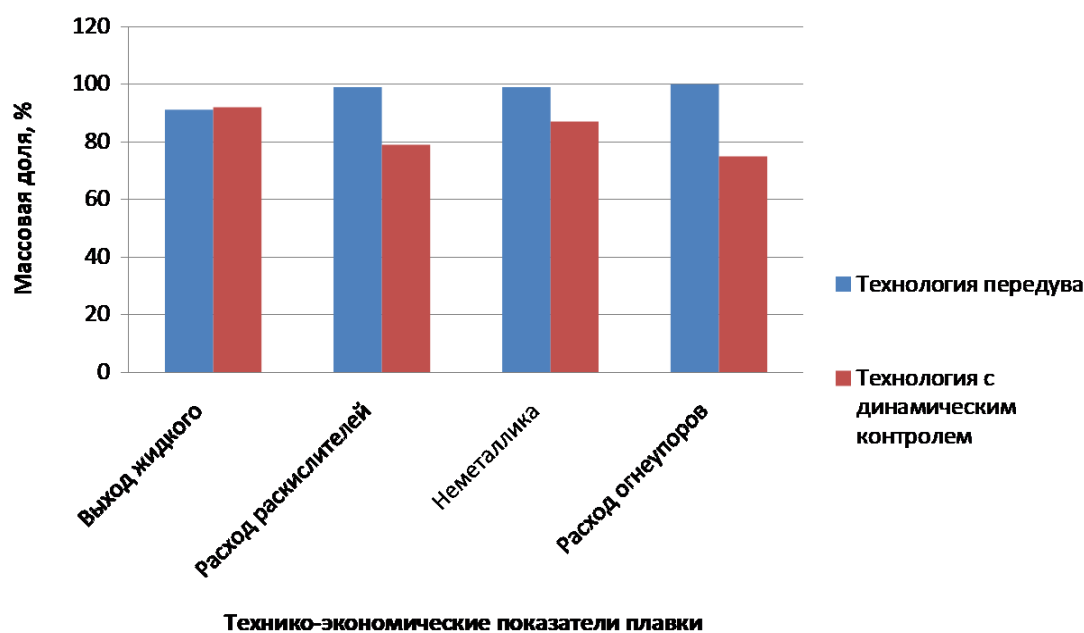


Рисунок 2 – Сравнение технико-экономических показателей конвертерных плавок с передувом железомарганцовистого расплава и без

Подытожив, можно сделать вывод о том, что технология передувки железомарганцовистого расплава до низких концентраций негативно сказывается на множестве технико-экономических показателей как плавки, так и ККЦ. И если внедрить современные технологии для определения момента по остановке продувки, это позволит: поднять производительность агрегатов, уменьшить загрязнение стали неметаллическими включениями и снизить удельный расход материалов на тонну стали.

Библиографический список

1. Анализ степени влияния примесей цветных металлов и параметров внепечной обработки стали на качество рельсовой продукции / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – С. 243 – 245.

2. Исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали / Е. В. Полевой, Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, Д. Ю. Кушев, А. М. Юнусов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2019. – № 1 (27). – С. 8 – 12.

3. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Metallurgia, 2006. - 453 с.

УДК 669.187

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БРУСИТА В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Люлякин А., Сафонов С.О.

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

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

Исследовано применение магнезиального материала на основе природного минерала – брусита, при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи, с целью повышения стойкости огнеупорной футеровки агрегата.

Ключевые слова: металлургия, производство стали в дуговой сталеплавильной печи, магнезиальный флюс, футеровка дуговой сталеплавильной печи.

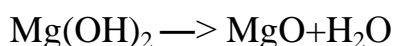
Технологическая и экономическая эффективность производства стали во многом зависят от стойкости огнеупорной футеровки сталеплавильного агрегата, которая в процессе эксплуатации подвергается химическому, термическому и механическому истирающему износу [1]. Известно, что в большинстве случаев причиной разрушения огнеупоров в процессе эксплуатации является химическое взаимодействие с шлаковым расплавом [2, 3].

В настоящее время одним из направлений повышения стойкости основной футеровки сталеплавильных агрегатов является выплавка стали под магнезиальными шлаками [4, 5, 6], которые обладают низким агрессивным воздействием на огнеупорную футеровку, сохраняют достаточно высокие рафинирующие свойства и обеспечивают раннее вспенивание шлака.

Одним из основных достоинств технологии выплавки стали под магнезиальными шлаками, наряду с уменьшением степени износа футеровки агрегата, является улучшение шлакового режима в связи с тем, что оксиды магния ускоряют растворение извести, препятствуя образованию тугоплавкой

корочки двухкальциевого силиката вокруг частиц извести и способствуя повышению активности растворенного оксида кальция [7].

Для насыщения шлака оксидами магния применяются материалы на основе различных природных минералов: магнезита ($MgCO_3$), доломита ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$), брусита ($Mg(OH)_2$). Брусит, применяемый в качестве магнезиального флюса, не является обожженным материалом и не подвергается сушке. После добычи бруситовой руды и ее обогащения крупные куски (100-200 мм) готового концентрата дробят на более мелкие до фр. 10-60 мм. и отсеивают. Природная влага брусита располагается по окружности ядра минерала, таким образом дробление позволяет изначально обеспечить содержание влаги в материале не более 1 %. Таким образом, отличие бруситового магнезиального флюса от аналогов – более низкая стоимость (из-за исключения термической обработки материала), максимальное содержание оксида магния (до 69 %) [8] и значительно меньшая энергоемкость реакции разложения брусита:



протекающей в интервале 320...500°C с теплотой реакции -924,66 кДж/моль (для разложения $MgCO_3$ теплота реакции составляет -1096,21 кДж/моль, для разложения $CaCO_3$ -1206 кДж/моль) [8]. При этом прокаленный остаток брусита содержит до 96 % MgO .

Для оценки возможности применения брусита для повышения содержания оксида магния в сталеплавильном шлаке был проведен дифференциальный термический анализ брусита Кульдурского месторождения, химический состав которого приведен в таблице 1. Минеральный состав брусита представлен в таблице 2.

Таблица 1 - Химический состав брусита Кульдурского месторождения

Содержание оксидов, мас. %						
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	$\Delta m_{прк}$	Σ
1,90	2,00	1,06	63,91	0,19	30,94	100,00

Таблица 2 - Минеральный состав брусита Кульдурского месторождения

Содержание, мас. %					
брусит	магнезит	гидромагнезит	доломит	серпентин	кварц
80,01	3,05	3,00	6,78	6,14	1,02

Термическое разложение гидроксида магния проводили в атмосфере аргона с использованием прибора для синхронного термического анализа Setaram LabSys Evo в интервале температур 25...1500 °C при скорости нагрева 10 °C/мин, масса навески - 50 мг. Результаты термического анализа приведены на рисунке 1.

На кривой ДТА (рисунок 1) просматриваются два эндотермических пика: в интервалах температур 21,43...322,83 °C и 322,83...491,1 °C с мини-

мурами при 86,85 и 426,82 °С, соответственно.

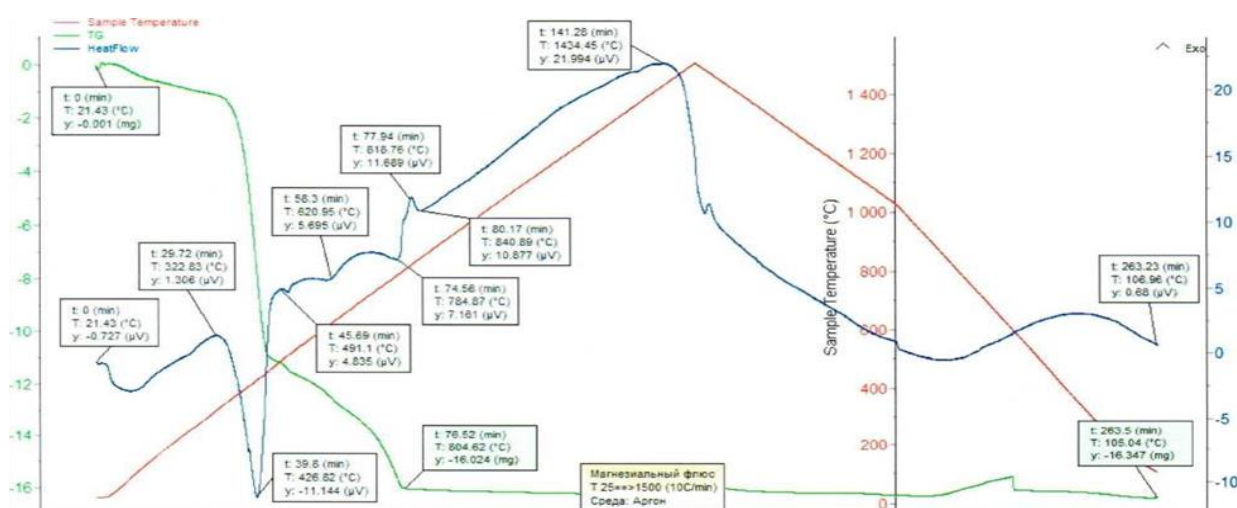


Рисунок 1 - Результаты термического анализа брусита

Слабовыраженный экзотермический эффект отмечается при температурах 840,89... 1434,45 °С.

Кривая термогравиметрического анализа имеет 4 участка. На первом участке в интервале температур 21,53...328,55 °С потеря массы составляет 2,25%, на втором (328,55...453,18 °С) - 19,28%, на третьем (453,18...804,62 °С) - 10,44% и на четвертом участке (804,62... 1433,07 °С) потери массы не наблюдаются.

Характер потери массы иллюстрируется экстремумами на кривой ДТГ при температурах 86,85, 426,82 и 783,97 °С. Общая потеря массы составляет 31,97 %. Расчетным путем установлено, что гидроксид магния при термическом разложении до MgO должен потерять 30,87 % массы, что согласуется с результатами экспериментальных исследований.

Анализ результатов дифференциального термического анализа позволяет предположить, что при присадке материала в ДСП, при нагреве до 328,55 °С происходит удаление адсорбционной влаги и разложение части брусита с образованием аморфного гидроксида магния, который является предшественником аморфного оксида магния, формирующегося при более высоких температурах. Повышение температуры до 453,18 °С приводит к разложению брусита и аморфного гидроксида магния до аморфного и кристаллического оксидов магния соответственно. Процесс разложения брусита завершается при температуре 804,62 °С. При этом следует учесть, что при температурах до 2000 °С и давлении 103 кПа (1 атм.) степень термической диссоциации выделяющихся в процессе разложения брусита паров воды не превышает 2 %.

С учетом того, что процесс удаления основного количества (до 67 %) кристаллогидратной воды из брусита происходит с образованием оксида магния высокой химической активности в интервале относительно невысоких температур (320...450 °С), до расплавления металлошихты в электроста-

леплавильных печах.

Брусит, в качестве магнезиального материала для модификации электросталеплавильных шлаков, может быть известен как металлургический флюс марки ФМ-2-1, который серийно применяется в технологии выплавки стали на различных металлургических предприятиях РФ и стран СНГ.

Для оценки эффективности использования металлургического флюса ФМ-2-1, были проведены опытные испытания материала в условиях электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» проведены опытно-промышленные испытания, в ходе которых производили присадку флюса ФМ-2-1 в печь ДСП-100Н10 в количестве 600 - 670 кг на подвалку и 220 - 330 кг в присадке за 10 - 15 мин до выпуска.

Физико-химические свойства флюса ФМ-2-1 в сравнении с серийно применяемым флюсом ФОМИ приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Физико-химические свойства магнезиальных флюсов марок ФМ-2-1 и ФОМИ

Марка флюса	Гранулометрический состав		Химический состав, массовая доля на прокаленное вещество, %					
	Фракция материала, мм	Массовая доля фракции, %	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	S	п.п.п.
ФМ-2-1	10-60	90-93	2,4-7,8	0,3-2,1	2,7-6,8	81,9-92,5	0,004-0,05	29,5-32,3
ФОМИ	4-40	>90	<5	4-8	12-22	>66	<0,05	1-2

Футеровка стен печи, включая шлаковый пояс, была выполнена из периклазоуглеродистых огнеупоров толщиной 400 мм. В течение кампании печи производилась визуальная оценка состояния футеровки стен (шлакового пояса). Средняя доля MgO в шлаке, отобранном на первых 49-ти плавках при использовании флюса ФМ-2-1, составила 6,45 %, что было сопоставимо с показателями при использовании магнезиально-известкового флюса ФОМИ. Состав печного шлака при проведении экспериментальных и сравнительных плавков приведен в таблице 4.

Таблица 4 - Состав печного шлака с применением магнезиальных флюсов ФМ-2-1 и ФОМИ

Марка флюса	Расход материала, кг			Содержание в шлаке, %				Основность шлака
	В подвалку	В ДСП перед выпуском	Σ	FeO	CaO	MnO	MgO	
ФМ-2-1	600	336	936	17,68	48,5	4,52	6,45	3,1
ФОМИ	600	374	974	15,5	46,9	5,1	6,5	2,9

Из данных, приведенных в таблице 4 видно, что при меньшем на 3,9% расходе магнезиального флюса ФМ-2-1 содержание MgO в шлаке незначительно отличается от результатов, полученных на сравнительных плавках с

применением флюса ФОМИ. При этом шлак, модифицированный опытным флюсом ФМ-2-1, имеет удовлетворительное вспенивание и жидкоподвижность. При осмотре печи наблюдалось наличие шлакового гарнисажа на футеровке, аналогичное гарнисажу, образуемому при использовании флюса ФОМИ. Минимальная остаточная толщина футеровки стен на уровне разъема печи в конце эксплуатационной кампании рабочей футеровки составила 170 мм при нормативном показателе 150 мм. Средний расход флюса ФМ-2-1 за период проведения опытно-промышленных испытаний составил 858 кг/плавку или 7,71 кг/т стали при норме для серийно применяемого флюса ФОМИ 8 кг/т стали.

Во время использования ФМ-2-1 при выплавке стали в электропечах ЭСПЦ не отмечено его отрицательного влияния на качество выпускаемой продукции, безопасность условий труда и экологию.

В настоящее время, применение флюса ФМ-2-1 в качестве модификатора электросталеплавильных шлаков дуговой сталеплавильной печи, обусловлено действующей технологической инструкцией по выплавке стали в ДСП электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Стойкость рабочей футеровки ДСП-100Н10 при применении флюса ФМ-2-1, наряду с регламентированными мероприятиями по уходу за футеровкой, в среднем увеличилась на 12% и составляет порядка 1250 плавов.

Библиографический список

1. Протопопов Е.В. Новые технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертеров [Текст] / Е.В. Протопопов, А.Е. Чернятевич, С.В. Фейлер, Е.Н. Сигарев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – №6. – С. 7-11.

2. Кондратьев Е.А. Опыт эксплуатации огнеупорных материалов в условиях конвертерного цеха [Текст] / Е.А. Кондратьев, В.В. Еорбунов, А.В. Ильин, А.И. Золин, Р.К. Шафигулин // Сталь. – 2016. – №5. – С. 23-25.

3. Хорошавин Л.Б. Магнезиальные огнеупоры: Справ, изд. [Текст] / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Коконов. // – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 576с.

4. Колпаков С.В. Технология производства стали в современных конвертерных цехах [Текст] / С.В. Колпаков, Р.В. Старов. // – М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.

5. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. [Текст] / Кудрин В.А. – М.: Мир. ООО «Издательство АСТ», 2003. – 928 с.

6. Демидов К.Н. Высокомагнезиальные флюсы для сталеплавильного производства [Текст] / Демидов К.Н., Борисова Т.В., Возчиков А.П., Терентьев Е.А., Маряев И.Г. // – Екатеринбург: «Уральский рабочий», 2013. – 280с.

7. Аксельрод Л.М. Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы [Текст] / Аксельрод Л.М., Лаптев А.И., Устинов

В.А., Герашук Ю.Д. // – Металлы и литьё Украины. – 2009. – №1-2. –С. 9-15.

8. Маноха А.М. Изучение свойств смешанных магнезиальных вяжущих на основе брусита [Текст] / А.М. Маноха, Е.Н. Гущина, И.Г. Сутула // Ползуновский вестник. – 2006. – №2. – С. 217-219.

УДК 669.184

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

**Галич А.А., Продченко У.Т., Дида Н.И.
Научный руководитель: Сафонов С.О.**

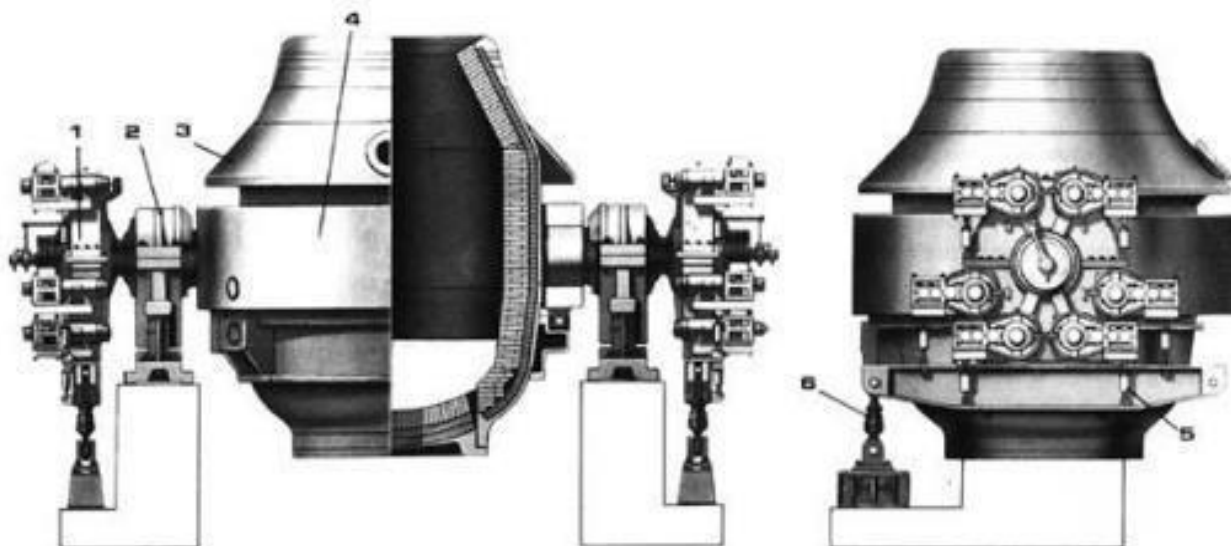
*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: galich-2000@bk.ru*

Приведены различные существующие энергосберегающие технологии выплавки стали в кислородном конвертере и проведен их анализ.

Ключевые слова: шламы, брикеты, окисленность шлака, футеровка, шлаковый пояс.

Кислородно-конвертерный процесс это процесс выплавки стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму.

Кислородный конвертор представляет собой сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом (рисунок 1).



1 – тихоходный редуктор, 2 – опорный подшипник, 3 – кожух,
4 – опорное кольцо, 5 – демпфер

Рисунок 1 – Кислородный конвертер

Вместимость конвертера 50-350 тонн. Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются:

- жидкий передельный чугун;
- металлолом;
- шлакообразующие (известь, флюс ФОМИ, железная руда) [1].

В настоящее время предприятия стремятся к снижению энергоемкости конвертерного процесса, а это достигается снижением расхода чугуна. При снижении удельного расхода чугуна необходимо увеличивать долю металлического лома либо на другое сырье которое содержит в себе железо.

Одним из способов энергосбережения является брикетирование технологического шлама и углей для замены металлолома в кислородном конвертере.

По содержанию железа шламы подразделяют следующим образом:

- богатые (55-67%)-пыль и шлам газоочисток мартеновских печей и конвертеров;
- относительно богатые (40-55%)-шламы и пыли аглодоменного производства;
- бедные (30-40%)-шлам и пыль газоочисток электросталеплавильного производства [2].

Таблица 1 – Содержание компонентов материалов

Материалы	Содержание компонентов, мас. %						
	Fe	FeO	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C
Концентрат ИН-ГОКа	63,4	26,7	0,35	0,33	7,20	0,35	-
Аглоруда	53,8	26,7	0,10	0,16	15,40	3,93	-
Известняк	0,28	0,33	53,50	0,70	1,60	0,80	-
Прокатная окалина	72,0	-	0,30	0,15	0,30	0,20	-
Доменный шлам	44,02	66	7,20	0,85	11,50	2,2	10,49
Сталеплавильный шлам	66,0	11,27	15,0	3,0	2,50	1,08	2,60
Шлам прокатного производства	64,0	-	0,40	0,40	1,20	0,30	-
Смесь шламов	50,0	33,0	7,10	7,10	8,0	1,8	7,84
Колошниковая пыль	43,9	5,71	7,10	7,10	11,0	2,0	10,30
Антрацитовый штыб	-	10,99	1,31	1,31	6,25	3,18	80,05

Так как шламы содержат значительное количество железа, их можно подвергнуть повторному использованию. Это позволит уменьшить площади шламохранилищ и за счет этого снизить воздействие на окружающую среду.

Но для того чтобы перевести оксиды железа из шлама в железо его необходимо восстановить. Поэтому необходимо делать из шлама и углей железугольные брикеты.

Основными элементами, входящими в состав любого вида угля, являются углерод С, водород Н, кислород О, азот N и сера S, которые составляют органическую массу угля. Кроме этих основных элементов в состав угля входят минеральные примеси Мин, (которые при сгорании образуют золу), и влага W. Таким образом, состав угля может быть представлен следующей формулой:

$$C + H + O + N + S + \text{Мин} + W = 100 \% .$$

Таблица 1– Химический состав углей

Марки угля	Буквенное обозначение марок	Содержание углерода С, %	Содержание водорода Н, %	Содержание кислорода О, %	Содержание азота N, %	Содержание серы S, %	Содержание влаги W, %
Бурые	Б	65–75	5–8	17–34	0,5–2	0,5–3	8–63
Длиннопламенные	Д	75–81	5,8–6,6	>9,8	1–1,5	0,5–1,5	4–8
Газовые	Г	85–87,5	5,0–5,6	4,5–7,3	1–1,8	0,6–1,8	1,2–2,5
Коксовые	К	88–90	4,8–4,9	2,6–3,2	1,4–2,0	3,6	2–4
Тощие	Т	90,5–91,5	3,75–4,0	2,5–2,8	1–1,7	0,6–1,7	<1
Антрациты	А	>91,5	<3,75	<3,5	1–1,7	0,6–1,7	<1

Существует несколько технологий брикетирования: горячее брикетирование, холодное брикетирование. Горячее брикетирование более энергозатратно, чем холодное [3].

Переработка шламов будет осуществляться путем сушки шламов углями, дальнейшим их смешением с жидким стеклом и холодным брикетированием (рисунок 2) . Полученные по технологии, шламоугольные брикеты будут заменять 50 % металлолома в шихте конвертерной плавки и будут подаваться в совках.

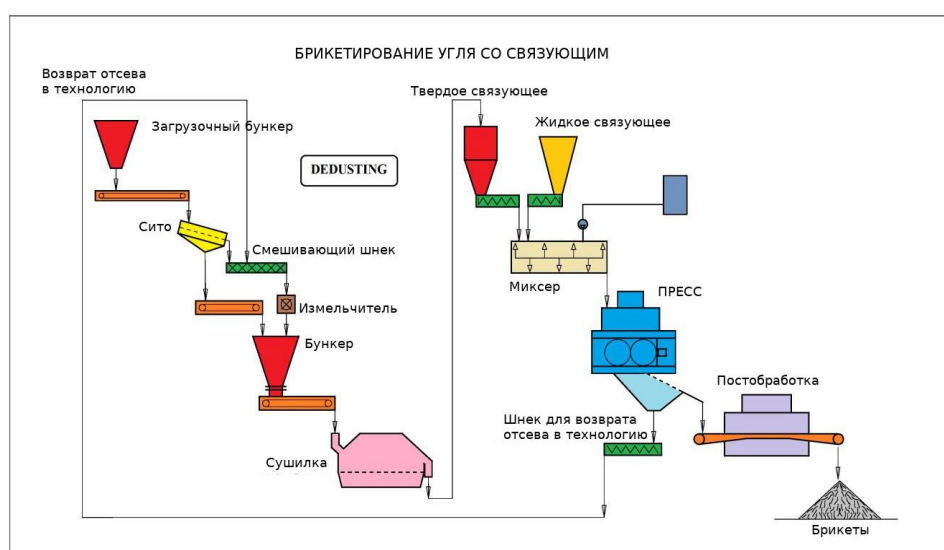


Рисунок 2 – Схема холодного брикетирования металлургических шламов

Данная технология позволит снизить себестоимость тонны жидкой стали, за счет уменьшения расхода лома. При этом снизится производительность сталеплавильного агрегата из – за увеличения цикла плавки на 10% и увеличения количества горячих ремонтов шлакового пояса футеровки в связи с высокой окисленностью шлака.

Компенсировать все недостатки данной технологии переработки металлургических шламов в кислородном конвертере, можно за счет применения комбинированной продувки. Комбинированная продувка ускоряет тепломассообменные процессы – это позволяет держать окисленность шлака на одном уровне, увеличивая выход жидкого металла и ускоряя цикл продувки.

Библиографический список

1. Анализ энергосберегающих технологий выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи/ С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – С. 273 – 276.

2. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Металлургия, 2006. - 453 с.

3. Айзатулов Р. С. Теоретические основы сталеплавильных процессов: учеб.пособие для вузов / Р.С. Айзатулов [и др.]. – М.: Мисис, 2002. – 320 с.

УДК 669.184

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ (ПОЛОЖЕНИЯ, ИНТЕНСИВНОСТИ) ФУРМЫ НА ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ

Фадеев В.С. Сафонов С.О.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: vadim4495@rambler.ru*

На основании экспериментальных исследований установлены закономерности влияния положения фурмы, интенсивности продувки на параметры реакционной зоны.

Ключевые слова: конвертер, продувка, фурма, параметр, реакционная зона, положение, интенсивность, наконечник, расход.

Проведены экспериментальные исследования на прозрачной модели 350-тонного кислородного конвертера, выполненной из плексиглаза в масштабе 1: 30. Установка (рисунок 1) позволяет изучить аэрогидродинамику ванны при продувке ее сверху через фурму, используя сменные наконечники с различным количеством сопел, и комбинированно при одновременной подаче газа через днище и сверху [1-4].

В качестве жидкости моделирующей металл, используется вода. Продувка осуществляется воздухом, подаваемым компрессором через ресивер. Регулирование расхода воздуха производится вентилями. Давление и расход газа измеряются соответственно манометрами и ротаметрами. Фурма может располагаться на различной высоте над уровнем жидкости и ее положение измеряется с помощью измерительной линейки 3.

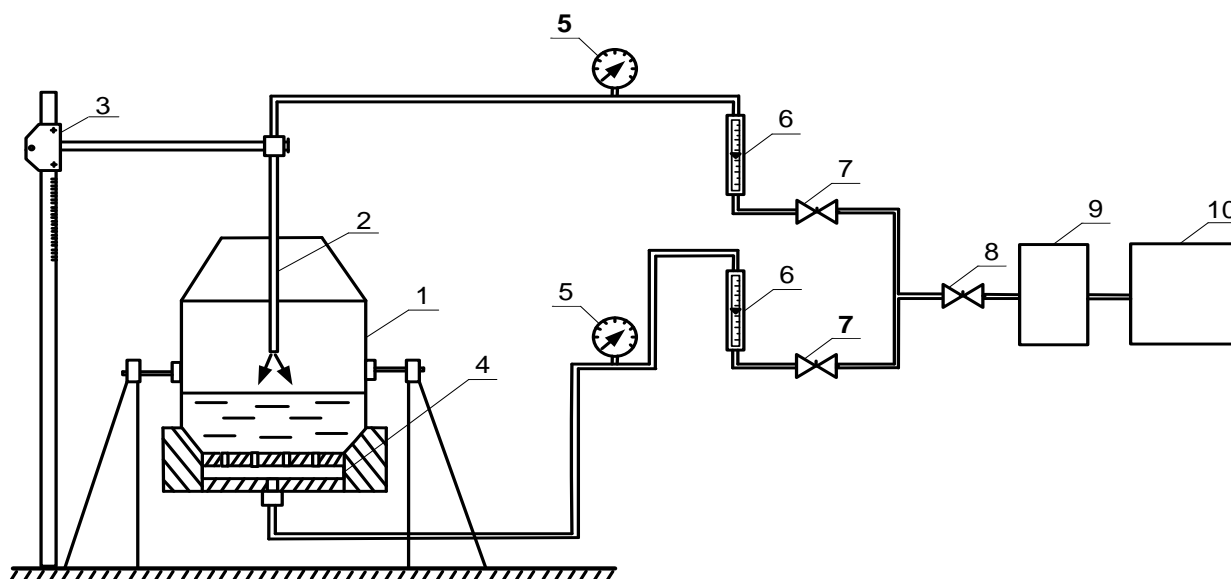
Опыт 1. Изучение влияния положения фурмы на параметры реакционной зоны.

Проведено моделирование продувки через одно-, четырех- и шестисопловые наконечники, параметры которых приведены в таблице 1, с расходом дутья, эквивалентным рабочему режиму продувки в промышленном конвертере.

Исходные данные режима приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры наконечников фурмы

Параметр	Конструкция наконечника, количество сопел		
	1	4	6
Диаметр сопла (d_c), мм	3,40	1,70	1,39
Площадь выходного сечения одного сопла, мм ²	9,07	2,27	1,51
Площадь выходного сечения всех сопел, мм ²	9,07	9,07	9,07



- 1 – конвертер с моделирующей жидкостью; 2 – фурма со сменными наконечниками;
 3 – механизм перемещения фурмы; 4 – сменное днище конвертера; 5 – манометры;
 6 – ротаметры; 7 – регулирующие вентили; 8 – запорный вентиль; 9 – ресивер;
 10 – компрессор

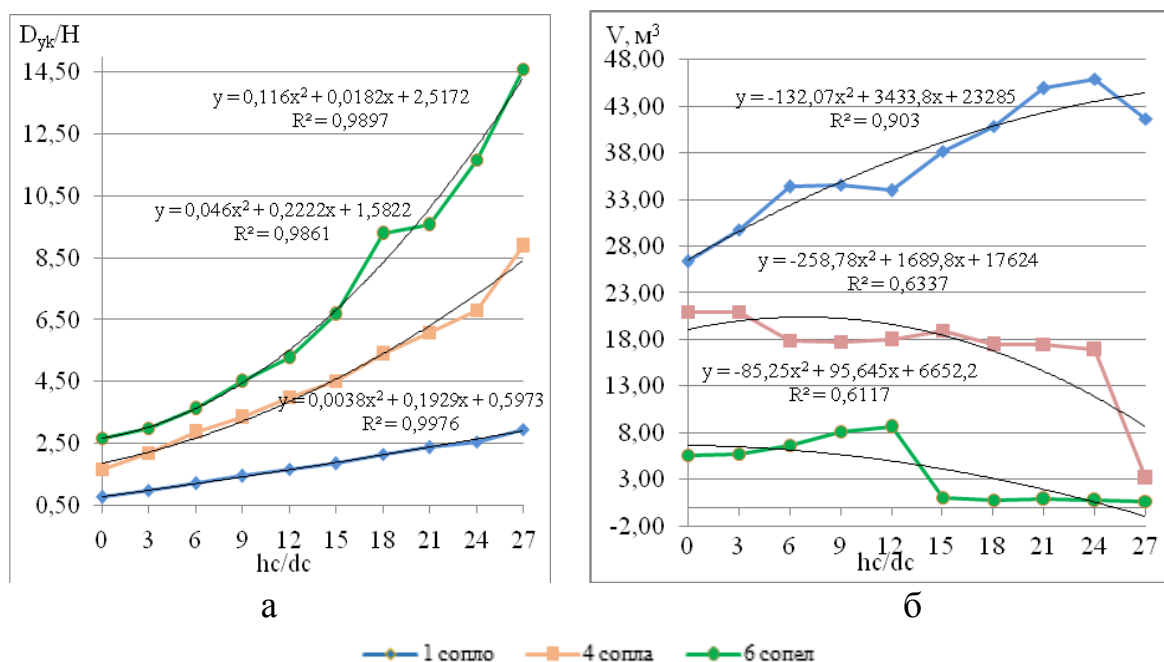
Рисунок 1 – Схема установки для моделирования аэрогидродинамики конвертерной ванны

Таблица 2 – Данные режима продувки

Удельной интенсивности продувки, $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{мин}$	Объект исследования		
	Расход кислорода в 350-т. конвертере, $\text{м}^3/\text{мин}$	Расход газа на модели.	Расход газа по ротаметру, усл.ед.
3,5	1225	0,098	23

В процессе проведения опыта 1, расход газа на фурму, поддерживают на постоянном, заданном значении в течение опыта.

На основе результатов исследований, для каждой конструкции наконечника построены графики зависимостей $\frac{D}{H}$, $V=f(\frac{hc}{dc})$, (рисунок 2).



а – отношения $D_{ук}/H$ от величины калибра;
б – объёма реакционной зоны от величины калибра.

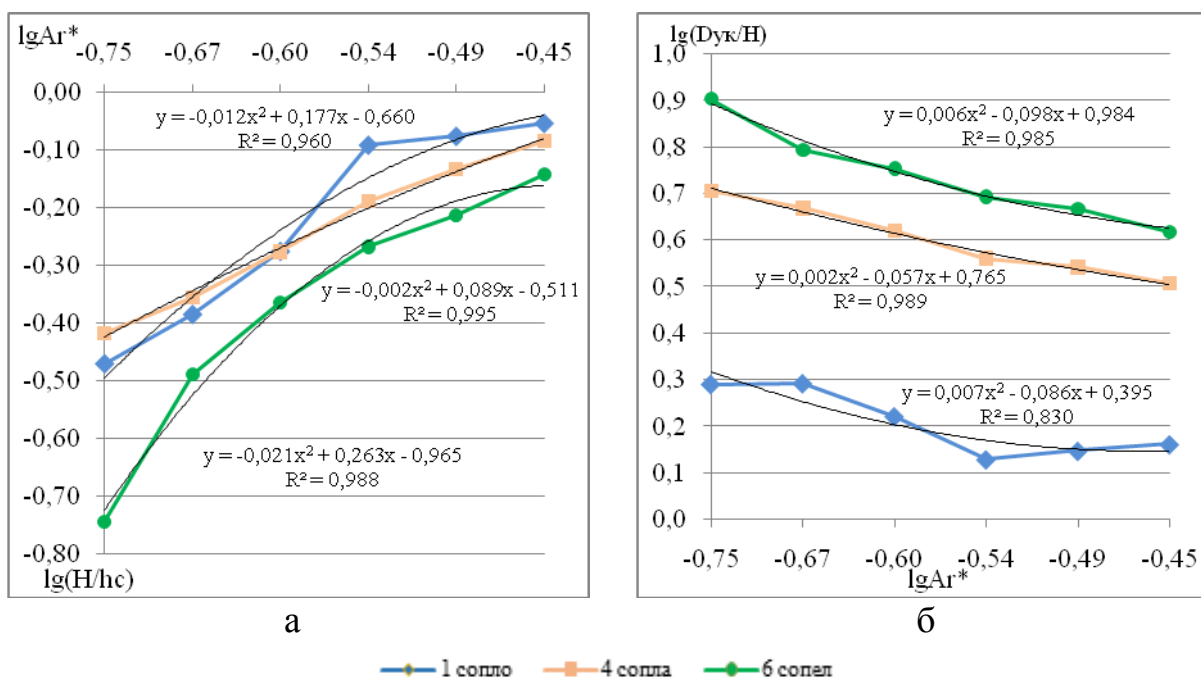
Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости

Опыт 2. Изучение влияния интенсивности продувки на параметры реакционной зоны.

Положение фурмы над уровнем спокойной ванны, для всех наконечников принимаем равным 20 калибрам. Удельную интенсивность продувки – $3,5 \text{ м}^3/\text{т}\cdot\text{мин}$.

На основе результатов эксперимента, для каждой конструкции наконечника построены графики зависимостей $\lg \frac{H}{hc}, \lg \frac{D}{H} = (\lg Ar^*)$, приведено уравнение и величина достоверности аппроксимации R^2 , построена линия тренда (рисунок 3).

Полученное уравнение регрессии позволяет рассчитать параметры (глубину, диаметр) реакционной зоны ванны промышленного конвертера.



а – отношения $\lg(H/h_c)$ от $\lg Ar^*$; б – отношения $\lg(D_{yк}/H)$ от $\lg Ar^*$

Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости

Вывод: На основании экспериментальных исследований, проведенных на «холодной» модели конвертера, определены закономерности влияния положения фурмы, интенсивности продувки на параметры реакционной зоны.

Библиографический список

1. Кудрин, В. А. Теория и технология производства стали [Текст]: учеб. пособие / В.А. Кудрин. – М.; Издательский центр Мир, 2003. – 528 с.
2. Григорьев, В. П. Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавильного производства [Текст]: учеб. пособие / В. П. Григорьев, Ю. М. Нечкин, А. В. Егоров, Л. Е. Никольский. – М.; Издательский центр МИСИС, 1995. – 512 с.
3. Баптизманский, В. И. Теория кислородно-конверторного процесса [Текст]: учеб. пособие / В. И. Баптизманский. – М.; Издательский центр Металлургия, 1975. – 376 с.
4. Волович, М. И. Горячее моделирование процесса продувки металла [Текст]: учеб. пособие / М. И. Волович, И. П. Герасименко, Е. В. Протопопов. – Новокузнецк; Издательский центр КузПИ, 1989. – 72 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА (VI) УГЛЕВОДОРОДАМИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ

Шагиев Р.Р., Щербинина А.С., Гергель П.О., Бодичев Д.В., Карев К.С.
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Ноздрин И.В.

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

Выполнен анализ термодинамических расчетов восстановления оксида вольфрама (VI) метаном в плазменном потоке азота. Установлена возможность 100 %-го восстановления WO_3 до конденсированного вольфрама в диапазоне температур 1600-4800 К при стехиометрическом соотношении компонентов. При снижении температуры от 1600 К до 950 К наиболее термодинамически вероятной становится реакция образования карбида WC.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, термодинамический анализ, оксид вольфрама, вольфрам, карбид вольфрама, «константный» метод.

Термодинамические исследования восстановления различных соединений вольфрама в литературе описаны достаточно подробно. Однако большинство результатов применимо к условиям традиционных процессов порошковой металлургии. Термодинамическое моделирование взаимодействий в экстремальных процессах, например, для условий струйных плазменных реакторов весьма немногочисленны и разрознены. В большинстве случаев полученные данные описывают восстановление хлоридов и оксидов вольфрама водородом в аргоновой и водородной плазмах [1-6]. В работе [7] проведены результаты термодинамической оценки взаимодействия оксида вольфрама с конверсированным газом в интервале температур 400-5000 К в водородной плазме, свидетельствующая о возможности получения как металлического вольфрама, так и его карбидных фаз. Однако для азотной плазмы таких исследований практически не проводилось.

В связи с этим целью настоящей работы является проведение термодинамических расчетов карботермического восстановления WO_3 метаном, как основной составляющей природного газа, в потоке азотной плазмы для прогнозирования оптимальных параметров получения вольфрама и его карбидов (соотношения компонентов и температуры), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в металл, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы образования вольфрамсодержащих продуктов газофазных реакций, обеспечивающих в условиях плазмометаллургических технологий эффективную переработку дисперсного сырья. Результаты расчетов позволяют, с определенной степенью вероятности, прогнозировать составы продуктов синтеза и спосо-

бы управления их составами.

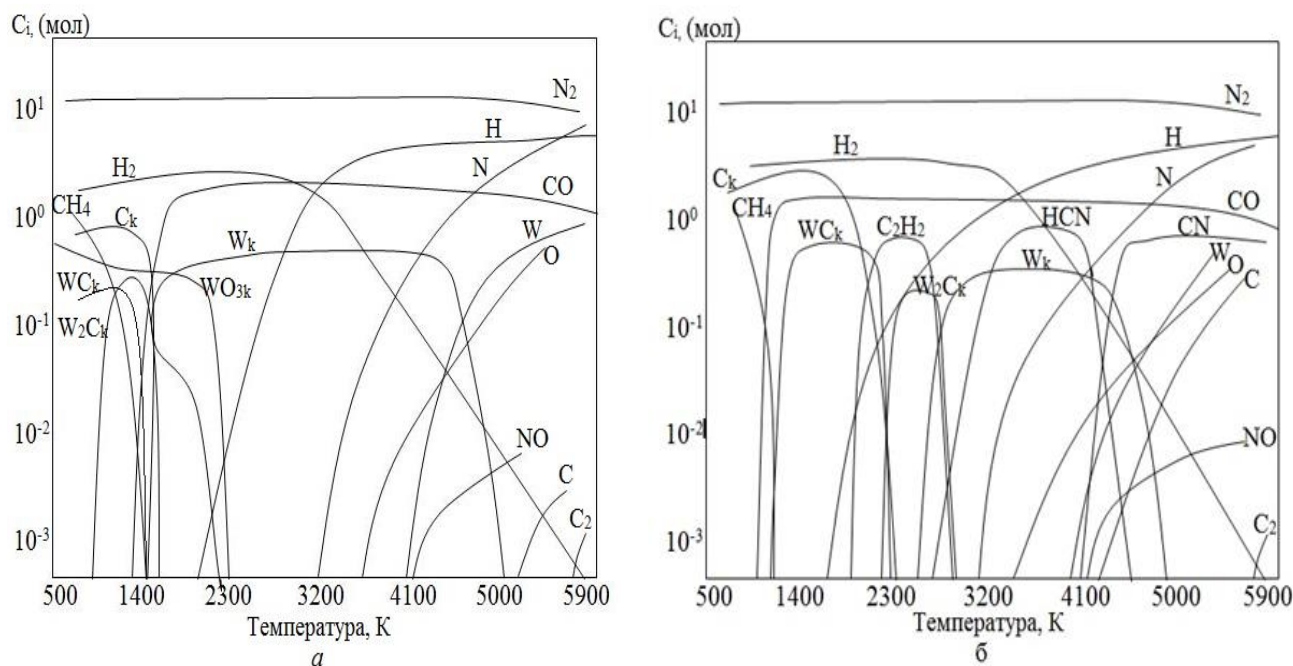
Плазменные струйные процессы получения тугоплавких металлов и их соединений как объекты термодинамического моделирования по сравнению с традиционными имеют ряд характерных особенностей: быстротечность процессов взаимодействия, что позволяет ряду исследователей ставить под сомнение возможность достижения термодинамического равновесия; возможность достижения высокого выхода продуктов только в условиях, обеспечивающих газофазный характер реакций образования. Целесообразность выполнения термодинамических расчетов равновесных составов металлообразующих систем при различных параметрах синтеза обусловлена недостаточностью информации для описания с необходимой точностью и достоверностью кинетики и механизма процессов образования металлов и их соединений. С учетом отмеченных особенностей результаты термодинамического моделирования процессов образования тугоплавких металлов и их соединений следует рассматривать с одной стороны, как прогнозные, требующие экспериментального подтверждения, а с другой – как технологические ориентиры и показатели совершенства реакторов и уровня организации в них процессов тепло- и массообмена [4,7-8].

Объектом термодинамического моделирования являлась система W–O–C–H–N. Учитывалась возможность образования следующих компонентов: (газообразные) O, C, H, O₂, N₂, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, NO, NO₂, H₂O, CN, HCN, CO, CO₂, W, WO, WO₂, WO₃, WC, W₂C, WN, W₂N. При этом учитывалась возможность образования в конденсированном состоянии следующих фаз: W, WO₂, WO₃, W₂C, WC, W₂N, WN. Соотношения компонентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение исходных компонентов, г-ат.

Реакция	W : O : C : H : N
$WO_3 + 3CH_4 = W + 3CO + 6H_2$	0,5 : 1,5 : 1,5 : 6 : 22
$WO_3 + 4CH_4 = WC + 3CO + 8H_2$	0,5 : 1,5 : 2 : 8 : 22

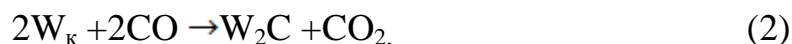
Необходимые для анализа составы газообразных и конденсированных продуктов рассчитывались «константным методом». Расчеты выполнялись с использованием разработанной в ИХТТИМ СО РАН программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA» с вложенной базой данных термодинамических свойств индивидуальных веществ в области температур 500-5900 К при общем давлении в системе 0,1 Мпа. Программа основана на «константном» методе [8-9], предполагающем совместное решение уравнений закона действующих масс, материального баланса, постоянства суммарного числа молей газовой смеси и закона Дальтона. Недостающие данные рассчитывались по приближенным методикам [10-11]. Результаты расчета равновесных составов системы W–O–C–H–N представлены на рисунках 1 (а, б).



- а) равновесный состав системы W-O-C-H-N при соотношении
 $W : O : C : H : N = 0,5 : 1,5 : 1,5 : 6 : 22$;
 б) равновесный состав системы W-O-C-H-N при соотношении
 $W : O : C : H : N = 0,5 : 1,5 : 2 : 8 : 22$.

Рисунок 1 – Результаты термодинамических расчетов системы W-O-C-H-N

Установлено, что в условиях термодинамического равновесия при рассматриваемых условиях возможно существование только трех продуктов восстановления оксида вольфрама(VI) – W, W_2C и WC. Образование вольфрама и его карбидов W_2C и WC наблюдается уже при соотношении реагентов равным стехиометрическому для получения вольфрама (рисунок 1а) и обусловлено возможностью конденсации вольфрама при температуре ниже 4800 K и образования карбидов W_2C и WC ниже 1600 °K за счет протекания следующих реакций:

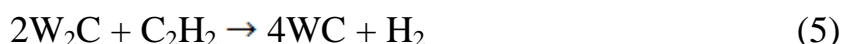


Однако выход монокарбида вольфрама в этих условиях не превышает 48,0 мол %.

Выход монокарбида вольфрама в диапазоне температур 1600 – 950 °K близок к 100%. Учитывая, что температура конденсации вольфрама выше температурной области существования карбидных фаз можно предположить, что в реальном процессе плазмохимического синтеза возможность образования карбидов вольфрама будет связана с кинетикой науглероживания конденсированных частиц вольфрама твердым углеродом термодинамически допустимой области температур. Поскольку время преобразования реагентов

в плазмохимическом реакторе считывается – 0,02с, то наиболее реальным представляется образование вольфрам-углеродной смеси со стехиометрическим для получения монокарбида соотношением компонентов 93,8 мас % W и 6,2, мол % C.

Увеличение количества восстановителя до стехиометрически необходимого для получения монокарбида приводит к расширению температурной области существовавших карбидных фаз (рисунок 1б): карбид W_2C образуется при температуре 2600-2150 °K, а карбид WC – при температуре 2150- 950 °K. В качестве карбидизатора в этом случае выступает ацетилен:



Однако в интервале температур 2150 – 950 °K конденсированных продуктах восстановления наряду с монокарбидом присутствует свободный углерод, образующийся при разложении ацетилена при температуре ниже 2150 K:



В связи с этим в равновесных условиях монокарбид вольфрама может быть получен лишь в смеси со свободным углеродом. Можно также, по-видимому, ожидать вследствие малого времени карбидизации образования дефектных по углероду фаз WC_{1-x} ($0 \leq x \leq 0,4$).

Таким образом для экспериментального исследования процесса плазменного восстановительного синтеза оксида вольфрама можно рекомендовать соотношение исходных компонентов равным стехиометрическому, обеспечивающего достаточно большую температурную область существования вольфрама и его карбидов.

Библиографический список

1. Lassner E. Tungsten Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds / E. Lassner and W.D. Schubert // Kluwer Academic, Plenum Publishers, New York – 2009.

2. Ильин А.П. Получение нанопорошков вольфрама методом электрического взрыва проводников / А.П. Ильин [и др.]. // Известия Томского политехнического университета, 2004. - № 4. – С. 68-70.

3. Лыков А.М. Термодинамический анализ процессов получения карбидов из хлоридов металлов/ А.М.Лыков, А.Л.Сурис, С.Н. Шорин. – В кн.: II Всесоюзный симпозиума по плазмохимии: Тез. докл. Рига: Зинатне, 1985, т.2, с.182-185.

4. Сурис А.Л. Термодинамика высокотемпературных процессов: справочник /А.Л. Сурис. – М.: Металлургия, 1985. – 568 с.

5. Shapoval V.L. Thermodynamics basis of electrochemical synthesis of tungsten, molybdenum and boron carbides / V.L. Shapoval, Kh.B. Kushkhov, I.A.

Navoselova // Inst. Obshchej i Neorganicheskoi Khimi, Ukraine – 2004.

6. Bikhan G. Zur gleichzeitigen Bildung von Blausäure und Acetylen im Stickstoffplasmastrahl / G. Bikhan, H.J. Spangenberg // Chem. Technik. – 1975. – №12. – P. 736-738.

7. Цветков Ю.В. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления / Ю.В. Цветков, С.А. Панфилов – М.: Наука, 1980 – 240 с.

8. Ватолин Н.А. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах / Н.А. Ватолин, Г.К. Моисеев, Б.Г. Трусов. – М.: Metallurgiya, 1994. – 352 с.

9. Синярев Г.Б. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов, Г.К. Моисеев. – М.: Наука, 1982. – 264 с.

10. Владимиров Л.П. Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций / Л.П. Владимиров. – М.: Metallurgiya, 1970. – 528 с.

11. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1970. – 519 с.

УДК 669.27.09

ФОРМИРОВАНИЕ ГАРНИСАЖНОЙ ФУТЕРОВКИ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ

**Шагиев Р.Р., Бодичев Д.В., Щербинина А.С.,
Гергель П.О., Карев К.С.**

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Ноздрин И.В.

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

Исследованы условия формирования гарнисажных футеровок при восстановлении оксида вольфрама (IV) в высокоэнтальпийном потоке азота. Формирование футеровки повышает температуру стенок реактора мощностью 80 кВт на 40-50 % по сравнению с не теплоизолированным реактором. Создание «горячей» стенки повышает среднюю температуру плазменного потока на 13-20 %.

Ключевые слова: плазменный реактор, гарнисажная футеровка, оксиды вольфрама, секционная калориметрия.

Металлургические процессы, реализуемые в потоках низкотемпературной плазмы позволяют получать «экстремальные» по своим свойствам материалы на основе тугоплавких металлов, их карбидов, нитридов и боридов в нанодисперсном состоянии (50-100 нм). По уровню дисперсности, форме частиц, химическому составу такие материалы отвечают требованиям

большинства задач современного материаловедения.

Экспериментальная возможность получения вольфрама и его карбидов восстановлением оксидного сырья в высокоэнтальпийных потоках низкотемпературной водородной и азотной плазмы показана в работах [1-2]. Однако для успешной технологической реализации данных процессов требуется решение целого ряда научных и прикладных вопросов, связанных как с исследованиями особенностей механизма высокотемпературных физических и химических процессов, протекающих с вольфрамсодержащим сырьем в реализуемом в плазмометаллургических реакторах диапазоне температур 500-6000 К, так и с аппаратурным обеспечением оптимальных параметров синтеза целевых продуктов.

Целью настоящей работы являются исследования возможности повышения энергетической эффективности трехструйного дугового плазменного реактора при переработке оксидного вольфрамсодержащего сырья путем формирования теплоизолирующей гарнисажной футеровки.

Аналитический обзор.

Особенностью плазменных реакторов является генерирование в них теплового потока высокой удельной мощности. Удельная электрическая мощность в рабочей зоне достигает 1200 МВт/м³. По этому показателю они превосходят традиционное электротермическое оборудование на несколько порядков, что обеспечивает быстрый перевод дисперсного сырья (0,1- 0,01 с) в газовую фазу. Благодаря этому снимаются основные диффузионные и кинетические ограничения, характерные для большинства гетерогенных процессов, реализуемых в традиционных металлургических агрегатах. Однако высокая энергетическая напряженность оборудования приводит к большим тепловым потерям, главным образом на охлаждение стенок камеры смешения и узлов реактора. Это обуславливает снижение как энергетической эффективности реакторов, так и экономической конкурентоспособности реализуемых в них процессов.

Наиболее простым и эффективным способом повышения теплового КПД плазменного реактора является использование теплоизолирующих футеровок. Футеровки подразделяются на искусственные, чаще всего многослойные, выполняемые из огнеупоров и теплоизоляционных материалов, и естественные, или гарнисажные, "намораживаемые" при спекании шихты или кристаллизации расплава на внутренних поверхностях «холодных» стенок.

Искусственные футеровки для плазменных реакторов, выполняемые из графита, корунда, оксидов циркония, хрома и др., характеризуются дороговизной, сложностью изготовления и недостаточной стойкостью, особенно на начальном участке канала, где тепловые потоки в стенку реактора максимальные [3]. Гарнисажные футеровки сравнительно легко формируются, дешевы и позволяют исключить использование дефицитных огнеупоров. В качестве основы футеровок можно использовать как компоненты исходного сырья, так и другие подходящие материалы.

Теплообмен в каналах плазменных реакторов следует рассматривать как взаимодействие элементов системы "плазма дисперсный материал стенки реактора", подразделяемое на теплообмен плазменных потоков со стенками реактора и теплообмен частиц дисперсного материала с потоками плазмы. При исследовании теплообмена высокотемпературных газовых потоков с охлаждаемыми стенками цилиндрических каналов при ламинарных режимах течения можно отметить следующие особенности [3,4]:

1) Теплообмен происходит при одновременном формировании теплового и гидродинамического пограничных слоев, в связи с чем закономерности теплообмена на начальном участке в значительной мере отличаются от аналогичных для установившегося стабилизированного течения потока. Длина начального участка зависит от диаметра канала реактора, режима течения газа и наличия в потоке тангенциальной составляющей скорости;

2) Теплообмен на участке канала длиной менее 6-8 калибров характеризуется повышенной интенсивностью, достигаемой обычно при турбулентных режимах течения, что обусловлено вихревой закруткой истекающего из плазмотрона газа, вызванной тангенциальным вводом его в разрядные камеры, и турбулизацией газа вращающимися электрическими дугами;

3) Процесс теплообмена реализуется в условиях существенного изменения теплофизических и термодинамических свойств плазменного потока по сечению реактора, обычно при изменении (для азота) среднемассовой температуры от 6000 до 1000 К, температуры стенки от 300 до 1000 К;

4) При температуре выше 4000 К для азота и воздуха теплообмен протекает в условиях значительного изменения теплофизических свойств газов, обусловленного их частичной диссоциацией, причем различие для значений теплоемкостей и коэффициента теплопроводности недиссоциированного и равновесно диссоциированного состояния может превышать 100-300 %. Однако в реальных условиях интенсивного охлаждения потока степень отклонения от равновесного состояния практически не определима.

Методика исследований.

Исследовалась возможность формирования гарнисажной футеровки на основе оксида вольфрама (VI), применяемого в качестве сырья в процессе синтеза вольфрама и его карбидов. Внутренний диаметр плазменного реактора составлял 0,054 м. Мощность, подводимая к плазменному реактору, варьировалась в диапазоне 30-80 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовался технический азот. Массовая расходная концентрация порошкообразного оксида в потоке поддерживалась на уровне 0,10-0,12 кг/кг. Неоднородность слоя гарнисажа по плотности исключает возможность расчета распределения температуры внутренней поверхности футеровки по экспериментально определенным значениям теплового потока и толщине слоя. В связи с этим коэффициенты теплопроводности оценивались для тепловой задачи для двухслойной стенки "стальная стенка реактора – слой гарнисажа" для сечения $X/D=4,0$ по значениям теплового потока, температуры внутрен-

ней поверхности гарнисажа и его толщины [4]. Тепловые потоки в каждом сечении реактора определялись методом секционной калориметрии по методике, подробно описанной в [3], Температура внутренней поверхности гарнисажной футеровки измерялась хромель-алюмелевыми термопарами с точность 5-10 градусов, спаи которых диаметром $1 \cdot 10^{-3}$ м "вмораживались" в гарнисаж на расстоянии $2 \cdot 10^{-3}$ м от металлической стенки реактора в трех точках, расположенных равномерно по диаметру канала реактора.

Анализ полученных результатов.

Установлено, что фазовый состав гарнисажа и его максимальная толщина практически не зависят от мощности дугового разряда. Максимальная толщина гарнисажного слоя достигается в зависимости от подводимой мощности к 4-6 минуте при 80 кВт, 5-7 минуте при 55 кВт и к 6-8 минуте при 30 кВт. Завершенность процессов гарнисажеобразования определяется их минимальной скоростью, соответствующей длине реактора 7-8 калибров. Характеристики и условия формирования футеровки приведены в таблице 1. Для сравнения приведены данные для гарнисажной футеровки из SiO₂ [5].

Таблица 1 – Характеристики и условия формирования футеровки

Оксид, фракции, мкм	Фазовый состав гарнисажа	Максимальная толщина гарнисажа*, м·10 ³	Т, К	λ , Вт/(м·К)
			X/D=4,0	
WO ₃ 1,5-3,0	β - WO ₃ (ромбическая), γ - WO ₃ (тетрагональная)	3,0-3,7	940±10	2,74
SiO ₂ 0,5-2,0	SiO ₂ – высокотемпературный, β - крестобалит	2,7-3,1	970±10	2,41

Примечание: * - минимальное и максимальное значения из 5 замеров на длине реактора 6 калибров при мощности 80 кВт

На рисунке 1 приведены результаты измерений и расчетов температуры стенки не футерованного реактора и температура наружной поверхности гарнисажного слоя при мощности реактора 80 кВт. Для сравнения приведены результаты, полученные при исследовании футеровки на основе SiO₂ [5].

Во всех случаях гарнисажная футеровка обеспечивает повышение температуры стенки по сравнению с не футерованным реактором (рисунок 1 (а)). Температура стенки на длине 8 калибров изменяется в случае гарнисажа из диоксида вольфрама от 1580 до 740 К, в случае диоксида кремния - от 1740 до 780 К. При отсутствии тепловой изоляции температура стенки изменяется по длине реактора в диапазоне 1070-400 К. Создание "горячей" стенки способствует снижению тепловых потерь на охлаждение реактора и повышению среднетемпературы газа-теплоносителя на длине реактора 8 калибров на 13 % для оксида вольфрама (IV) и 20 % для оксида кремния (IV) (рисунок 1 (б)).

Выводы.

Показана целесообразность при получении нанодисперсных порошков вольфрама и его карбидов тепловой защиты канала реактора гарнисажной футеровкой из оксида вольфрама (IV), которая сравнительно легко формируется и отличается большей стойкостью (особенно на начальном участке канала) по сравнению с искусственными футеровками.

При мощности дугового разряда 80 кВт определено продольное распределение температур внутренней поверхности гарнисажной футеровки (экспериментальным методом) и температуры не футерованной стенки реактора (расчетным методом по экспериментальным значениям теплового потока).

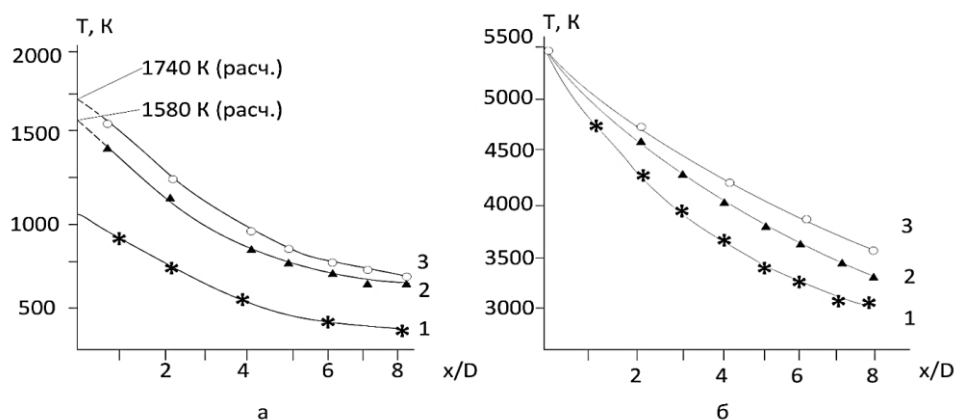


Рисунок 1 – Продольное распределение температуры стенки плазменного реактора(а) и среднемассовой температуры плазменного потока азота (б) по длине реактора (1 – не теплоизолированный реактор, 2 – гарнисаж из WO_2 , 3 - гарнисаж из SiO_2)

Повышение температуры стенки реактора мощностью 80 кВт при формировании гарнисажной футеровки из оксида вольфрама (IV) составляет 1580-740 К на длине реактора 8 калибров (при отсутствии тепловой изоляции 1070-400 К). Снижение температурного градиента плазменного потока по сечению реактора за счет «горячей» гарнисажной стенки повышает среднемассовую температуру газа-теплоносителя – азота на 13 %.

Библиографический список

1. Цветков Ю.В. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления / Ю.В. Цветков, С.А. Панфилов – М.: Наука, 1980 – 240 с.
2. Пархоменко В.Д. Технология плазмохимических производств/ В.Д. Пархоменко, П.Н. Цибунов, Ю.Н. Краснокутский. – Киев: Выща школа, 1991. – 255 с.
3. Галевский Г.В. Гидродинамические и теплотехнические характеристики трехструйного прямоточного реактора для высокотемпературного синтеза тонкодисперсных материалов / Г.В. Галевский, М.Ф. Жуков, А.А. Корнилов, И.В. Ноздрин [и др]. - Новосибирск: ИТ СО РАН, 1990. - 40 с.
4. Амбразявичус А.Б. Высокотемпературный теплообмен в плазменно-

технологических аппаратах: учеб. пособие / А.Б. Амбразявичус, В.К. Литвинов. - Свердловск: УПИ им. С.М. Кирова, 1986. - 89 с.

5. Галевский Г.В. Технология плазмометаллургического производства наноматериалов: В 2 т. / Г.В.Галевский, Т.В. Киселева, О.А. Полях, В.В. Руднева. – Т.1. Основы проектирования плазмометаллургических реакторов и процессов. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 228 с.

УДК 662.754

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ КОКСОВОГО ГАЗА ОТ АММИАКА

Яковлева Д.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.

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

Целью данной работы является изучение способов очистки коксового газа сатураторным и бессатураторным способом. На основе сравнительного анализа выбрать наиболее эффективный способ.

Ключевые слова: коксовый газ, сатураторный способ, бессатураторный способ.

Коксовый газ – горючий газ, образующийся в процессе коксования каменного угля, то есть при нагревании его без доступа воздуха до 900-1100 °С. Коксовый газ содержит водорода в пределах 50 – 60 % в зависимости от сорта каменного угля, также коксовый газ содержит: метан 20 – 30 %, оксид углерода 5 – 10 %, диоксид углерода 2 – 4 %, этилен 2 – 4 %, азот 3 – 6 %, кислород 0,3 – 0,9 %, примеси сероводорода, аммиака, нафталина, водяной пар, бензольные углеводороды, ацетилен, фенол, каменноугольную смолу, цианистый водород, и другие химические соединения [1].

Одним из основных процессов очистки коксового газа является улавливание аммиака. Содержание аммиака в газе должно быть минимальным (0.03 г/Нм³) из-за ряда технических причин. К тому же его улавливание несет экономическую выгоду, так как аммиак является источником для получения азотных удобрений.

На коксохимических предприятиях применяют два основных способа очистки коксового газа от аммиака с образованием сульфата аммония: сатураторный и бессатураторный. Существующие методы имеют ряд недостатков, такие как: большие парогазовые выбросы, трудноутилизируемые отходы, коррозия оборудования.

Сущность протекания сатураторного процесса заключается в следующем. Коксовый газ из газосборников коксовых батарей поступает в сепара-

торы, где происходит отделение смолы и воды от газа, после охлаждения в ПГХ по всасывающим газопроводам поступает в газодувки. Из газодувок машинного зала с температурой 45-55 °С и содержанием смолистых веществ не более 0,5 г/м³ поступает в решефер, где подогревается до температуры 60-70°С и подаётся в сатуратор по газопроводу, оканчивающемся барботажным зонтом. Зонт погружен на 200-250 мм в маточный раствор, состоящий из сульфата аммония (NH₄)₂SO₄, бисульфата аммония NH₄HSO₄, воды и серной кислоты. После улавливания аммиака коксовый газ через газоотводящие патрубки поступает в ловушку, где отделяется от унесённых капель маточного раствора и далее поступает в бензольное отделение. По мере накопления, маточный раствор выводится из нижней части ловушки в стакан циркуляционной кастрюли, которая является гидрозатвором. Сульфат аммония вследствие перенасыщения маточного раствора непрерывно выделяется в виде белых кристаллов, которые под действием своего веса опускаются в конусную часть сатуратора. Мелкие кристаллы за счёт газовой ажитации поднимаются из нижней конусной части сатуратора в зону реакции, к барботажному зонту, где происходит дальнейший рост кристаллов. Кристаллы сульфата аммония осаждаются на дно сатуратора, откуда кислотоупорным насосом в виде пульпы подаются в кристаллоприёмник. В кристаллоприёмнике кристаллы сульфата аммония из пульпы осаждаются на дно, раствор по переливу возвращается через кастрюлю обратных стоков в сатуратор. Затем кристаллы сульфата аммония попадают в центрифугу для отделения их от раствора и промывку водой. Из центрифуги кристаллическая соль сульфата аммония подаётся транспортёром на сушильную установку барабанного типа. В сушилке сульфат подвергается сушке до содержания влаги 0,1-0,3 % и подаётся на склад [2-5].

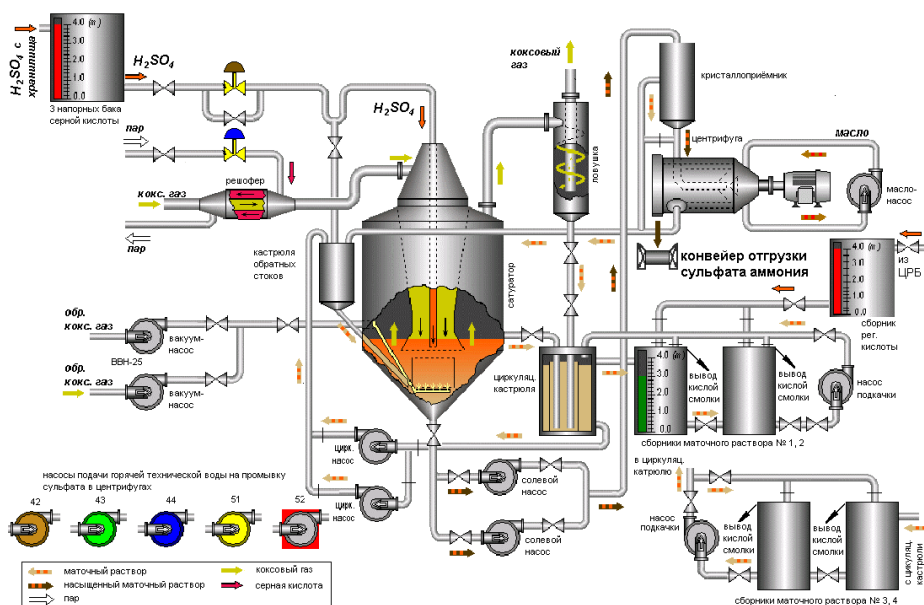


Рисунок 1 - Технологическая схема сатураторной установки

Сущность протекания бессатураторного процесса заключается в следующем. Для улавливания аммиака данным способом применяется установка двухступенчатого абсорбера. Коксовый газ после газодувок машинного зала под давлением 2000 – 2500 мм вод. ст. поступает в нижнюю часть абсорбера (1-я ступень абсорбера), где орошается маточным раствором, содержащим 0,8 – 2% свободной серной кислоты. В 1-й ступени абсорбера происходит улавливание основного количества аммиака из газа. Из 1-й ступени коксовый газ проходит в верхнюю часть абсорбера (2-я ступень абсорбера), где орошается маточным раствором, содержащим 1 – 4% свободной серной кислоты. Здесь улавливаются из коксового газа остатки аммиака. Переток газа с 1-й во 2-ю ступень абсорбера осуществляется через горизонтально расположенную тарелку. Над тарелкой установлен колпак, на котором расположены отбойники, выполненные из уголков. Со 2-й ступени газ проходит в ловушку, где улавливаются унесенные газом капли маточного раствора. Далее из ловушки газ поступает в бензольное отделение для улавливания из него бензольных углеводородов. Улавливаемый в ловушке маточный раствор собирается в нижнюю ее часть, выводится через гидрозатвор в циркуляционный сборник 2-й ступени. Подача маточного раствора в 1-ю и 2-ю ступени абсорбера осуществляется через систему орошающих форсунок, расположенных внутри каждой ступени абсорбера. Маточный раствор, содержащий около 40% сульфата аммония, из сборника, питающего испаритель, подаётся насосом в нижнюю часть конуса испарителя. В испарителе, благодаря интенсивной циркуляции маточного раствора, происходит выпаривание кристаллов сульфата и их дальнейший рост [2-5].

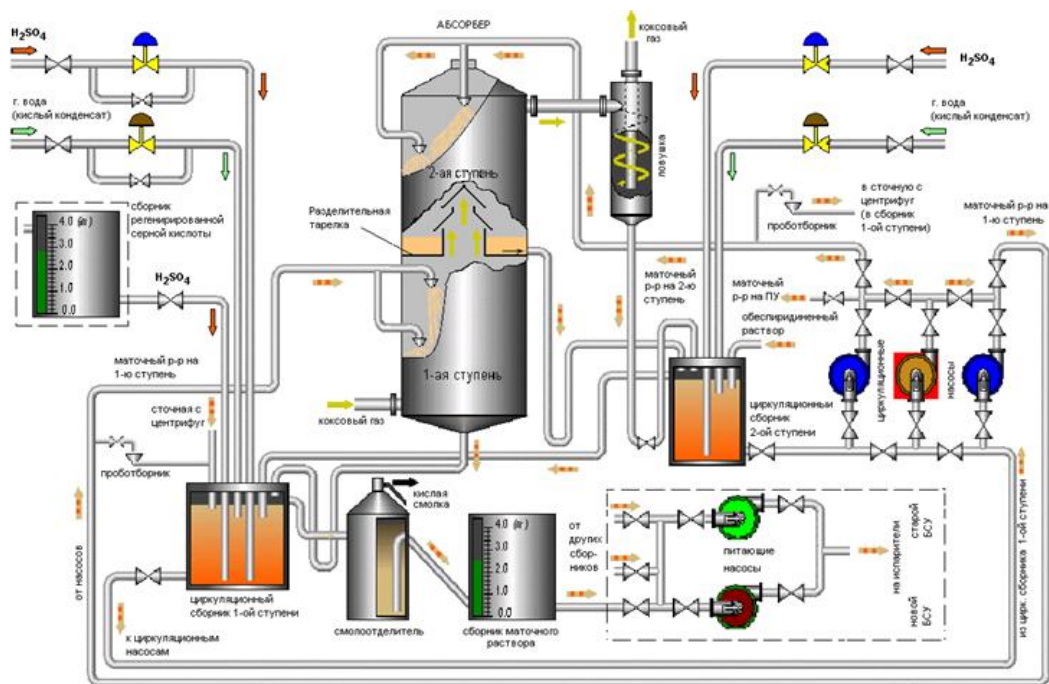


Рисунок 2 – Принципиальная схема очистки коксового газа от аммиака бессатураторным способом

Конденсат пара, образующийся в пароподогревателе испарителя, отводится в сборник чистого конденсата, избыток в ливневую канализацию. Из сборника конденсат подаётся насосами на промывку соли сульфата аммония в центрифугах, и на задние стенки центрифуг, а избыток отводится в ливневую канализацию. Пары маточного раствора отводятся из испарителя, проходят последовательно основной конденсатор и конденсатор парового эжектора, где почти полностью конденсируются. Конденсат из конденсатора собирается в сборники кислого конденсата, откуда может подаваться насосом на I и II ступени абсорберов для поддержания плотностей маточного раствора. Избыток конденсата отводится в фенольную канализацию. Маточный раствор в виде пульпы, содержащей 50-60% кристаллического сульфата аммония, из конусной части испарителя, через заглубленный опуск, находящийся в центральной трубе трубчатки испарителя, солевым насосом откачивается на центрифугу. С центрифуги сульфат аммония поступает через течку на систему конвейеров, откуда загружается в сушилку. В сушилке барабанного типа сульфат аммония подвергается сушке до содержания влаги 0,1-0,3 %, после чего в виде готовой продукции поступает на склад [2-5].

При рассмотрении двух видов технологий отчистки коксового газа от аммиака с помощью серной кислоты, можно сделать выводы, что наиболее эффективными являются технологии отчистки бессатураторным способом за счет улавливание в двухступенчатом абсорбере с разной концентрацией маточного раствора в ступенях.

Библиографический список

1. Большая советская энциклопедия. Коксовый газ [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ximuk.ru/>, свободный.
2. Лейбович, Р.Е. Технология коксохимического производства / Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов - М., 1982. – 360 с.
3. Кауфман, А.А. Технология коксохимического производства / А.А. Кауфман, Г.Д. Харлампович - Екатеринбург: 2005. – 288 с.
4. Дмитриев, М.М. Краткий справочник коксохимика. Химическая промышленность/ М.М. Дмитриев, Я.М. Обуховский - М., 1976. – 197 с.
5. Использование коксового газа станет привлекательнее [электронный ресурс] // Deutz Talk. – 2003. - №2. – Режим доступа: www.esco.co.ua/journal/2008_4/art196.pdf, свободный.

КОКСОВЫЙ ГАЗ: СОСТАВ, СВОЙСТВА И ОЧИСТКА**Яковлева Д.Д.****Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.***Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

В данной работе рассмотрены основные причины очистки коксового газа от аммиака, свойства и области применения сульфата аммония. Выведены основные проблемы способов улавливания аммиака при очистки коксового газа: сатураторный, бессатураторный и круговой фосфатный способ.

Ключевые слова: аммиак, сульфат аммония, сатураторный способ, бессатураторный способ, круговой фосфатный способ.

Коксовый газ выделяется при высокотемпературном (900—1000 °С) коксовании каменных углей. Он состоит в основном из водорода (55—65%) и метана (20—30%). Коксовый газ. Количество коксового газа составляет 300 —350 м³ на 1 т сухого угля; состав газа зависит от свойств перерабатываемого угля и от режима коксования. Примерный состав коксового газа из современных коксовых печей приведен в таблице 1.

Таблица -1 Состав коксового газа

Состав	Содержание (объемн.%)
Водород	55-60
Метан	23-25
Окись углерода	6-7
Углекислоты	2-3
Углеводородные газы	2-2,5
Кислород	0,3-0,5
Азот	6,7

Кроме того, газ содержит водяные пары, примеси сероводорода, цианистого водорода, некоторое остаточное количество паров бензола, нафталина и аммиака. Теплопроводность коксового газа достигает 4000 ккал/м³. Коксовый газ может быть использован самостоятельно или в смеси с менее калорийными газами или обогрев различных промышленных печей, в том числе и коксовых [1].

Для любого коксохимического предприятия очистка коксового газа от аммиака является обязательной процедурой. Допустимые нормы содержания аммиака в газе 0.03 г/Нм³, а процент извлеченного аммиака из газа должно составлять 99.7 – 99.8 % масс. Такие жесткие требования определяются по ряду технологических причин:

- по принятой отечественной технологии значительная часть аммиака, остающегося в газе, поглощается водой на стадии конечного охлаждения и десорбируется в атмосферу на градирнях;

- аммиак с находящимся в газе цианистым водородом резко усиливает коррозию оборудования, образуя хорошо растворимое комплексное соединение гексацианферрат -III- $(\text{NH}_4)_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;

- остающийся в газе аммиак при сжигании превращается преимущественно в токсичные и коррозионно-опасные оксиды азота;

- аммиак стабилизирует эмульсии воды и масла при улавливании бензольных углеводородов [2].

К тому же аммиак является ценным компонентом коксового газа, и улавливать его из газа экономически выгодно. Он является основным реагентом для выделения пиридиновых оснований и сульфатно-пиридиновых отделений цеха улавливания и источником для получения азотного удобрения (сульфата аммония)

Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – аммонийная соль серной кислоты, образующаяся при взаимодействии аммиака, содержащегося в коксовом газе, с раствором серной кислоты.

Соль сульфата аммония – бесцветные кристаллы ромбической формы с плотностью $1,769 \text{ г/см}^3$. Технический сульфат аммония имеет серовато-желтоватый оттенок. В зависимости от размера кристаллов насыпной вес колеблется в пределах от 1000 до 1100 кг/м^3 . При концентрации серной кислоты 10% сульфат аммония полностью растворяется и переходит в бисульфат аммония.

Сульфат аммония предназначен для нужд сельского хозяйства в качестве удобрения. В биохимии переосаждение сульфатом аммония является общим методом очистки белков. В пищевой промышленности зарегистрирован в качестве пищевой добавки E517. Используется в технологии хлорирования воды с аммонизацией, благодаря чему значительно сокращается образование хлорорганики вредной для организма человека. Также сульфат аммония применяется для производства: гербицидов, кормов для животных, выделки кож, строительной изоляции.

В коксохимической промышленности используются три способа очистки коксового газа от аммиака: сатураторный, бессатураторный, круговой фосфатный.

Сатураторный метод – это метод абсорбции аммиака и образования кристаллов сульфата аммония в одном аппарате - сатураторе. Относительно малая степень гидролиза бисульфата и сульфата аммония, а также использование определенного избытка кислоты (бисульфата аммония) позволяет достаточно полно улавливать аммиак даже при высокой температуре в сатураторе ($55 - 60^\circ\text{C}$) [3]. Но данный метод имеет ряд недостатков:

- высокое сопротивление газовому потоку при прохождении его через сатуратор в ловушку;

- недостаточная управляемость процессом кристаллизации, в результате чего получаемый сульфат аммония обладает недостаточно выраженной кристаллической структурой;

- невозможность вести улавливание аммиака при низких температурах и при минимальной и постоянной кислотности маточного раствора;

- одновременное улавливание из газа аммиака и пиридиновых оснований затрудняет ведение процесса кристаллизации в нужном направлении;

- периодическое искусственное изменение кислотности ванны сатуратора затрудняет осуществление автоматизации процесса.

Совершенствование методов получения сульфата аммония привело к появлению бессатураторного процесса улавливания аммиака из коксового газа, он устраняет принципиальные недостатки сатураторного процесса.

Бессатураторный метод – это метод улавливания аммиака из коксового газа в насадочных и безнасадочных (форсуночных) абсорберах ненасыщенным раствором с последующим получением в отдельном аппарате кристаллов соли сульфата аммония путем упарки части раствора. Для отдельного улавливания из газа аммиака и пиридиновых оснований предусматривается установка двухступенчатого абсорбера [3]. Эта технология имеет ряд преимуществ перед сатураторным методом:

- применение насадочных или форсуночных абсорберов позволяет резко понизить гидравлическое сопротивление системы до 500—1000 Па (50—100 мм вод ст);

- отдельное улавливание из газа аммиака и пиридиновых оснований обеспечивает низкие их потери с обратным газом, повышается концентрация пиридиновых оснований в маточном растворе, идущем в пиридиновое отделение;

- орошение абсорберов ведется ненасыщенным маточным раствором, имеющим по сравнению с насыщенным большую упругость водяных паров, что повышает интенсивность испарения из него воды, соль сульфата аммония получается лучшего гранулометрического состава.

Круговой фосфатный способ - это способ улавливания аммиака растворами ортофосфатов аммония, проходящий по следующей обратимой химической реакции:



Аммиак селективно абсорбируется раствором моноаммонийфосфата МАФ ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) при температуре $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 < 50 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом образуется диаммонийфосфат ДАФ ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$). При нагреве раствора до температуры $> 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ДАФ, разлагается на МАФ и аммиак. Аналогично десорбции аммиака из надсмольной воды на аммиачных колоннах, аммиак отгоняется водяным паром из фосфатного раствора в колонном аппарате [4].

Данная технология имеет ряд преимуществ перед предыдущими способами очистки коксового газа:

- улавливаемый аммиак термически разрушается в реакторе до состояния водяного пара и газообразного азота, что при выбросе не наносит вред окружающей среде;

- благодаря тому, что в технологии применяется ортофосфорная кислота в замкнутом цикле, она используется многократно;

- в качестве побочного продукта образуется пар среднего давления, благодаря которому снижаются затраты на энергоресурсы;

При рассмотрении двух видов технологий отчистки коксового газа от аммиака с помощью серной кислоты, можно сделать выводы, что наиболее эффективными являются технологии отчистки бессатураторным способом за счет улавливание в двухступенчатом абсорбере с разной концентрацией маточного раствора в ступенях.

При рассмотрении трёх видов технологий отчистки коксового газа от аммиака, можно сделать вывод, о том, что круговой фосфатный способ является наиболее эффективным. В первую очередь из за того что цикл не прерывный и есть возможность повторного использования сырья, а так же технология кругового фосфатного способа является наиболее экологичной.

Библиографический список

1. Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс]: научный конспект - Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id92409p1.html/> Загл. с экрана.

2. Кауфман, А.А. Технология коксохимического производства / А.А. Кауфман, Г.Д. Харлампович - Екатеринбург: 2005. – 288 с.

3. Лейбович, Р.Е. Технология коксохимического производства / Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов - М., 1982. – 360 с.

4. Дмитриев, М.М. Краткий справочник коксохимика. Химическая промышленность/ М.М. Дмитриев, Я.М. Обуховский - М., 1976. – 197 с.

УДК 625.143.48

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РЕЛЬСОВ

Буркова А.А., Буренин А.В., Киселев М.С.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.,
канд. техн. наук, доцент Князев С.В., Шевченко Р.А.**

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

Рассматриваются современные проблемы контактной стыковой сварки рельсов. Описаны способы получения равнопрочного сварного соединения, используемые в России и за рубежом. Предложен новый способ сварки, позволяющий получать сварной стык с повышенными эксплуатационными

свойствами.

Ключевые слова: сварка, технология, рельсы, качество, надежность, алюминотермия.

Сварные соединения являются слабыми участками бесстыкового пути для всех случаев движения (скоростного, высокоскоростного движения и тяжеловесного движения). За 2018 год 56 % изломов рельсов произошло по причине излома по сварному стыку, выявлено 15 % остродефектных рельсов в зоне сварных стыков. Причины этого заключаются в изменении однородности микроструктуры в зонах сварного шва и термического влияния; создании неблагоприятной эпюры внутренних остаточных напряжений; создании при сварке условий для образования внутренних дефектов, являющихся концентраторами напряжений и ослабляющих участок рельса со сварным швом; короблению рельса в зоне сварного шва с последующим образованием «седловин» при эксплуатации.

Создание рельсов с ресурсом 1500 – 2000 млн т возможно только при комплексной оптимизации металлургического качества, структуры металлической матрицы, эпюры остаточных напряжений и прямолинейности [1,2,3]. Высокое металлургическое качество рельсов связано, прежде всего, с отсутствием в них скоплений и отдельных крупных хрупкоразрушенных оксидных неметаллических включений, что обеспечивается низким содержанием в стали алюминия (менее 0,004 %) и кислорода (общего — менее 20 ppm и связанного в высокоглиноземистые оксидные включения — менее 10 ppm).

Сварные соединения рельсов, получаемые в настоящее время, являются слабым местом бесстыкового пути, гарантийный ресурс которых в три раза меньше ресурса рельсов, причем наблюдается стойкая тенденция увеличение изъятия рельсов из пути по причине дефектов сварки и послесварочной термической обработки рельсов. Для повышения эксплуатационных показателей в РФ сварные стыки рельсовых плетей после сварки, обязательно подвергаются термической обработке на индукционных установках с целью исключения образования структур закалки (мартенсита и бейнита), вызывающих дополнительные напряжения и трещины, приводящие к разрушению рельсов. Однако локальная термическая обработка сварного стыка приводит к расширению и появлению новых зон термического влияния (ЗТВ) по сравнению с зонами, сформированными при сварке рельсов контактным способом без термической обработки.

Для изготовления бесстыкового железнодорожного пути на сегодняшний день в мире используется электродуговая, термитная, газопрессовая и электроконтактная сварка. Электродуговая сварка рельсов используется в основном на промышленных и малоответственных путях, так как она малопродуктивна, качество получаемых соединений не соответствует современным требованиям [1, 2]. Термитная сварка широко распространена за границей, имеет относительно малую надежность сварных стыков рельсов и соот-

ветственно низкие технико-экономические показатели жизненного цикла, в связи с чем, получила малое распространение в нашей стране. Газопрессовая сварка позволяет получить высокие механические свойства сварного соединения, однако, у нее низкая производительность и высокие экономические затраты [3,4]. Самое широкое распространение в России получила электроконтактная сварка рельсов, благодаря надежности получаемых соединений, производительности и экономической эффективности [5]. При этом разработанные в настоящее время способы сварки рельсов, особенно эксплуатируемых на высокоскоростных магистралях, не в полной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качеству сварных соединений.

Переход от объемно термоупрочненных рельсов к дифференцированно термоупрочненным с прокатного нагрева, привел для повышения закаливаемости к увеличению содержания хрома в рельсовой стали [5,6]. При электроконтактной сварке интенсивный нагрев, реализуемый пульсирующим методом оплавления с последующим быстрым охлаждением, способствует образованию закалочных структур на месте микрообъемов с повышенным содержанием хрома. Участки мартенсита являются концентраторами напряжений и приводят к развитию усталостных трещин и хрупкому излому.

Многие недостатки можно преодолеть путем разработки и освоения производства сварных рельсовых плетей длиной 800 м, сваренных из цельнокатаных рельсов длиной 100 м с последующей термической обработкой путем непрерывно-последовательного индукционного нагрева всего сечения рельса и последующего дифференцированного охлаждения, направленного на получение в головке рельса структуры сорбита и троостосорбита, максимально однородной как для цельнокатаного рельса, так и для сварного стыка при отсутствии зон термического влияния. Полученные рельсовые плети с термической обработкой должны обеспечивать при условии проведения периодической профилактической шлифовки или фрезеровки межремонтный эксплуатационный ресурс не менее 1500 – 2000 млн т брутто.

Такой подход обеспечит максимально возможную равнопрочность сварных стыков и цельнокатаных рельсов с получением длинных рельсовых плетей для бесстыкового пути с равным сопротивлением износу и смятию в эксплуатации, что позволит ликвидировать местные неровности в сварных плетях бесстыкового пути в течение всего срока службы рельсов. Кроме того, это обеспечивает получение благоприятной эпюры внутренних остаточных напряжений, способствующих получению наибольшего сопротивления зарождению и распространению контактно-усталостных трещин в головке, коррозионно-усталостных трещин в подошве и продольных трещин в шейке рельса как в прокатной, так и в сварной части рельсовых плетей.

Правильно подобранный режим дифференцированно термически упрочненной рельсовой плети позволит минимизировать процесс правки после термической обработки и сохранить внутренние остаточные сжимающие напряжения. Известно, что рельсы, термически упрочненные по технологии

непрерывно-последовательного сквозного индукционного нагрева и последующего дифференцированного охлаждения сжатым воздухом со стороны головки и подошвы на предприятиях «СИСКО» (Канада) (в настоящее время завод закрыт) и «Сожерай» («Тата Стил», Франция), имели остаточные сжимающие напряжения в головке 100 – 200 МПа, а в подошве 100 – 150 МПа. Рельсы, термически упрочняемые с прокатного нагрева дифференцированной закалкой или с отдельного нагрева объемной закалкой в масле, в результате проведения холодной правки на роликоправильных машинах имеют растягивающие напряжения в головке и подошве до 250 – 300 МПа [4].

При строительстве, ремонте и текущем содержании бесстыкового пути одной из ключевых технологий является сварка рельсов, для которой разработаны и запатентованы следующие способы:

- давлением: электроконтактный, газопрессовый, индукционный, лазером, трением и др.;
- алюминотермитный;
- электродуговой: штучными электродами, под слоем флюса, в среде защитных газов, электрошлаковый, порошковыми проволоками и др.

Всем способам сварки присуще наличие зоны термического влияния (ЗТВ) – измененной структуры основного металла рельсов, непосредственно прилегающего к сварному шву. Это приводит к возникновению остаточных напряжений и, как следствие, к снижению прочностных характеристик сварного соединения. Ширина ЗТВ зависит от времени воздействия высоких температур на основной металл, массы присадочного металла, способа и параметров сварки.

Известно, что в рельсах из перлитной стали снижение твердости в зоне термического влияния связано с образованием зернистого перлита [7, 8], но механизм образования этой структуры обычно не обсуждается. Это часто рассматривается как очевидное следствие подводимого тепла при сварке. Поэтому исследование данного процесса позволит дать обоснованные рекомендации по минимизации негативных последствий термического цикла сварки.

Для уменьшения зоны термического влияния предлагается [5,6] после сварки рельсов во время охлаждения проводить квазиизотермическую выдержку в интервале температур образования мелкодисперсной структуры путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык с поддержанием данной температуры до конца превращения. Использование квазиизотермической выдержки при температуре 600 – 650 °С позволяет получить мелкодисперсную структуру сварного шва железнодорожных рельсов без дополнительной термообработки.

Проблема образования локальных закаленных участков в процессе изготовления бесстыкового пути при сварке рельсов решается использованием обязательной локальной термической обработкой сварного стыка, в резуль-

тате которой исключается образование закалочных структур [7]. Однако, при этом возможно появление новых зон термического влияния с пониженной твердостью по сравнению с зонами при сварке рельсов электроконтактным способом без термической обработки. При эксплуатации сваренные таким образом рельсы характеризуются повышенным износом поверхности катания на данных участках и смятием головки на месте сварного стыка, что и является основной причиной изъятия рельсов из пути ранее гарантированного срока.

Использование локальной термической обработки сварного стыка рельсов, сваренных электроконтактным способом, исключает образование участков, содержащих закалочные структуры. Причем локальная термическая обработка приводит к увеличению ЗТВ.

Для получения минимальной протяженности участка с пониженной твердостью возможно проведение сварки рельсов на жестких режимах электроконтактным способом пульсирующим методом оплавления, а для исключения образования дефектов в виде закалочных структур возможно управление охлаждением сварного соединения с помощью контактного нагрева. Источником питания для контактного нагрева предлагается использовать трансформатор рельсосварочной машины, на которой непосредственно производится сварка [8-10].

Библиографический список

1. Позняков В.Д. Свойства сварных соединений рельсовой стали при электродуговой сварке / В.Д. Позняков, В.М. Кирьяков, А.А. Гайворонский, А.В. Клапатюк, О.С. Шишикевич // Автоматическая сварка. – 2010. – № 8 (688). – С. 19 – 24.

2. Рукавчук Ю.П. Дефектность стыков алюминотермитной сварки рельсов/ Ю.П. Рукавчук, С.А. Рождественский, И.З. Этинген // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 26 – 27.

3. Гудков А.В. Новые технологические и технические решения в области сварки на железнодорожном транспорте / А.В. Гудков, В.Н. Лозинский // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 6. – С. 3 – 9.

4. Калашников Е.А. Технологии сварки рельсов: тенденции в России и за рубежом / Е.А. Калашников, Ю.А. Королёв // Путь и путевое хозяйство. – 2015, №8. с 2-6.

5. Полевой Е.В. Разработка технологии производства дифференцированно термоупрочненных рельсов на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» / Е.В. Полевой, К.В. Волков, Е.П. Кузнецов, А.В. Головатенко, О.П. Атконова, А.М. Юннусов // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: сб. науч. докл. / ОАО «УИМ». – Екатеринбург, 2014. – С. 93 – 101.

6. Шевченко Р.А. Совершенствование технологии сварки рельсовой стали с повышенным содержанием хрома [Текст]/ Р.А. Шевченко// Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской науч-

ной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып.20– ч.III – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – С. 259-261.

7. Методика исследования влияния режимов изотермического отжига при сварке рельсовой стали // Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А., Куценко А.А // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – № 4 (26) – С. 8 – 11.

8. Исследование структуры сварного соединения рельсовой стали марки 76ХФ при различных параметрах изотермической выдержки / К.А. Бутакова, А.Н. Гостевская, Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов.-2018 - Вып. 41 -С. 221-224.

9. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н, Бащенко Л.П./ Разработка и моделирование технологического процесса сварки дифференцированно железнодорожных рельсов. Моделирование процессов, протекающих при сварке и локальной термической обработке// Известия вузов. Черная металлургия. – 2020. – т. 63. – № 2. – С. 93-101.

10. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Бащенко Л.П./ Разработка и моделирование технологического процесса сварки дифференцированно термоупрочненных железнодорожных рельсов. Промышленное опробование // Известия вузов. Черная металлургия. – 2020. – т. 63. – № 5. – С. 305-312.

УДК 621.7+621.9

ОЦЕНКА ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ 50

Ознобихина Н.В., Соколов Б.М., Фадеев В.С., Буркова А.А., Сычев А.А.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,
канд. техн. наук, доцент Дмитриенко В.И.**

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

Литые изделия из чугуна, применяемые в химико-металлургическом производстве, подвергаются газовой коррозии под воздействием агрессивных компонентов среды, разрушаются и выходят из строя. Одним из основных направлений повышения коррозионной стойкости чугуна является получение чугунных отливок с низким газонасыщением, на основе совершенствования технологии плавки и литья [1-4].

Ключевые слова: литье, чугун, дефекты, газы, проба.

Газовые примеси, содержание [N], [H], [O], оказывают заметное влияние на свойства чугуна. В зависимости от состояния азот может различным образом влиять на величину эвтектического зерна в сером чугуне, размель-

чая или укрупняя его. На графит же серого чугуна азот действует так, что устраняет или сглаживает выделения междендритной ориентации и делает их более разобщенными. Задерживая графитизацию и в эвтектоидном интервале, азот способствует также уменьшению количества феррита в структуре и стабилизации перлита.

Не меньшее влияние на структуру чугуна оказывает водород. Несмотря на весьма низкое содержание этого элемента в чугуне, он значительно тормозит графитизацию во всех температурных интервалах, особенно при низком содержании углерода и кремния. Водород оказывает отрицательное влияние и на графитизацию в эвтектоидном интервале, что замедляет ферритизацию. В отношении же влияния водорода на форму и распределение графита в чугуне есть основания полагать, что он действует подобно сере.

Поэтому в зависимости от концентрации водорода и других примесей можно получить разные результаты как в отношении степени графитизации, так и в отношении формы и распределения графита. То же, по существу, можно сказать и о кислороде, влияние которого в сильной степени зависит от характера состояния его в чугуне. Подавляющая часть его образует соединения с Si, Mn, Al и другими элементами, которые в той или иной мере служат зародышами при кристаллизации графита, незначительная же часть находится в растворе и в некоторой степени (слабее, чем азот и водород) тормозит процесс графитизации или даже ведет себя нейтрально, если не производится продувка чугуна. Поэтому введение кислорода, как и других газов, оказывает различное влияние на графитизацию в зависимости от способа его введения и состава металла, но в общем оказывает слабое влияние. Особым и весьма важным вопросом является влияние газов на образование шаровидного графита в чугуне. Данный вопрос недостаточно изучен и требует и требует больших и специальных исследований.

Наиболее сильное влияние газообразующие примеси оказывают на формирование некоторых дефектов отливок. Растворение в жидком металле больших количеств азота и водорода является предпосылкой образования газовых дефектов в отливке. При охлаждении растворимость газов уменьшается, и они выделяются в металле. Механизм этого процесса не полностью противоположен механизму растворения газов, так как обратная диффузия атомов водорода и азота из внутренних частей отливки к периферии затруднена. Скорость охлаждения расплавленного металла до его затвердевания значительно больше скорости нагрева металла до расплавления. При таких условиях обратная диффузия газов протекает медленнее, чем скорость образования твердой корки в отливке, и газ остается в металле. С другой стороны, в результате быстрого охлаждения наружных частей отливки растворимость газов в них быстро падает. Поэтому диффузия газов происходит от внешних слоев отливки к внутренним и в конце кристаллизации сплава газы выделяются в молекулярной форме в виде самостоятельных газовых включений или заполняют усадочные раковины, образовавшиеся из-за недоста-

точного питания отливки. В твердом сплаве газ в молекулярном виде не растворяется из-за больших размеров молекул, не уместяющихся в порах кристаллической решетки.

Газы, выделившиеся в жидком металле до его затвердевания (малая вязкость), не образуют раковин в отливке. Газы, выделившиеся в период кристаллизации металла, вязкость которого сильно возросла, как правило, остаются в отливке. Почти полностью выделяются газы из эвтектических сплавов, отверждаемых при постоянной температуре без образования первичной фазы. Газовые раковины часто возникают в отливках из сплавов с большим интервалом кристаллизации и низкой степенью эвтектичности (ковкий и модифицированный чугуны).

Размер, форма и число газовых раковин, образующихся в жидком металле, в большой степени зависят от их коэффициента диффузии. Величина этого коэффициента для некоторых примесей литейного чугуна приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент диффузии для примесей чугуна

Элементы	H ₂	C	N ₂	Si	S	O ₂
Коэффициент диффузии D, 10 ⁻⁵ см ² /24 ч	14900	7900	3400	100	8,5	6,5

Высокий коэффициент диффузии водородных атомов определяется их очень малыми размерами. Водород образует много мелких сферических раковин. Раковины от выделившегося азота имеют вид трещин завихренной формы длиной 5–6 мм и шириной 1–2 мм. Часто эти раковины называют дефектом – запятой.

Специфичная форма связана с малым коэффициентом диффузии атомов азота, в результате чего фронт кристаллизующегося сплава «настигает» диффундирующие газы и сдавливает их.

Находящийся в расплаве кислород (в виде FeO) выделяется при восстановлении оксида углеродом металла.

Экзотермический характер реакции определяет ее направление вправо при понижении температуры расплавленного металла.

Оксид углерода практически не растворяется в металле и образует в нем полости, в которые диффундирует часть растворенных газов – водорода и азота. Содержание газов в металле зависит от технологии плавания и плавильных печей.

Методика пробоотбора. Наибольшую сложность вызывает отбор проб на водород. Большая диффузионная подвижность водорода как в жидком так и твердом металле заставляет прибегать к особым предосторожностям при отборе проб. Наиболее распространенный метод отбора проб жидкого металла – метод закалки – заключается в заливки жидкого металла в стальную или медную изложницу. Затем закалочную изложницу погружают в ёмкость с холодной водой. Получаемая проба имеет в нижней части отро-

сток диаметром 8 – 10 мм и длиной 5-8 см., это, так называемая, карандашная проба (рисунок 1).

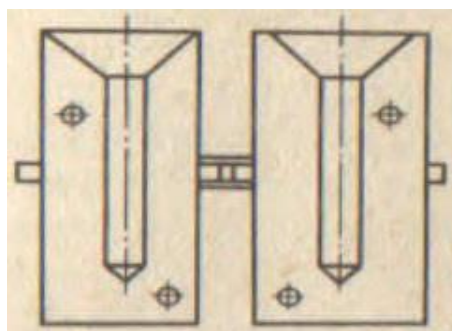


Рисунок 1 – Чертеж пробоотборника на водород

Анализ металла на содержание водорода проводится в два этапа:

- 1 – определение диффузионно-подвижного водорода;
- 2 – определение остаточного водорода.

На первом этапе сразу после закалки проба помещается в стеклянную ёмкость с капилляром (эвдиометр), позволяющий улавливать и измерять с требуемой точностью количество выделившегося водорода. Эвдиометр заливается спиртом, который не растворяет и не выделяет газы и не взаимодействует с металлом. Выдержка образца в эвдиометре составляет 5-7 суток. После чего выделение диффузионно-подвижного водорода практически прекращается. Проба вынимается из эвдиометра, взвешивается, замеряется объём выделившегося водорода и рассчитывается его концентрация.

На втором этапе в спокойной обстановке проба без нагрева обрабатывается с поверхности для удаления оксидных плёнок и включений обычно на наждачном станке. После этого она готова для определения остаточного водорода. Остаточный водород определяется на специальной установке по методу высокотемпературного нагрева в токе инертного газа. Температура процесса 650 – 700 °С.

Образцы для анализа на азот и кислород весом 0,5:-1 г вырезаются из водородных проб. Определение азота и водорода проводится методом вакуумплавления на установке фирмы "Балцерс" (США).

Для оценки уровня содержания газов в условиях литейного участка были отобраны пробы металла (чугун ВЧ 50) для определения содержания газовых примесей водорода, азота и кислорода.

Статистические характеристики содержания водорода и азота (до модифицирования сплава):

Содержание [H], (см³/100 г) = $4,28 \pm 1,173$ ($3,1065 \div 5,4534$)

Содержание [N], (см³/100 г) = $3,728 \pm 2,612$ ($1,1157 \div 6,3403$)

Статистические характеристики содержания водорода и азота (после модифицирования сплава):

Содержание [H], (см³/100 г) = $5,0 \pm 1,0$ ($4,0 \div 6,0$)

Содержание [N], (см³/100 г) = $8,427 \pm 0,739$ ($7,688 \div 9,166$)

Расчетное содержание [O], ($\text{см}^3/100 \text{ г}$) в чугуна до модифицирования равно 1,4, после модифицирования – 0,7 [5-8].

Общее содержание газов [H], [N], [O] до модифицирования составляет 9,4 $\text{см}^3/100 \text{ г}$, после модифицирования – 14,1 $\text{см}^3/100 \text{ г}$.

Анализ данных полученных при определении содержания водорода и азота в пробах металла, отобранного по ходу плавки и после модифицирования высокопрочного чугуна ВЧ 50 показал, что наблюдается заметный рост общей газонасыщенности металла по водороду и азоту по ходу процесса выплавки и заливки.

Известно [5-8], что содержание водорода в жидких и твердых чугунах колеблется в пределах 0,7-: -30 $\text{см}^3/100\text{г}$, предел растворимости водорода в железе при температурах кристаллизации в жидком состоянии равен 22 $\text{см}^3/100\text{г}$, а в твердом состоянии до 10 $\text{см}^3/100\text{г}$. При содержании водорода более 10-: -12 $\text{см}^3/100\text{г}$ возможно возникновение в отливках газовой пористости и пузырей. Наличие в чугуна Mg приводит к снижению содержанию водорода, но стимулирует возникновение газовой пористости в отливках.

Уровень водорода 4-: -6 $\text{см}^3/100\text{г}$ в чугуна после модифицирования, заливаемого в формы, является приемлемым, но довольно рискованным, с точки зрения образования газовых дефектов в отливках из чугуна модифицированного Mg, и требует корректирующих поправок (снижение продолжительности периодов плавки и разливки пр.) в технологию выплавки чугуна с целью его снижения.

Библиографический список

1. Анализ технологических факторов определяющих качество (стойкость) секции прямой газосборного колокола электролизера/ Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Михно А.Р., Белов Д.Е., Зеневич А.В., Князев С.В., Усольцев А.А.// 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, 2020. - Вып. 24. - Ч. I. Естественные и технические науки. - 480 с., ил.-164 , таб.- 88.

2. Антипенко В.И., Князев С.В. Диагностика процесса изготовления стальных отливок с использованием технологических проб / Литейное производство, 1987, № 7. С.15-16.

3. Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Куценко А.И. Программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы неразрушающего контроля дефектности отливок / Известия Высших Учебных Заведений. Черная Металлургия. 2019;62(2). С.134-140.

4. Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством / Литейное производство, 1992, № 4. С.26-27.

5. Справочник по чугунному литью. /Под ред. Н.Г.Гиршовича – Л.:

Машиностроение, 1978, 758 с.

6. Чугун. Справочное издание. /Под редакцией Шермана А.Д. и Жукова А.А. Москва, Metallurgy, 1991, 576 с.

7. Гарбер, М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация / М.Е. Гарбер. – Москва : Машиностроение, 2010. – 280 с.

8. Высокопрочные и специальные чугуны. / Шапранов И.А., Срыбник А.Д., М.: Машиностроение – 1983, 43 с.

УДК 669.131.6:669.046.516.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА И ШЛАКА В ПРОЦЕССЕ ПЛАВКИ ЧУГУНА В ШАХТНОЙ ПЕЧИ В РЕЗУЛЬТАТЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВЫМ КАРБОНАТОМ БСК-2

Модзелевская О.Г.

**Научные руководители: д-р техн. наук, доцент Осколкова Т.Н.,
канд. техн. наук, доцент Куценко А.И.**

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

Выполнено исследование химического состава металла и шлака в процессе плавки чугуна из низкосортной шихты в шахтной печи в результате модифицирования барий-стронциевым карбонатом БСК-2. Применение БСК-2 в качестве модификатора чугуна благоприятно воздействует на химический состав наводимого в барабанном ковше шлакового режима, повышает основность шлака.

Ключевые слова: модифицирование, чугун, барий-стронциевый карбонат (БСК-2), химический состав, шлак.

Модифицирование как способ получения высококачественного чугуна активно применяется с 40-х годов XX века на чугуно-литейных предприятиях. Использование ферросилиция, силикоалюминия, силикокальция в качестве присадок к жидкому чугуну повышает механические свойства, однородность металла, его обрабатываемость. В последнее время в качестве модификатора чугуна активно применяется природный барий-стронциевый карбонат (БСК-2), который успешно апробируется на многих заводах в литейных цехах [1], [2]. БСК-2 содержит барий и стронций - активные элементы, которые способны образовывать более устойчивые соединения с серой и фосфором, чем классические шлакообразующие, применяемые в металлургии, выводя их из металла в шлак, и также обладающими достаточно большим сродством к кислороду [3].

На предприятии АО «Завод универсал» (г. Новокузнецк) освоение БСК-2 в качестве модификатора чугуна ведут с начала 2011 г. [4].

В данной работе выполнено исследование изменения химического состава металла и шлака в процессе плавки чугуна из низкосорной шихты в шахтной печи в результате модифицирования БСК-2.

В литейном цехе АО «Завод универсал» для производства купальных ванн на предприятии установлена автоматическая линия вакуумной формовки (АФЛ). Чугун выплавляется в двух печах с диаметром плавильного пояса \varnothing 1300 мм, диаметром горна и шахты \varnothing 1000 мм. Печи работают поочередно в течение 5 суток. В рамках проведенного эксперимента БСК-2 подавали в полиэтиленовых мешках в соотношении 4 кг на 1 т жидкого металла на дно барабанного 1-т ковша. Средняя температура жидкого чугуна в барабанном ковше после слива из печи составила 1331 $^{\circ}$ C, в индукционном миксере – 1420 $^{\circ}$ C, после модифицирования чугуна БСК-2 в ковше – 1384 $^{\circ}$ C, перед заливкой чугуна в литейную форму – 1331 $^{\circ}$ C.

Химический состав чугуна и его температура представлены в таблице 1.

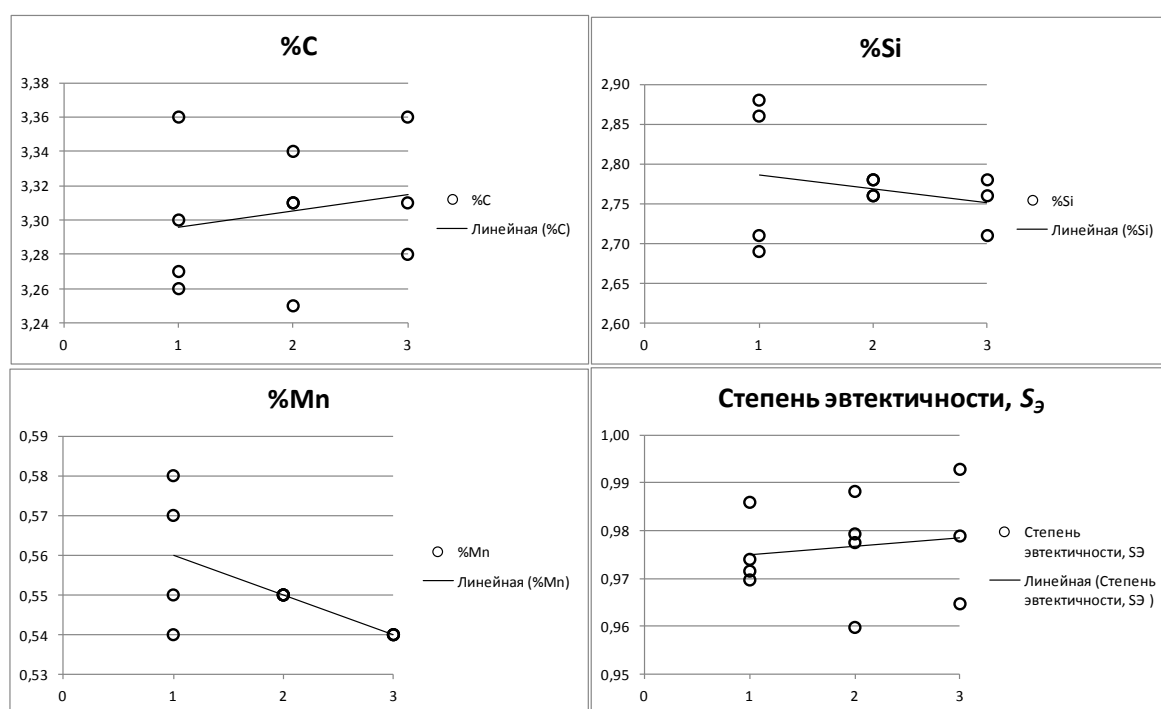
Таблица 1 – Химический состав и температура чугуна

Время отбора пробы, ч: мин (№ пробы)	Температура чугуна, $^{\circ}$ C	Массовая доля основных компонентов, % масс.						Степень эвтектичности, S_{Σ}
		%C	%Si	%Mn	%Cr	%P	%S	
чугун из печи								
13:06 (0.1.В)	1332	3,30	2,71	0,54	0,14	0,20	0,06	0,97
13:16 (0.2.В)	1318	3,36	2,69	0,55	0,13	0,19	0,06	0,99
13:21 (0.3.В)	1335	3,27	2,88	0,58	0,13	0,19	0,05	0,97
13:37 (0.4.В)	1338	3,26	2,86	0,57	0,15	0,18	0,06	0,97
<i>минимальное</i>	1318	3,26	2,69	0,54	0,13	0,18	0,05	0,97
<i>максимальное</i>	1338	3,36	2,88	0,58	0,15	0,20	0,06	0,99
<i>среднее</i>	1331	3,30	2,79	0,56	0,14	0,19	0,06	0,98
чугун, модифицированный БСК-2								
13:47 (0.1.М)	1381	3,34	2,78	0,55	0,14	0,19	0,06	0,99
13:58 (0.2.М)	1386	3,31	2,78	0,55	0,14	0,19	0,06	0,98
14:12 (0.3.М)	1384	3,31	2,76	0,55	0,14	0,19	0,06	0,98
14:22 (0.4.М)	1383	3,25	2,76	0,55	0,14	0,19	0,06	0,96
<i>минимальное</i>	1381	3,25	2,76	0,55	0,14	0,19	0,06	0,96
<i>максимальное</i>	1386	3,34	2,78	0,55	0,14	0,19	0,06	0,99
<i>среднее</i>	1384	3,30	2,77	0,55	0,14	0,19	0,06	0,98
чугун перед заливкой в форму								
14:35 (0.1.З)	1333	3,31	2,78	0,54	0,14	0,18	0,06	0,98
14:47 (0.2.З)	1327	3,28	2,71	0,54	0,14	0,19	0,06	0,96
14:55 (0.3.З)	1332	3,36	2,76	0,54	0,14	0,19	0,06	0,99
<i>минимальное</i>	1327	3,28	2,71	0,54	0,14	0,18	0,06	0,96
<i>максимальное</i>	1333	3,36	2,78	0,54	0,14	0,19	0,06	0,99
<i>среднее</i>	1331	3,32	2,75	0,54	0,14	0,19	0,06	0,98

Содержание таких химических элементов, как хром, фосфор и сера в процессе технологического передела практически не меняется и составляет соответственно: Cr – 0,14 %; P – 0,19 %; S – 0,06 %. Содержание остальных элементов в процессе технологического передела меняется незначительно.

Графическая интерпретация полученных экспериментальных данных представлена на рисунке 1.

Полученные экспериментальные данные по изменению химического состава чугуна с момента выпуска чугуна из печи в барабанный ковш и заливки расплава в заливочное устройство позволяют сделать вывод о том, что данный технологический передел способствует уменьшению содержания кремния в чугуне на 0,05÷0,15 %, марганца на 0,02-0,08 %, содержание остальных химических элементов меняется незначительно и лежит в пределах ошибки эксперимента.



(1 – чугун из печи; 2 – чугун, модифицированный БСК-2;
3 – чугун перед заливкой в литейную форму)

Рисунок 1 – Изменение химического состава и степени эвтектичности чугуна в процессе технологического передела

Химический анализ шлака осуществлялся аналитическими методами. Химический состав образцов шлака представлен в таблице 2.

Под воздействием БСК-2 повышается модуль основности шлака с 0,16 до 0,63. Низкая основность ковшевых шлаков часто является причиной того, что их сульфидная емкость не позволяет абсорбировать все количество поступающей в шлак серы. При этом выпуск плавки, нагрев в индукционном миксере и транспортирование ковшей в литейном цехе может сопровождаться ресульфурацией металла.

Таблица 2 – Химический состав шлаков

Номер пробы		Массовая доля элементов, %								
Заказчика	Лаборатории	BaO	SrO	MnO	FeO	Щелочи	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
0.1.В	1846	–	–	15,98	41,2	0,5	37,06	2,81	1,46	0,75
0.2.В	1856	–	–	15,69	43,03	0,5	34,83	3,74	1,90	0,22
0.3.В	1866	–	–	15,88	37,46	0,0	39,88	4,36	1,97	0,49
0.4.В	1876	–	–	3,50*	12,60*	0,0	38,43	16,05*	31,72	1,08
среднее		–	–	15,85	40,56	0,25	37,55	3,64	9,26	0,64
0.1.М	1886	15,24	4,06	2,19	10,67	4,08	39,25	4,95	17,40	1,94
0.2.М	1896	9,63	2,67	3,87	16,72	3,00	45,70	5,84	12,57	2,16
0.3.М	1906	13,15	3,61	2,84	12,24	3,64	42,62	5,18	15,35	2,26
0.4.М	1916	12,94	3,05	2,80	9,92	3,52	46,29	5,87	15,79	1,62
средние		12,74	3,35	2,93	12,39	3,56	43,47	5,46	15,28	2,00
рост/снижение				-12,93	-28,18	+3,31	+5,91	+1,82	+13,50	+1,36
относительное измене-		–	–	-	-	93,0%	13,6%	33,4%	88,4%	68,2%

* – исключено при расчете средних значений

Модуль основности шлака ($\approx 0,36$) показывает, что ваграночный шлак – кислый и поэтому неспособен очистить металл ни от серы, ни от фосфора. Лишь незначительное количество серы растворяется в шлаке, и тем больше, чем шлак жиже.

Наблюдается увеличение оксидов активных металлов, таких как MgO (увеличение абсолютное на 1,36 %, относительное – на 68,2 %), CaO (увеличение абсолютное на 13,50 %, относительное – на 88,4 %), Al₂O₃ (увеличение абсолютное на 1,82 %, относительное – на 33,4 %).

Содержание в шлаке оксидов металлов MnO и FeO после выдержки в индукционном миксере с последующей обработкой БСК-2 резко снижается (MnO на 13 % и FeO на 28 %), содержание щелочей в шлаке возрастает на 3,3 %.

Шлак с более высоким содержанием MgO обладает лучшей способностью поглощать серу из металла, чем шлаки с его более низким содержанием.

Повышение содержания CaO в шлаке также благотворно влияет на качество чугуна, способствует удалению серы из металла. Повышение активности CaO и понижение активности закиси железа в шлаке считается положительным эффектом.

Повышение содержания Al₂O₃ в шлаке преобразует кристаллическую структуру шлака в стекловидную, обладающую высокой теплопроводностью. В нашем случае резкого роста содержания Al₂O₃ в шлаке не наблюдается.

Из полученных данных следует, что применение БСК-2 в качестве модификатора чугуна благоприятно воздействует на химический состав наводимого в барабанном ковше шлакового режима, повышает основность шлака. Из-за различия на предприятиях технологических условий плавки и модифицирования чугуна с помощью БСК-2, следует рекомендовать подбор

оптимального количества модификатора опытным путем, а оптимизацию процесса модифицирования проводить в интервале 3-6 кг на тонну металла.

Анализ применения БСК-2 в качестве модификатора чугуна, выплавленного из низкосортной шихты в шахтной печи, показал его эффективность.

Библиографический список

1. Панов, А.Г. Практика обработки карбонатами ЩЗМ расплавов дуговой плавки при изготовлении отливок из высокопрочного чугуна / А.Г. Панов, Д.А. Гуртовой // Литейщик России. - 2012. - № 8. с. 25-27.

2. Мухаев, О.Н. Применение современных материалов в чугунолитейном производстве МТП ОАО «Автоваз» / О.Н. Мухаев, А.Г. Панов // Литейщик России. - 2013. - № 10. с. 23-25.

3. Рябчиков И.В. Кремнистые ферросплавы и модификаторы нового поколения. Производство и применение / И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, В.В. Андреев. – Челябинск: Изд-во ЧГУ, - 2013. – 295 с.

4. Модзелевская О.Г. Литье ванн из чугуна, модифицированного Ва-Sr-карбонатом / О.Г. Модзелевская, Э.А. Киселев, А.В. Феоктистов, Б.А. Машкин, И.Ф. Селянин И.Ф., А.А. Куценко // Литейное производство. - 2015. - № 6, с. 6-8.

УДК 669.131.6.017

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЧУГУНА, ПОЛУЧЕННОГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАВОК В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ РАСПЛАВА БАРИЙ-СТРОНЦИЕВЫМ КАРБОНАТОМ

Модзелевская О.Г.

**Научные руководители: д-р техн. наук, доцент Осколкова Т.Н.,
канд. техн. наук, доцент Куценко А.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, ol.berg@mail.ru*

Изучена структура чугуна, полученного в результате экспериментальных плавок в индукционной печи с последующим модифицированием расплава барий-стронциевым карбонатом. В результате модифицирования чугуна БСК-2 наблюдается измельчение зерна металлической матрицы и изменение соотношения феррит-перлит. Происходит также измельчение графитовых включений.

Ключевые слова: модифицирование, чугун, барий-стронциевый карбонат (БСК-2), структура, зерно, феррит, перлит, графитовые включения.

Модифицирование является эффективным способом оказания влияния на формирование структуры чугуна и качественные характеристики получаемой продукции. Несмотря на достаточно большой накопленный опыт применения таких модификаторов для серого чугуна, как ферросилиций, силикокальций, силикобарий и других, интерес представляют модификаторы, появившиеся сравнительно недавно. Природный модификатор железистых сплавов барий-стронциевый карбонат БСК-2 содержит барий и стронций - активные элементы, которые по раскисляющему и модифицирующему воздействию на стали и чугуны превосходят традиционно применяемые силикокальций и ферросилиций [1].

В работе проведено исследование структуры серого чугуна, полученного в результате экспериментальных плавки в индукционной печи с последующим модифицированием расплава барий-стронциевым карбонатом.

Эксперименты проводили в печи плавильной индукционной (ППИ) вместимостью 0,06 т. Шихту массой 50 кг, состоящую из чугуна ЛК (40 %), передела литейного (10 %), лома чугуна (50%) загружали в индукционную печь. После расплавления шихты температуру доводили до 1500⁰С. Температуру фиксировали вольфрам-рениевой термопарой, подсоединенной к измерительному комплексу.

Провели две плавки с тремя вариантами ковшевой обработки расплава: 1 - без добавления модификатора; 2 - с добавлением модификатора БСК-2 фракции от пылевидного до 10 мм, поставляемого заводом-изготовителем; 3 - с добавлением модификатора БСК-2, измельченного до размера фракции от пылевидного до 10 мм непосредственно перед экспериментом.

При каждом варианте расходовалось 15 кг жидкого металла. Обе плавки проводили в одинаковых условиях с разным способом ввода модификатора. При первой плавке ввод модификатора осуществлялся в подогретый ковш под зеркало металла, при второй плавке – на дно ковша. Температура выпуска металла в ковш в обоих вариантах составляла 1450±10⁰С. БСК-2 добавляли из расчета 0,3 кг на 50 кг жидкого металла - по 0,1 кг на ковш.

Исследование структуры чугуна проводили на подготовленных шлифах образцов с помощью микроскопа OLYMPUS CU GX51F.

В микроструктуре чугуна исследовали металлическую основу и графитные включения. Данные исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Анализ микроструктуры чугуна

№ плавки	Образец	Обозначение	Структура по ГОСТ 3443-87		Величина графитовых пластин, мкм	
			Металлическая основа	Графит	min	max

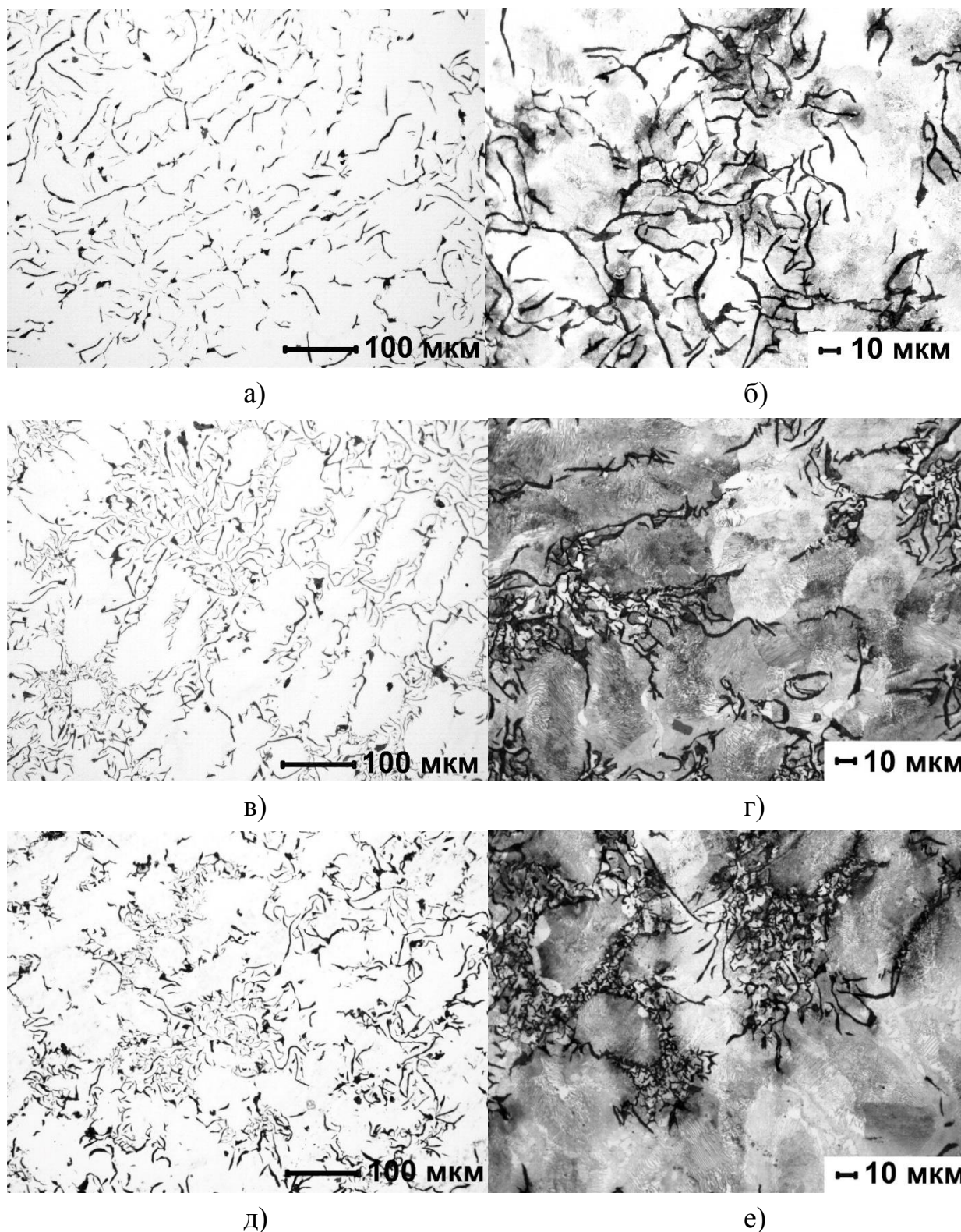
Продолжение таблицы 1

№ плавки	Образец	Обозначение	Структура по ГОСТ 3443-87		Величина графитовых пластин, мкм	
			Металлическая основа	Графит		
	Модифицированный БСК-2, поставляемым заводом-изготовителем	1-2	Пт1–П45–Ф55–ПД1,0	ПГф2–ПГр4–ПГд90–ПГ10	2,5–3,5	80-90
	Модифицированный БСК-2, измельченным перед экспериментом	1-3	Пт1–П45–Ф55–ПД1,0	ПГф2–ПГр6–ПГр9–ПГд45–ПГ10	1,8–2,0	55-65
2	Исходный, без добавления БСК-2	2-1	Пт1–П92–Ф4–ПД1,4	ПГф2–ПГр3–ПГд25–ПГд90–ПГ6	10–14	110–120
	Модифицированный БСК-2, поставляемым заводом-изготовителем	2-2	Пт1–П92–Ф8–ПД1	ПГф2–ПГр8–ПГр9–ПГд45–ПГ12	3-4	50-60
	Модифицированный БСК-2, измельченным перед экспериментом	2-3	Пт1–П85–Ф15–ПД1	ПГф2–ПГр4–ПГд15–ПГд45–ПГ12	1,5–2,0	45-55

Фотографии структуры образцов, полученных в результате 1-й плавки приведены на рисунке 1.

Анализ микроструктуры трех образцов чугуна первой плавки показал, что в результате модифицирования наблюдается измельчение зерна металлической матрицы и изменение соотношения феррит-перлит. Происходит также измельчение графитовых включений, форма графита становится вермикулярной. Большее уменьшение зерна и графитовых включений наблюдается при использовании модификатора БСК-2, измельченного перед экспериментом [2]. Аналогичные результаты получены при исследовании структуры чугуна второй плавки.

Под действием модификатора БСК-2 в чугунах уменьшился температурный интервал между нижней температурой интервала эвтектического превращения (точка, в которой потери тепла в пробе компенсируются теплом, выделяющимся при росте дендритов) и температурой солидус чугуна, что свидетельствует о снижении риска образования междендритного распределения графита, карбидов и усадочных дефектов в теле чугунной отливке. Эти факты подтверждается и результатами металлографических исследований структуры образцов.



а, в, д - нетравлено, $\times 100$: а) исходный, без добавления БСК-2; в) модифицированный БСК-2, поставляемого заводом-изготовителем; д) модифицированный БСК-2, измельченным перед экспериментом; б, г, е – травлено (5% HNO_3 в спирте), $\times 500$: б) исходный, без добавления БСК-2; г) модифицированный БСК-2, поставляемого заводом-изготовителем; е) модифицированный БСК-2, измельченным перед экспериментом.

Рисунок 1 – Структура чугуна, полученного в результате 1-й плавки

В результате модифицирования чугуна индукционной плавки БСК-2 наблюдается измельчение зерна металлической матрицы и изменение соотношения феррит-перлит. Происходит также измельчение графитовых включений, форма графита становится более вермикулярной.

Анализ показал эффективность БСК-2 в получении мелкозернистой структуры. При этом значимым фактором является состояние модификатора. Дробленный непосредственно перед экспериментом БСК-2 способен оказать большее влияние на расплав, чем БСК-2 той же фракции, поставляемый заводом-изготовителем.

Библиографический список

1. Рябчиков И.В. Кремнистые ферросплавы и модификаторы нового поколения. Производство и применение / И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, В.В. Андреев. – Челябинск: Изд-во ЧГУ, - 2013. – 295 с.

2. Модзелевская О.Г. Анализ результатов экспериментальных плавов серого чугуна в индукционной печи с последующим модифицированием расплава барий-стронциевым карбонатом / О.Г. Модзелевская, А.В. Феоктистов, И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, А.А. Куценко // Прогрессивные литейные технологии: труды VIII Международной научно-практической конференции / НИТУ МИСиС; под ред. проф. В.Д. Белова, проф. Н.А. Белова. – М.: Лаборатория рекламы и печати, 2015. – С. 268-271.

УДК 621.787: 621. 9. 048

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ МАРКИ 40Х СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Кашин С.С., Шевченко Р.А.

Научные руководители: д-р техн. наук, доцент Осколкова Т.Н.,

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail:s.kashin@inbox.ru*

В данной статье рассмотрено влияние электромеханической обработки на структуру и твердость поверхностных слоев стали марки 40Х. Установлено, что формируется упрочненный поверхностный слой толщиной 640 мкм, состоящий из двух зон: поверхностная зона, состоит из мартенсита, вторая переходная зона в своей структуре содержит мартенсит и феррит. Упрочненный поверхностный слой плавно переходит в исходную феррито-перлитную структуру.

Ключевые слова: сталь, поверхностное упрочнение, электромеханическая обработка, твердость, микроструктура.

Современные требования, предъявляемые к деталям машин из улуч-

шаемых сталей, таковы, что традиционными упрочняющими методами термической обработки не всегда можно получать необходимые свойства поверхностных слоев деталей в процессе обработки. Особое внимание уделяется технологиям, которые позволяют уменьшать энергозатраты, трудоемкость и стоимость изготовления изделий. Одним из эффективных методов поверхностного упрочнения деталей машин является электромеханическая обработка (ЭМО), основанная на совместном электротермическом и деформационном воздействии [1, 2]. В настоящее время разработано большое количество разновидностей электромеханической обработки (ЭМО), представляющих собой комбинацию различных высокоэнергетических воздействий на поверхность обрабатываемой детали [3 – 5].

В рамках данной работы производилась поверхностная электромеханическая обработка стали марки 40Х, химический состав которой соответствует ГОСТ 4543-2016. Данная сталь широко используется в современном машиностроении при производстве деталей, работающих в триботехнических условиях.

Для обработки применялись образцы в нормализованном состоянии размером 10 x 10 x 20 мм.

ЭМО выполнялась на сварочной рельефной машине МР 2517.

Режим обработки следующий: сила тока 39 кА; длительность импульса 0,02 с; усилие сжатия электродов 100 МПа.

Сущность способа ЭМО состоит в воздействии на элементарные объемы поверхностного слоя электрического тока (большой силы тока и незначительного напряжения) и поверхностной пластической деформации, в результате чего выделяется значительное количество джоулева тепла и тепла от деформации и трения с интенсивным нагревом поверхности до температур в 1000–1300 °С [1, 6 – 7].

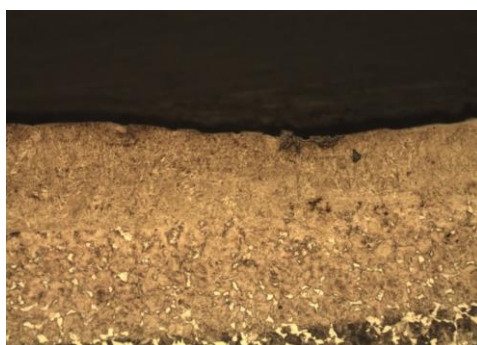
Впоследствии происходит высокоскоростное охлаждение поверхности отводом тепла в основную массу металла детали. При таком высокоэнергетическом и высокоскоростном воздействии на малые объемы металла поверхности детали происходят структурные и фазовые превращения с образованием высокопрочных структур на основе мелкодисперсного мартенсита, в верхних зонах поверхностного слоя с особыми свойствами и, прежде всего, высокими физико-механическими и триботехническими свойствами [8–10].

Экспериментальные исследования проводились с использованием оптической металлографии (микроскопы OLIMPUS – GX 50), метода оценки микротвёрдости (прибор HVS-1000) по ГОСТ 2999-75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу», метода оценки величины зерна в соответствии с ГОСТ 5639-82 «Методы выявления и определения величины зерна».

Металлографические исследования выявили формирование на поверхности стали слой, состоящий из двух зон, общей толщиной 640 мкм с измененной микроструктурой по сравнению с исходной (рисунок 1, а). Первая по-

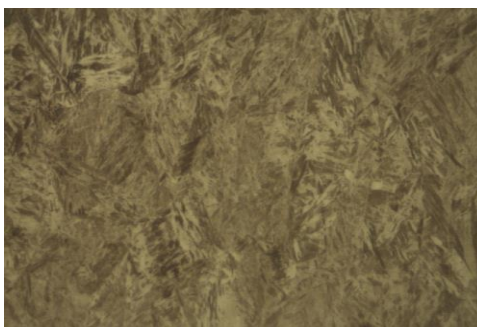
верхностная зона толщиной $340 \div 350$ мкм (рисунок 1, б) и твердостью 598 HV, номером зерна 8 состоит из мартенсита. Вторая переходная зона толщиной $290 \div 300$ мкм (рисунок 1, в) состоит из мартенсита и феррита с твердостью 275 HV и номером зерна 7. Данная зона плавно переходит в исходную структуру феррита и перлита с твердостью 188 HV и номером зерна 6.

Вывод: способом электромеханической обработки получен упрочненный поверхностный слой на стали марки 40X, состоящий из двух зон: поверхностная зона состоит из мартенсита с твердостью 598 HV, вторая переходная зона в своей структуре содержит мартенсит и феррит с твердостью 275 HV. Упрочненный поверхностный слой плавно переходит в исходную феррито-перлитную структуру с твердостью 188 HV.



а

X 200



б

X 1000



в

X 500

Рисунок 1 – Микроструктура стали марки 40X после электромеханической обработки

Библиографический список

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
2. Матлин М. М., Дудкина Н. Г., Дудкин А. Д. Особенности формирования упрочненного слоя при электромеханической обработке с динамическим силовым воздействием // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 6 (30). – С. 38–41.
3. Косоголов В.А., Багмутов В.П., Захаров И.Н., Денисевич Д.С., Косоголова П.В. Комбинированное поверхностное упрочнение стальных сплавов на основе электромеханической и ультразвуковой обработок // Известия ВолгГТУ. – 2014. – №1(128). –Т.7. – С. 10-14.
4. Эдигаров, В.Р., Килунин И.Ю., Дегтярь В.В. Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – №3. – С. 32-36.
5. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.
6. Белый А. В., Карпенко Г. Д., Мышкин Н. К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
7. Эдигаров В. Р., Малый В. В. Повышение износостойкости деталей ходовой части многоцелевых гусеничных машин комбинированными методами электромеханической обработки // Вестник СибАДИ. – 2014. – № 4 (38). – С. 57–64.
8. Багмутов В. П., Паршев С. Н., Дурхина Н. Г. [и др.]. Электромеханическая обработка. Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.
9. Суслов А. Г., Горленко А. О., Сухарев С. О. Электромеханическая обработка деталей машин // Справочник. Инженерный журнал. 1998. – № 1 (10). – С 15–18.
10. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Эдигаров В. Р. Повышение износостойкости трибосопряжения фрикционно-электрическим модифицированием поверхностей трения поверхностно-активными модификаторами // Омский научный вестник. – 2006. – № 2 (35). – С. 73–75.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЕМ

Махрина Е.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Кадыков В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: makhrin784@mail.ru*

Основными направлениями современной черной металлургии в мире продолжает оставаться повышение качества продукции и снижение ее себестоимости, за счет снижения энергозатрат без значительных на то капиталовложений, для чего на многих предприятиях ведутся работы по совершенствованию не только оборудования, но и технологического процесса для повышения конкурентоспособности. В статье показаны направление совершенствования процесса многоручьевой прокатки-разделением, отражены основные достоинства и недостатки этого метода.

Ключевые слова: слиттинг-процесс, неприводные делительные устройства.

Основным направлением совершенствования и интенсификации процесса сортовой прокатки является применение процесса многоручьевой прокатки-разделением – «слиттинг-процесс». Странами в которых он получил свое наибольшее распространение являются: Япония, КНР, Южная Корея, Канада, ОАЭ, Швеция, США.

В современной практике прокатного производства процесс прокатки-разделения получил особенно широкое развитие при производстве арматурного проката мелких сечений. Основная причина такого интенсивного развития этого процесса обусловлена его очевидными преимуществами, которые позволяют получить применение той или иной технологии прокатки с продольным разделением раската в потоке непрерывного стана. Это – существенное повышение производительности стана (в некоторых случаях более 40 %), экономия затрат электроэнергии, снижение удельного расхода валков [1].

В зависимости от того, какой инструмент используют для разделения, различают два подхода к реализации этого процесса: первый – деление валками приводной клетки, второй – разделение раската с помощью автономных делительных устройств с неприводными роликами. Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и недостатки. Так, при делении раската валками повышаются требования к точности настройки клетки и изготовления валков, однако появляется возможность реализации процесса разделения раската с толстой перемычкой на непрерывных станах. Применение неприводных делительных устройств позволяет при производстве профилей малых сечений осуществлять продольное разделение раската с высокой точностью и стабильностью в межклетьевых промежутках стана, то есть без использования

основного технологического оборудования стана – рабочих клетей.

В настоящий момент, на различных станах металлургических предприятий, занимающихся выпуском проката, разработаны и освоены технология двухручьевого прокатки–разделением арматурного проката периодического профиля от № 8 до № 14 с делением раската в разделительных калибрах приводных рабочих клетей [2]. В то же время, мировой опыт показывает, что применение неприводных делительных устройств позволяет осуществлять процесс прокатки–разделением мелких профилей в 3–5 ниток, и он позволяет прикладывая меньшие затраты, как в энергетическом так и в финансовом плане получать продукцию, с меньшей себестоимостью.

Технология прокатки-разделения в настоящее время получила особенно широкое развитие при производстве арматурного проката малых сечений. Основой для этого послужили результаты работ зарубежных и отечественных исследователей, в которых предложены различные варианты продольного разделения раската на несколько полос в непрерывном потоке. Такой процесс прокатки назвали процессом прокатки-разделения[3].

Используемые на сортовых и проволочных станах технологии, основанные на использовании процесса прокатки-разделения, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными технологиями:

- более эффективное использование мощности нагревательных печей;
- повышение начальной скорости входа заготовки в прокатный стан;
- сокращение времени охлаждения профилей на холодильнике вследствие уменьшения скорости на выходе из стана;
- уменьшение разницы температур заднего и переднего концов раската;
- возможность увеличения сечения исходной заготовки без увеличения числа прокатных клетей;
- улучшение контроля геометрии раската благодаря повышению требований по точности настройки рабочих клетей;
- увеличение срока службы рабочих валков;
- обеспечение роста часовой производительности стана (в некоторых случаях более чем на 40%) [4].

Технология прокатки-разделения применяется с целью повышения эффективности производства. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, использование этого процесса позволяет снизить удельный расход электроэнергии и прокатных валков, снизить объем капиталовложений при строительстве новых и техническом перевооружении действующих прокатных станов. В результате обеспечивается повышение рентабельности производства сортового проката.

Существует два подхода к реализации прокатки-разделения:

1) процесс разделения в калибрах - продольное разделение раската с заранее выполненной толстой перемычкой в двухручьевых разделительных калибрах, размещенных на валках приводных рабочих клетей стана;

2) слиттинг-процесс - продольное разделение раската с заранее выполненной тонкой перемычкой в автономном неприводном делительном устройстве

(НДУ) с неприводными делительными роликами, которое установлено на выходной стороне приводной рабочей клетки, где и осуществляется продольное разделение [5].

Основными достоинствами разделения раската автономным неприводным делительными устройствами в слиттинг-процессе относительно разделения в калибрах являются :

- высокая точность разделения;
- высокая стабильность процесса при производстве мелких профилеразмеров проката;
- высокое качество зоны разделения;
- эффективное использование установленной мощности прокатного стана;
- простота замены узла (НДУ) ,относительно перевалки клетки и по времени и по трудозатратам;
- качество кромки при резке НДУ выше ,чем при резке валками;
- не требуются повышенные качества от расточки валков;
- не происходит увеличения, количества прокатных клеток в чистовой группе, для производства профиля.

Применение компактных неприводных делительных устройств (привалковой арматуры), нельзя назвать идеальным во всех смыслах для слиттинг-процесса, он имеет как свои достоинства ,так и недостатки к которым можно отнести:

- сложность конструкции разделяющего устройства;
- низкую стойкость разделяющих клиновидных роликов;
- низкую продольную устойчивость раската;
- сложность регулировки вводной привалковой арматуры [6].

Выводы: Большое количество достоинств разделения раската автономным неприводным делительными устройствами в слиттинг-процессе относительно разделения в калибрах послужили тому, что именно этот способ применяется на следующих предприятиях: НЛМК-Калуга, ЕВРАЗ Каспийская Сталь(Кустанай), Магнитогорский металлургический комбинат и передалки в этом деле на пост советском пространстве Белорусский металлургический завод (Минск), ЕВРАЗ ЗСМК (Новокузнецк). Это наглядно говорит о том, что данный способ удовлетворяет поставленным целям для производителя, по повышению производительности труда и снижению, как энерго так временных затрат, что в свою очередь ведет к снижению себестоимости продукции.

Библиографический список

1. Клименко В.М., Ефименко С.П. Многоручьевая прокатка-разделение//М.:Металлургия.1987. – С.168
2. Маншилин А.Г., Солодов В.С. Эффективность технологии многоручьевой прокатки в зависимости от параметров оборудования //Сталь. – 2002.№8. –С.67–68
3. Шульгин Г.М., Маншилин А.Г., Жучков А.Ю. Создание и реализа-

ция высокоэффективных ресурсосберегающих технологий ,основанных на применении процесса – многоручьева прокатка-разделение. //Металл и литье Украины. –2003. –№3-4. –С.3-50.

4. С.М. Жучков, Б.С. Полатовский, Г.В. Бергеман и др. Расширение сортамента и повышение эффективности производства сортового проката с применением нетрадиционных технологических решений/ //Новости черной металлургии и зарубежных стран. Часть 1. Бюл. АО "Черметинформация". Черная металлургия.-2000.-№5-6.-С.34-38.

5. В.М. Клименко, Ю.М. Чуманов, В.Ф. Губайдуллин и др. Опытное-промышленное исследование многоручьева прокатки/ // Сталь.-1979.-№9.-С.687-689.

6. Маншилин А.Г., Солод В.С. Эффективность технологии многоручьева прокатки в зависимости от параметров оборудования//Сталь.-2002.-№8.-С.67,68.

УДК 621.771.01

РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЕМ

Махрина Е.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Кадыков В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: makhrin784@mail.ru*

Рассмотрены примеры внедрения производства сортовых профилей многоручьева прокаткой разделением. В статье отражены основные достоинства и недостатки этого метода.

Ключевые слова: слиттинг-процесс, удельные энергозатрат, удельный расход валков.

В современной практике прокатного производства процесс прокатки-разделения получил особенно широкое развитие при производстве арматурного проката мелких сечений. Основная причина такого интенсивного развития этого процесса обусловлена его очевидными преимуществами, которые позволяют получить применение той или иной технологии прокатки с продольным разделением раската в потоке непрерывного стана. Это – существенное повышение производительности стана (в некоторых случаях более 40 %), экономия затрат электроэнергии, снижение удельного расхода валков [1].

Используемые на сортовых и проволочных станах технологии, основанные на использовании процесса прокатки-разделения, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными технологиями:

- более эффективное использование мощности нагревательных печей;

- повышение начальной скорости входа заготовки в прокатный стан;
- сокращение времени охлаждения профилей на холодильнике вследствие уменьшения скорости на выходе из стана;
- уменьшение разницы температур заднего и переднего концов раската;
- возможность увеличения сечения исходной заготовки без увеличения числа прокатных клетей;
- улучшение контроля геометрии раската благодаря повышению требований по точности настройки рабочих клетей;
- увеличение срока службы рабочих валков;
- обеспечение роста часовой производительности стана (в некоторых случаях более чем на 40%).

Фирма «Ниппон-Кокан» имеет наибольший в мире опыт поставок технологии многоручьевого прокатки-разделения. В настоящее время на ряд металлургических предприятий поставлена технология производства арматурного профиля №10 четырехручьевого прокаткой-разделением. Достигнута максимальная часовая производительность до 93,7 т/ч (при средней производительности до 80 т/ч) при скорости прокатки до 14 м/с. Отклонения по массе профиля между четырьмя ручьями находились в пределах 2 %-ного диапазонам.

В дальнейшем фирма намерена реализовать разделение на 5 и 6 ручьев.

Наиболее важной проблемой, которая требует решения в связи с такой усовершенствованной прокаткой-разделением, является согласование высокой производительности прокатного стана и оборудования на выходной стороне стана (холодильника). Многоручьевое разделение рекомендуется для станов специализированных на производство арматурной стали малых размеров [2].

Новые зарубежные прокатные станы изначально проектировались под технологию прокатки с разделением полосы, для чего использовалась одноручьевая схема прокатки в черновой группе клетей с окончательным разделением полос в чистовой группе. Это позволяет увеличивать скорость прокатки, упростить настройку и обеспечить надежную работу автоматической системы управления скоростным режимом (осуществлять прокатку без натяжения). Исходная заготовка при технологии прокатки с разделением обычно имеет увеличенное сечение по сравнению с применяемой по обычной технологии заготовкой. Это обеспечивает увеличение производительности, снижение эксплуатационных затрат, точность и стабильность геометрических размеров профиля по длине раската.

1.2. Применение прокатки-разделения в странах СНГ

На металлургических предприятиях СНГ технология прокатки-разделения применяется на Белорусском металлургическом заводе, комбинате «Криворожсталь»(Украина), Молдавском металлургическом заводе. В России данная технология применялась на заводе «Амурсталь», «ЕВРАЗ ЗСМК» Россия.

Мелкосортно-проволочный стан 320/150 БМЗ, построенный с участием более 30 зарубежных фирм («Фест Альпине», «Шлеман Зимаг», «Даниели» и другие) является наиболее современным высокоавтоматизированным прокат-

ным станом, специализированным для прокатки с продольным разделением полосы. Решение полосы на две части осуществляется с помощью специальной коробки с делительными роликами. В настоящее время на БМЗ разработана технология и устройство для деления раската на три части [3].

Технология двухручьевого прокатки-разделения, основанная на способе продольного деления раската контролируемым разрывом внедрена на мелкосортных станах комбината «КриворожСталь» после проведенной реконструкции [4].

Продольное деление раската происходит в двухручьевом разделяющем калибре. Данный способ позволяет формировать и разделять двухниточный раскат, обеспечивает его самоцентрирование в двухручьевых калибрах, отличается простотой настройки валков и привалковой арматуры, реализуется в обычных чугунных валках [5].

Обе нитки готового профиля после выхода из чистовых клетей подстуживают в двух параллельно расположенных трассах термоупрочнения, одновременно разрезают ножницами на заданные длины, транспортируют отводящим рольгангом и сбрасывают в одну ячейку реек холодильника.

Стан 250-1 специализирован на производство арматурного профиля №8, стан 250-2 - на № 10, стан 250-4 - на № 12.

По данным комбината «Криворожсталь» производительность стана при двухручьевого прокатке арматурного профиля №12 увеличилась на 30%, удельные энергозатраты на деформацию металла уменьшилась на 22%, удельный расход валков снизился на 20%, при двухручьевого прокатке арматурного профиля №10 производительность увеличилась на 35%, удельные энергозатраты на деформацию металла уменьшились на 30%, удельный расход валков снизился на 19 %.

Снижение затрат на электроэнергию при двухручьевого прокатке-разделении достигается в результате уменьшения в два раза коэффициента суммарной вытяжки и соответственно уменьшения машинного времени. Снижение потерь тепла металлом способствует уменьшению разности температур между передним и задним концом раската. В связи с сокращением цикла прокатки до 50% и угар при нагреве до 20%. Благодаря этому выход годного увеличился на 2-4 кг/т.

В процессе механических испытаний и металлографических исследований установлено, что микроструктура металла в поперечных сечениях промежуточных раскатов и готовых профилей характеризуется плотным строением. Значения показателей механических свойств готового проката, полученного одноручьевого прокаткой и прокаткой-разделением, а также левой и правой ниток после продольного деления близки друг к другу и соответствуют требованиям стандартов. Фактическая точность готового профиля при прокатке с разделением также соответствует требованиям стандартов.

На ЗСМК освоение ститтинг-процесса происходило не в один этап, в связи с чем были получены следующие результаты:

1. В период освоения технологии прокатано:

10 874,8 т арматурного профиля №12 из них I сорт — 10 235,6 т (94,2%), II сорт - 28,68 т (0,2%), брак - 612,3 т (5,6 %). Брак в готовом прокате и II сорт получены по причинам невыполнения геометрических размеров профиля (овал) и кривизне прутков. Выход мерного проката составил в среднем 77%.

1 368 т арматурного профиля №10, из них I сорт - 1 290 т (94,3%), брак в готовом прокате — 6,6 (0,5%), брак в недокатах - 71,4 т (5,2%). Брак в готовом прокате получен по причине невыполнения геометрических размеров в профилях (овал). Выход мерного проката составил 79,3%.

2. Геометрические размеры и масса одного погонного метра арматурных профилей №10 и № 12, прокатанных по технологии с разделением при установившемся режиме прокатки соответствует требованиям ТУ 14-1-5252-94. Наблюдается «утяжка» средней части раската при настройке стана после перевалки и аварийных остановок, а также значительное колебание величины горизонтального диаметра и массы одного погонного метра профиля по длине раската, полученного из одной заготовки (до 2,5 мм по горизонтальному диаметру и до 8 % по массе одного погонного метра).

3. Уровень механических свойств арматурного проката №10 и №12 в горячекатаном состоянии соответствует требованиям класса А III ГОСТ 5781-82 и в термоупрочненном состоянии - классу А400с по ТУ 14-1-5254- 94.

4. Уровень выхода мерного проката в среднем составляет 78%, снижение произошло по причинам уменьшения коэффициента заполнения холодильника и разбросу концов парных штанг, уложенных в один зуб рейки холодильника (максимальный разброс наблюдался на №12).

5. Получено большое количество брака в недокатах (до 5,5%), связанное с увеличением (сложности технологического процесса). Расходный коэффициент увеличен в среднем на 9%.

6. Наличие четырех двухручьевых промежутков в чистовых группах клетей при прокатке арматурного профиля №12 в условиях мелкосортного стана 250-1 снижает устойчивость процесса прокатки, прокатка №10 с двумя двухручьевыми промежутками в чистовых группах происходит более устойчиво.

7. Имеются недостатки в качестве изготовления проводковой арматуры, нарезки калибров и соблюдения монтажных схем на прокатных валках (особенно закрытого калибра в промежуточной группе) [6].

Вывод. Представленные примеры освоения технологии многоручьевой прокатки-разделением говорят о том, что данный способ является целесообразным вектором развития и модернизации мелкосортных прокатных станов.

Библиографический список

1. Маншилин А.Г., Солодов В.С. Эффективность технологии многоручьевой прокатки в зависимости от параметров оборудования //Сталь. – 2002.№8. –С.67–68.

2. Шульгин Г.М., Маншилин А.Г., Жучков А.Ю. Создание и реализация высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, основанных на применении процесса – многоручьевая прокатка-разделение. //Металл и литье Украины. –2003. –№3-4. –С.3-50.

3. Жучков С.М., Полатовский Б.С., Бергеман Г.В. и др. Расширение сортамента и повышение эффективности производства сортового проката с применением нетрадиционных технологических решений//Новости черной металлургии и зарубежных стран. Часть 1. Бюл. АО "Черметинформация". Черная металлургия.-2000.-№5-6.-С.34-38.

4. Жучков С.М., Любимов И.М., Кулаков Л.В. Целесообразность применения неприводных деформирующих устройств в условиях мелко-сортных станов комбината «Криворожсталь» // Теория и практика металлургии. – 2001. №2 (22). – С.51-52

5. Маншилин А.Г., Солод В.С. Эффективность технологии многоручьевой прокатки в зависимости от параметров оборудования//Сталь.-2002.-№8.-С.67,68.

6. Кузнецов И.С., Рубцов Ю.Т., Станкевич О.А., Комшуков В.П., Отчет о научно-исследовательской работе «Освоение в сортопрокатном цехе производства стали по технологии с разделением полосы» //Новокузнецк – 2002. С.48 – 50.

УДК 621.778.04

ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Бердюгина М.А., Маркалин Ю.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: berdyginamariya21@mail.ru*

Рассмотрен опыт освоения в условиях метизного производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» нового вида продукции – винтовых гвоздей. Приведена конструкция роликовой волоки, формирующая волочением винтовой профиль. Рекомендована последовательность технологических операций для получения винтовых гвоздей.

Ключевые слова: новый способ, винтовые гвозди, волочение.

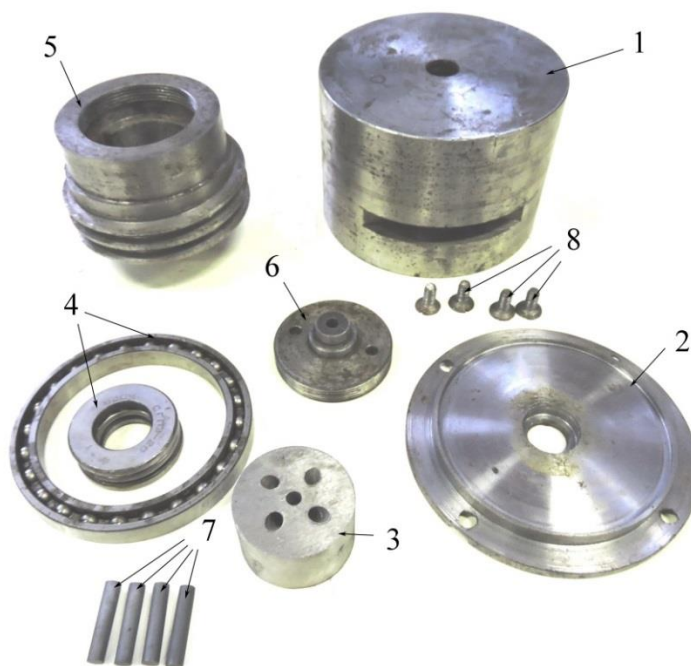
В настоящее время с развитием техники и технологии все острее встает задача освоения новых сложных профилей, использование которых позволит получить существенный экономический эффект. К таким перспективным профилям относят винтовые профили (арматура, винтовые гвозди и трубы).

В настоящее время винтовые профили производят двумя способами:

горячей прокаткой [1] и волочением со скручиванием [2]. Рассмотрим второй способ – волочение со скручиванием, которым производят профили с многозаходной винтовой поверхностью. Реализуется способ в две стадии: волочение с нанесением продольных канавок и последующее скручивание на угол подъема винтовой поверхности при помощи дополнительного устройства. Такая технологическая схема имеет ряд существенных недостатков, к которым относятся усложнение конструкции волочильного стана, увеличение затрат энергии на дополнительное скручивание, невозможность волочения длинномерного профиля в бунтах, относительно небольшая скорость волочения, а, следовательно, низкая производительность. Все перечисленные недостатки связаны с необходимостью выполнения дополнительной операции – скручивания профиля. Для устранения имеющихся недостатков и снятия ограничений разработана оригинальная конструкция волоки [3] и способ волочения [4]. Предложенная конструкция и способ ведения процесса создают условия, когда инструмент обкатывает заготовку без использования дополнительного привода и тем самым формирует винтовой профиль.

Как было отмечено выше, особенностью получения винтового профиля предлагаемым способом является отсутствие дополнительного устройства для скручивания на определенный угол в зависимости от необходимого шага винтовой поверхности [5 - 7]. Предложенное решение позволяет на действующем оборудовании без серьезных материальных затрат освоить производство винтовых профилей волочением. В качестве перспективного направления развития метизного производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» было выбрано освоение производства винтовых гвоздей. Данный вид продукции для АО «ЕВРАЗ ЗСМК» новый и весьма перспективный в виду высокой маржинальности и востребованности на рынке.

С целью снижения материальных затрат на реализацию проекта предлагаемая технология получения винтовых гвоздей была максимально адаптирована к условиям метизного производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и включала в себя следующую последовательность технологических операций: на начальном этапе подготовленная катанка диаметром 6,5 мм из стали марки СтЗпс поступает на волочильный стан, где по существующей технологии с использованием в качестве смазки сухого мыльного порошка протягивается до диаметра 4 мм на стане 4/550 SKET по маршрутам волочения 6 – 5,5 – 5,0 и 5,6 – 4,7 – 4,0; затем на волочильном стане 7/350 SKET по маршруту 3,7 – 3,4 – 3,15 – 2,9 – 2,7 – 2,5 получали заготовку диаметром 2,5 мм, из которой в последнем проходе формировался четырех - заходный винтовой профиль при скорости волочения 338 м/мин и сматывался на катушку. Нанесение винтового профиля производили с использованием сборной роликовой волоки приведенной на рисунке 1. Деформирующие ролики сборной волоки были выполнены из победита ВК6 диаметром 3 мм и устанавливались в тело волоки под углом 50° к оси заготовки.



- 1 – корпус; 2 – крышка корпуса; 3 – обойма для рабочих валков; 4 - подшипники;
 5 – тело волокна; 6 – крышка тела волокна; 7 – победитовые рабочие ролики;
 8 – болты для крепления крышки

Рисунок 1 – Детализировка сборной волокна для получения винтовых профилей

Полученный четырех - заходный винтовой профиль использовался в дальнейшем для производства винтовых гвоздей. Винтовые гвозди получали на холодно-высадочном автомате ТНА-80. Дополнительного переоборудования и настройки холодно-высадочного автомата ТНА-80 не потребовалось, что существенно упростило технологию получения винтовых гвоздей. Опытная партия винтовых гвоздей диаметром 2,5 мм и длиной 50 мм отвечала всем требованиям к данному виду продукции. Проведенные маркетинговые исследования нового вида продукции показали востребованность винтовых гвоздей на рынке метизов. Оценен экономический эффект от освоения производства винтовых гвоздей в условиях метизного производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК». С учетом затрат на изготовление роликовых волокон, формирующих винтовой профиль, экономический эффект составит 9,5 млн. рублей в год. Предполагаемая прибыль формируется за счет более высокой цены винтовых гвоздей.

Библиографический список

1. Фридлянов Б.В. Винтовая арматура для строительства / Б.В. Фридлянов // Металлоснабжение и сбыт. - 2001. - №4. - с. 34-35.
2. Каргин В.Р. Процессы получения винтовых профилей и труб / В.Р. Каргин. – М.: Металлургия, 1994. – 96 с.
3. Патент на полезную модель 143099 U1 Россия, МПК В21С 3/08 Роликовая волокна/ А.Р. Фастыковский, Е.В. Чинокалов, В.Н. Кадыков, В.Я. Чинокалов. Опубл. 10.07.2014, Бюл. №19.

4. Патент 2553728 РФ, МПК В21С 1/22 Способ получения винтовых профилей/ Фастыковский А.Р., Чинокалов Е.В., Амелин А.В., Лебошкин Б.М., Фастыковский Д.А., Мешков В.З. Опубл 20.06.2015 Бюл. №17.

5. Фастыковский А.Р. Холоднотянутая арматурная проволока с винтовым профилем / А.Р. Фастыковский, Е.В. Чинокалов, А.Г. Милованов / Металлург. – 2014. - №6. – С. 128 – 131.

6. Фастыковский А.Р. Инновационная технология получения длинномерных винтовых профилей / А.Р. Фастыковский и др. /Сталь. – 2014. - №10. – С. 48 -50.

7. Фастыковский А.Р. Снижение энергопотребления при получении длинномерных винтовых профилей волочением / А.Р. Фастыковский и др. / Производство проката. – 2013. - №10. – С. 40 – 42.

УДК 621.771.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ВОЛОЧЕНИЯ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ

Иванкина И.В., Бердюгина М.А.

Научный руководитель д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail ivankina-2013@mail.ru*

Успешное развитие обработки металлов давлением в многовалковых волокнах требует проведения теоретических исследований. Наибольший интерес представляют зависимости для определения усилия волочения, учитывающие многообразие факторов, влияющих на данный процесс. В статье с использованием метода энергетического баланса получены теоретические зависимости для определения усилия волочения в трехроликовых волокнах. Полученные зависимости учитывают как геометрические параметры инструмента, так и режимы формоизменения.

Ключевые слова: многовалковые волокна, энергетический баланс, усилие волочения.

В России и за рубежом все большее внимание уделяется способу волочения в роликовых волокнах. Использование при волочении роликовых волок позволяет в одном процессе использовать преимущества двух распространенных способов деформации: прокатки и волочения.

Получение определенных профилей и размеров в роликовых волокнах экономически более выгодно, чем производство их прокаткой или волочением в монолитных волокнах. Использование роликовых волок позволяет существенно расширить сортамент изделий, получаемых волочением за счет профилей, отличных от круга [1, 2]. Однако, одним из сдерживающих факторов развития этого процесса является недостаточно развитая теория волочения в

роликовых волоках. Много и не решенных вопросов по оценке энергосиловых параметров при волочении в роликовых волоках.

Для определения зависимости усилия волочения в роликовых волоках от технологических параметров процесса воспользуемся энергетическим методом решения задач обработки металлов давлением. Запишем уравнение энергетического баланса для волочения с использованием роликовых волок вида:

$$N_{\phi} + N_{TP} + N_x - N_{\epsilon} = 0, \quad (1)$$

где N_x – мощность сил сопротивления вращению, Вт;

N_{ϵ} – мощность, необходимая для деформирования в роликовой волоке, Вт;

N_{TP} – мощность сил трения на контактной поверхности роликовой волоки, Вт.

Мощность на формоизменение определим по формуле [3]:

$$N_{\phi} = p_{cp} v h_{cp} b_{cp} \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (2)$$

где v – скорость волочения, м/с;

h_{cp} – средняя высота заготовки в очаге деформации, мм;

h_0, h_1 – начальная и конечная толщина заготовки, мм;

p_{cp} – среднее нормальное напряжение;

b_{cp} – средняя ширина заготовки, мм.

Мощность, необходимая для деформирования в роликовой волоке, найдем по зависимости:

$$N_{\epsilon} = \sigma_{\epsilon} V_{сек}, \quad (3)$$

где σ_{ϵ} – напряжение, необходимое для деформирования в роликовой волоке, Мпа;

$V_{сек}$ – секундный объем.

Мощность сил трения в очаге деформации, как отмечено в работах [3, 4], складывается из мощности в зоне отставания, опережения и определяется по формулам:

$$N_{TP} = N_{TPотст} + N_{TPопер}, \quad N_{TP} = \int_{F_1} \tau_1 \Delta v_1 dF + \int_{F_2} \tau_2 \Delta v_2 dF, \quad (4)$$

где $\Delta v_1, \Delta v_2$ – продольные составляющие скоростей скольжения соответственно в зонах отставания и опережения, мм/с;

F_1, F_2 – контактные площади в зонах отставания и опережения, мм²;

τ_1, τ_2 – касательные напряжения соответственно в зонах отставания и опережения.

Мощность, расходуемая на вращение роликовой волоки [5]:

$$N_x = - \int_{F_1} \tau_1 v_{\epsilon} dF + \int_{F_2} \tau_2 v_{\epsilon} dF. \quad (5)$$

где v_{ϵ} – окружная скорость точки на валке, мм/с.

Рассмотрим получение круглой проволоки с использованием трехроликовых волок, работающих по схемам шестигранник – шестигранник и шестигранник – круг (рисунок 1).

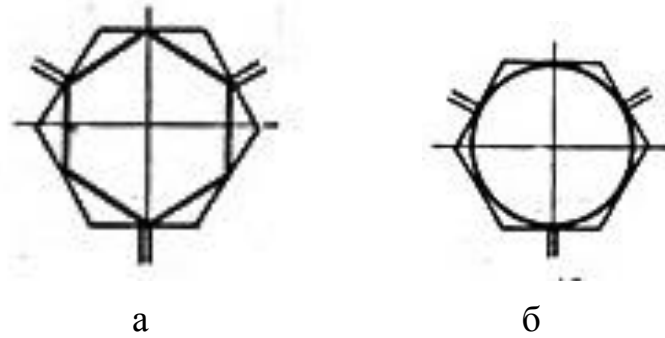


Рисунок 1 – Волочение в трехроликовых волокнах по схемам шестигранник – шестигранник (а), шестигранник – круг (б)

Для решения уравнения (1) воспользуемся следующими допущениями:
 – при определении средней площади поперечного сечения полосы в зонах отставания и опережения при деформировании в трех- валковых роликовых волокнах воспользуемся предложенной в работе [6] экспоненциальной зависимостью (максимальная ошибка не превышает 7 %):

$$S_C = S_1 \lambda_1^{\frac{\varphi_1}{\alpha_1}}, \quad (6)$$

где S_1 – площадь поперечного сечения после деформирования, мм²; λ_1 – коэффициент вытяжки в роликовой волоке; φ_1 – угол наклона вектора скорости к горизонтали в соответствующей зоне; α_1 – угол захвата в роликовой волоке, рад;

– при рассмотрении случая деформирования в роликовой волоке используем аппроксимирующую функцию, рекомендованную в работе [7], для определения площади контакта полосы с валками при волочении по схеме шестигранник – шестигранник (рисунок 1 а) в виде:

$$y_1 = \frac{b}{2} \left[1 - \left(\frac{\theta}{\alpha_1} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где b – ширина грани ролика, мм; θ – текущий угол.

При волочении по схеме шестигранник – круг (рисунок 1 б):

$$y_1 = \frac{b}{2} \left[1 - \left(\frac{\theta}{\alpha_1} \right) \right]. \quad (8)$$

После проведения соответствующих вычислений и преобразований получим зависимости для определения усилия волочения в трехроликовых волокнах по схемам шестигранник – шестигранник и шестигранник – круг вида:
 шестигранник - шестигранник

$$Q_6 = \sigma_{Tcp} S_1 \ln \lambda + 1,005 \mu \sigma_{Tcp} b \cdot l_d \left[\frac{\lambda^{0,83}}{\cos(0,17\alpha_1)} - \frac{\lambda^{0,333}}{\cos(0,663\alpha_1)} \right]. \quad (9)$$

шестигранник - круг

$$Q_6 = \sigma_{Tcp} S_1 \ln \lambda + 0,75 \mu \sigma_{Tcp} b l_d \left(\frac{\lambda^{0,875}}{\cos(0,125\alpha_1)} - \frac{\lambda^{0,375}}{\cos(0,625\alpha_1)} \right). \quad (10)$$

где S_1 – площадь поперечного сечения заготовки после волочения в роликовой волоке, мм²;

l_d – длина дуги захвата на одном ролике;

λ – коэффициент вытяжки; σ_{Tcp} – средний предел текучести металла, который усредняют по начальному и конечному значению

$$\sigma_{Tcp} = 0,5(\sigma_{T0} + \sigma_{T1}).$$

Для определения усилия волочения в роликовых волоках в литературе [8] рекомендуется формула вида:

$$Q_6 = k \sigma_{Tcp} S_1 \ln \lambda, \quad (11)$$

где k – коэффициент, учитывающий контактные силы трения и равный 1,3 – 1,4.

Полученные зависимости (9, 10) для определения усилия волочения состоят из двух слагаемых: первая составляющая характеризует величину усилия волочения необходимую для обеспечения работы деформации, вторая составляющая учитывает влияние условий трения на контакте. Рекомендованная в литературе формула (11) учитывает усилие, необходимое для обеспечения работы деформации, а влияние контактных сил трения полагают равным 30 – 40% от этого усилия. Полученные зависимости выгодно отличаются от имеющейся в литературе тем, что при определении составляющей усилия от контактных сил трения учитывают конструктивные особенности роликовых волок, параметров очага деформации, коэффициент трения.

Библиографический список

1. Фастыковский А.Р. Снижение энергопотребления при получении длинномерных винтовых профилей волочением / А.Р. Фастыковский, Е.В. Чинокалов, Б.М. Лебошкин, О.Ю. Ефимов // Производство проката. – 2013. - №10. – С. 40 – 42.

2. Фастыковский А.Р. Холодотянутая арматурная проволока с винтовым профилем / А.Р. Фастыковский, Е.В. Чинокалов, А.Г. Милованов // Металлург. – 2014. - №6. – С. 128 – 131.

3. Фастыковский А.Р. Изучение резервных сил трения при прокатке в вытяжных калибрах / А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяtko // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. - № 4. – С. 22 – 24.

4. Фастыковский А.Р. Оценка величины резервных сил трения очага деформации / А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяtko // Известия вузов. Черная металлургия. – 2001. - № 8. – С. 42 – 44.

5. Фастыковский А.Р., Перетяtko В.Н. Теоретическая модель процес-

са бескалибровой прокатки с использованием резервных сил трения очага деформации / А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяцько // Известия вузов. Черная металлургия. – 2003. - № 6. – С. 18 – 20.

6. Выдрин В.Н. К теории расчета удельного давления при прокатке в четырехвалковых калибрах: Сб. науч. трудов. Теория и технология прокатки / В.Н. Выдрин, Ю.П. Сердега, П.М. Сычев. – Челябинск, 1971. – №76. – С. 112 – 121.

7. Площадь контакта в трехвалковых калибрах: Сб. науч. трудов. Теория и технология прокатки / Л.А. Барков [и др.] – Челябинск, 1971. – №79. – С. 96 – 99.

8. Рудской А.И. Волочение / А.И.Рудской, В.А. Лунев, О.П. Шабалдо Учебное пособие. Санкт-Петербург. Политехнический ун-т. 2011, 126 с.

УДК 621.771.01

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛЮЩИХ ШАРОВ

Курбангалеев Д.К., Маркалин Ю.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.

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

Улучшение эксплуатационных характеристик мелющих шаров за счет совершенствования технологии производства - актуальная задача, требующая решения. В статье предлагается улучшить эксплуатационные характеристики мелющих шаров благодаря использованию водовоздушной смеси на стадии охлаждения. Предложена принципиально новая конструкция охлаждающего устройства, отработаны режимы охлаждения мелющих шаров.

Ключевые слова: эксплуатационные характеристики, мелющие шары, водовоздушная смесь.

Повышение качества готовой продукции является актуальной задачей при производстве мелющих шаров. Показатели качества шаров формируются на стадиях прокатки и термоупрочнения с прокатного нагрева. Если первая стадия определяет геометрию профиля, то вторая формирует эксплуатационные свойства, связанные с высокой износостойкостью рабочей поверхности шара. В процессе работы мелющие шары подвергаются ударным нагрузкам и интенсивному износу. Для повышения срока службы в таких условиях рабочая поверхность должна обладать высокой прочностью и износостойкостью. Необходимые свойства контактной поверхности мелющих шаров обеспечиваются термоупрочнением с прокатного нагрева. Данная операция должна занимать минимальное количество времени и обеспечивать

высокую скорость охлаждения при незначительных материальных затратах. Для реализации процесса термомеханического упрочнения шаров обычно используются два вида охлаждающих сред - вода и водовоздушная смесь. Как показали многочисленные эксперименты [1, 2], лучшие показатели по механическим свойствам можно получить, используя в качестве охлаждающей среды водовоздушную смесь. Однако известные устройства для ее генерации весьма требовательны к качеству воды и не надежны при эксплуатации по причине сложности конструкции. Такое положение дел существенно ограничивает область использования водовоздушной смеси и вызывает необходимость поиска новых технических решений.

На кафедре ОМДиМ «ЕВРАЗ ЗСМК» СибГИУ разработана и предложена принципиально новая конструкция, генерирующая водовоздушную смесь с использованием воды любого качества [3]. На основании разработанного устройства спроектирован модуль из четырех форсунок для охлаждения шаров водовоздушной смесью (рисунок 1).

Модуль состоит из металлического корпуса 1 с вмонтированными по его периметру охлаждающими устройствами 2, к которым по трубам 3 подается вода, а по трубам 4 - сжатый воздух из магистрали цеха под давлением 3 - 5 атм. Трубопроводы оборудованы кранами 5 для регулирования подачи воды и воздуха, а также возможности отключения отдельных охлаждающих устройств. Из модулей можно компоновать охлаждающие секции различной протяженности, для этого достаточно от 5 до 10 модулей приведенной конструкции.

Использование описанного устройства позволяет проводить термоупрочнение в потоке стана, снижает количество потребляемой воды в десять раз и улучшает механические характеристики готовой продукции.

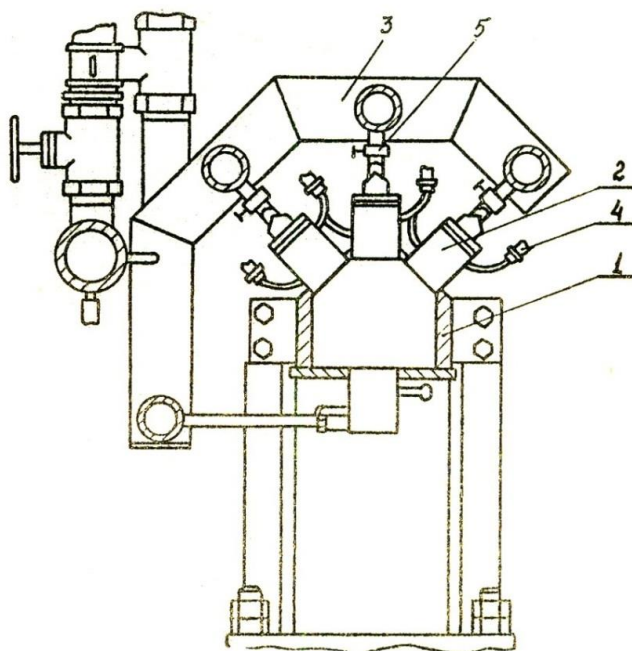


Рисунок 1 - Охлаждающий модуль

Для оценки охлаждающей способности разработанных модулей и отработки режимов термомеханического упрочнения мелющих шаров были проведены экспериментальные исследования. Опыты проводили на шарах диаметром 100 мм из сталей с содержанием углерода 0,5 % и 0,8 %. Охлаждение шаров осуществляли в камере модуля, состоящего из четырех охлаждающих устройств. В шарах было просверлено два отверстия: одно до середины шара, второе на глубину 25 мм, в отверстия были установлены термопары. Одна термопара закреплена на поверхности шара. Регистрировалось изменение температур в процессе охлаждения шестиканальным самописцем НЗ38-6 с записью на диаграммную бумагу. Температура, с которой охлаждали стальные шары, соответствовала температуре конца прокатки на шаропркатном стане и в центре шара равнялась 950°C . По температурным кривым охлаждения центра шара, промежуточного и поверхностного слоев было определено оптимальное время выдержки шаров в камере охлаждения, которое составило 20 и 30 с. За это время шар охлаждался до температуры ниже A_{c1} , и внутренняя структура шара полностью сформировалась, следовательно, сформировались и его физико-механические свойства. Для равномерности охлаждения шар совершал возвратно-поступательное движение в пределах камеры охлаждения. Полученные кривые охлаждения приведены на рисунке 2.

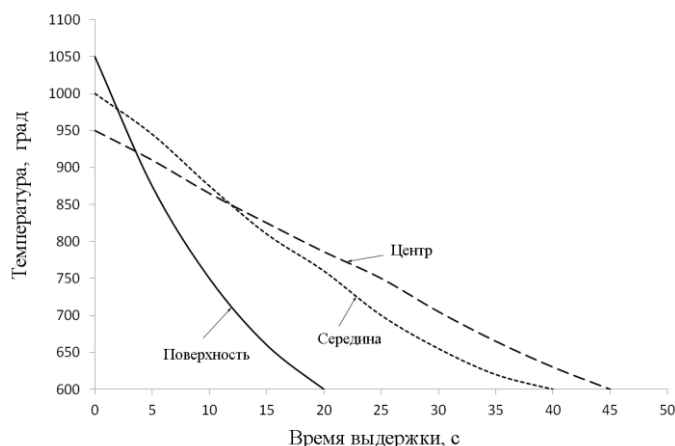


Рисунок 2 - Кривые охлаждения водо-воздушной смесью шара диаметром 100 мм

При нагреве шара и выдержке температура по сечению отличалась на 100°C . В процессе охлаждения наблюдали не равномерную скорость охлаждения на разной глубине. Скорость охлаждения поверхности шаров составляла 22,5 град/с, в средней части - 10 град/с и в центральной части - 8 град/с. Охлаждение в течении 20 с обеспечивает температуру поверхности 600°C , в средней части - 750°C и в центре - 800°C . При охлаждении в течении 30 с температура поверхности составляла порядка 500°C , средней части - 650°C и в центре - 700°C . Такие температурные режимы охлаждения 20 – 30 с позволяют обеспечить хорошую прокаливаемость шаров с сохранением пласти-

ческой центральной части.

Из шаров, охлажденных по разработанным режимам, вырезали темплеты с шагом 5 мм для замера твердости по сечению шара.

Зависимость твердости от глубины замера и содержания углерода приведена на рисунке 3.

Наилучший результат по твердости достигнут при охлаждении водовоздушной смесью в течении 30 с с последующим доохлаждением в спокойной воде по существующей технологии. Расход воды и воздуха при этом составил соответственно 1 л/с и 6 м³/с.

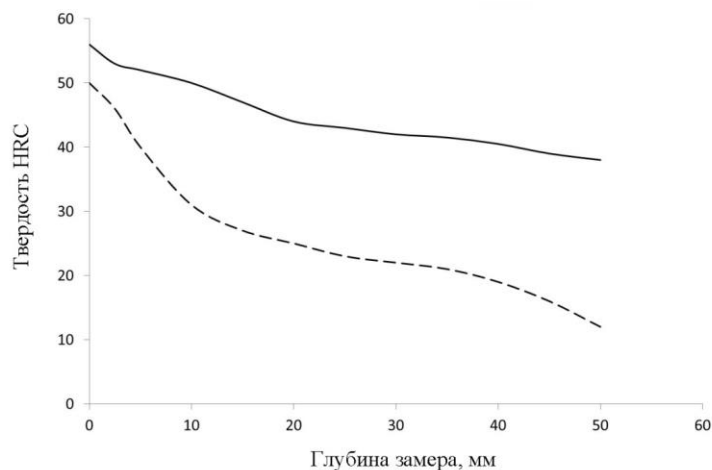


Рисунок 3 – Распределение твердости по сечению шаров (сплошная линия содержание углерода 0,8 %, пунктирная – 0,5 %)

Приведенные выше экспериментальные результаты получены для шаров диаметром 100 мм и могут быть с определенной поправкой использованы для меньших размеров. Шары меньших размеров, чем 100 мм, имеют меньший объем, и для достижения нужных эксплуатационных свойств потребуется меньше охлаждающей среды. Уменьшение объемов охлаждающей среды можно обеспечить за счет сокращения времени пребывания шара в разработанном модуле. Для определения рационального времени охлаждения шаров диаметром меньше 100 мм можно воспользоваться полученными результатами по скорости охлаждения на разной глубине.

Библиографический список

1. Сычков, А.Б. Развитие устройств и способов для термической обработки катанки / А.Б. Сычков, С.О. Малашкин, М.А. Жигарев // Сталь. – 2015. - № 10. - С. 50-54.
2. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка стали / М.Л. Бернштейн, В.Л. Займовский, Л.М. Капуткина М. Металлургия, 1983. - 480с.
3. А.с. 1375369 СССР, МКИ⁴ В21В 39/14, 45/02. Устройство для центрирования сортового проката / Кузнецов А.Ф., Чельшев Н.А., Свекров В.М., Фастыковский А.Р. и др. // Опубл. 23.02.88 Бюл. № 7.

ЗОННАЯ ПЛАВКА МЕТАЛЛОВ

Михеева Д.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: dashamiheeva18031997@mail.ru*

Зонная плавка (очистка полупроводниковых материалов и редких металлов от примесей) основана на физических процессах разделения, преимущество которых состоит в том, что очистка протекает без использования каких-либо реагентов, вносимых извне. Конструкция установки зонной плавки и методика получения сверхчистой меди.

Ключевые слова: зонная плавка, метод, установка, технология, очистка меди.

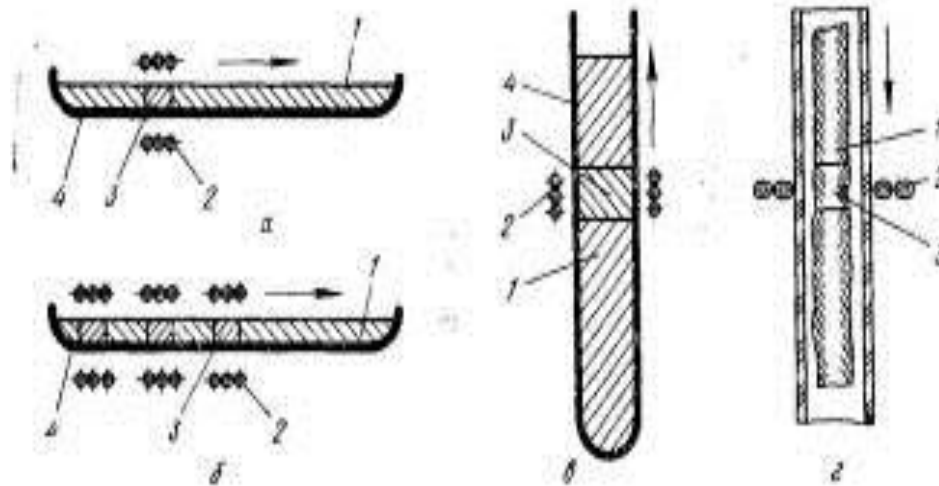
Зонная плавка (очистка полупроводниковых материалов и редких металлов от примесей) основана на физических процессах разделения, преимущество которых состоит в том, что очистка протекает без использования каких-либо реагентов, вносимых извне. Зонная плавка – кристаллизационный метод очистки – заключается в удалении примесей движущимся фронтом кристаллизации. Она применима для любого кристаллизующегося вещества, растворимость примесей которого в жидком и твердом состояниях различна.

При очистке слиток может находиться в горизонтальном или вертикальном положении в соответствующем контейнере.

Простейшее устройство представляет собой горизонтальный контейнер, в котором расположена лодочка с очищаемым веществом. Лодочка проходит через нагреватель, создающий расплавленную зону. Перемещаться может либо лодочка относительно неподвижного нагревателя, либо нагреватель относительно неподвижной лодочки.

Бестигельную зонную плавку применяют для того, чтобы избежать взаимодействия очищаемого слитка с материалом контейнера и загрязнения материала, которое может при этом происходить. Подлежащий очистке слиток вертикально помещают в камеру, в которой создают вакуум или необходимую атмосферу. Нагреватель создает расплавленную зону, которая удерживается в слитке под действием сил поверхностного натяжения.

На рисунке 1 показаны принципиальные схемы аппаратов для зонной очистки. Эффективность очистки процесса зонной плавки определяется величиной коэффициента распределения (коэффициентом сегрегации). Коэффициент распределения представляет собой определяющий фактор эффективности процесса зонной плавки.



а — однозонный аппарат; б — многозонный;
 в — вертикальный; г — бестигельный;
 1 — кристаллический материал; 2 — нагреватель; 3 — рас натяжения
 (иногда для поддержания зоны используется сжимающий эффект магнитного поля.)

Рисунок 1– Схема аппаратов для зонной очистки

Суть метода зонной плавки:

- Очищаемый кристалл нагревается
- Создаем узкую расплавленную зону

Передвигаем зону вдоль кристалла несколько раз

В результате примесь с $K < 1$ собирается в конце слитка, примесь с $K > 1$ собирается в начале слитка.

Распределение примеси характеризуется коэффициентом распределения, который равен

$$K = \frac{C_S}{C_L};$$

где C_S — концентрация примеси в твёрдой фазе,

C_L — концентрация примеси в жидкой фазе.

Процесс заключается в медленном движении расплавленной зоны вдоль твердого загрязненного (очищаемого) слитка. В результате этого большая часть примесей перераспределяется по длине слитка, перемещаясь к одному из его концов.

Этапы:

- 1) Стержень перемещается в начальное положение
- 2) Создание вакуума и разогрев слитка
- 3) Создание расплавленной зоны
- 4) Движение зоны и вращение кристалла
- 5) «Замораживание зоны»
- 6) Перемещение стержня в исходное положение

7) Повторное создание и движение зоны вдоль кристалла

8) Окончание процесса, извлечение монокристалла

Конструкция установки зонной плавки и методика получения сверхчистой меди.

Важнейшее значение для процесса зонной плавки имеет метод нагрева и расплавления металла в рабочей зоне. Учитывая особенности свойств меди, наиболее предпочтительным способом выглядит индукционный нагрев с созданием максимально узкой зоны расплавленного металла. Такой способ позволит снизить степень нагрева контейнера (а значит, и повторное загрязнение меди), уменьшит потери тепла. В результате создания узкой зоны расплавленного металла будет обеспечиваться максимально возможная при прочих равных условиях степень очистки металла за счет резкого увеличения скорости диффузионного переноса примесей в зоне жидкой меди.

Основным недостатком известных процессов зонной плавки является невозможность масштабирования агрегата, так как скорость процесса определяется скоростью диффузии примеси в основном металле. Поэтому в промышленных условиях для получения большого количества высокочистого металла используются батареи одинаковых установок заданного размера.

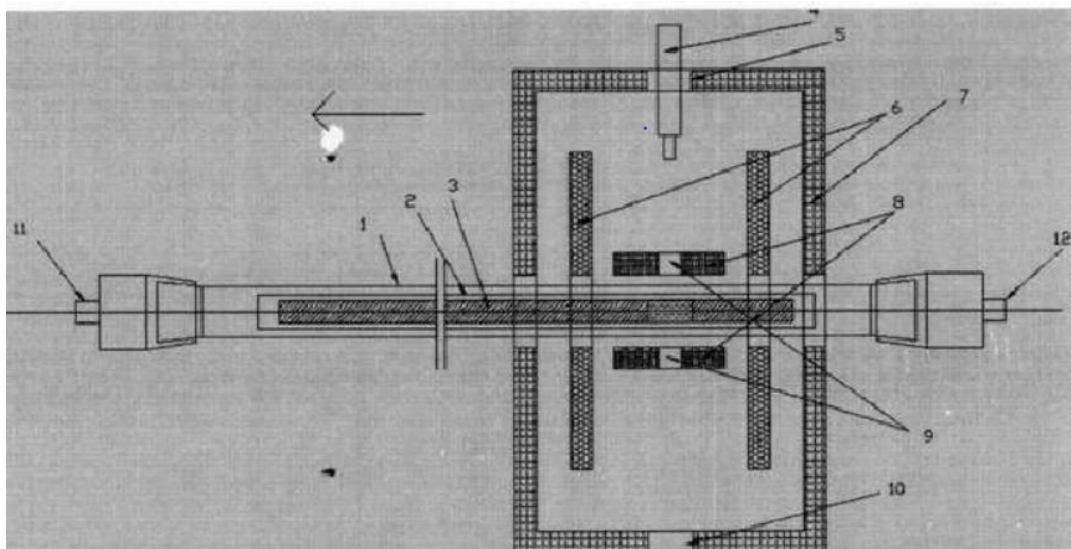
Принципиальное отличие идеи новой конструкции зонной плавки от существующих аналогов заключается в том, что основные параметры процесса: ширина и скорость движения расплавленной зоны зависят от распределения температуры, которое измеряется по ширине расплавленной зоны и прилегающих к ней частей слитка. Применение оптического метода позволяет бесконтактное измерение температуры и обеспечивает получение информации об ее распределении вдоль слитка.

Процесс очистки проводился в горизонтальном кварцевом реакторе в атмосфере аргона. Для снятия диффузионных ограничений было использовано интенсивное перемешивание расплава в зоне плавления за счет использования индукционного нагревателя и наложения магнитного поля вдоль фронта кристаллизации и плавления с помощью магнитных колец.

Выбранное решение позволило достичь уменьшения диффузионного сопротивления и обеспечить оптимальное перераспределение примесей между твердой и жидкой фазами. Температура металла в зоне плавления измерялась оптическим пирометром и использовалась как контрольный параметр для определения скорости движения расплавленной зоны.

Исследования по глубокой очистке меди от примесей были проведены с использованием новой конструкции установки зонной плавки, показанной на рисунке 2.

Установка состоит из кварцевого реактора (1), имеющего шлифы с двух сторон. В крышках шлифов предусмотрены отверстия для подачи (11) и выхода (12) инертного газа (аргон). В зависимости от исходного материала предусмотрена также опция работы в вакууме.



1 – кварцевый реактор; 2 – кварцевая лодочка; 3 – пруток меди; 4 – оптический пирометр; 5 – окно в печи для ввода оптического пирометра; 6 – магнитные кольца; 7 – нагревательный блок; 8 – индуктор; 9 – окно для измерения температуры расплава; 10 – окно для ввода оптического пирометра; 11 – ввод аргона; 12 – выход аргона

Рисунок 2– Конструкция установки зонной плавки для получения сверхчистого металла

В реактор устанавливается кварцевая лодочка (2), в которую загружается исходный пруток очищаемого металла (3). Для нагрева металла используется блок (7) с индукционным нагревателем (8). Блок имеет окна (5, 10) для ввода оптического пирометра (4). Окна сделаны сверху (5) и снизу (10) для проверки режимов контроля над движением печи. Скорость движения нагревателя вдоль прутка металла определяет скорость плавления металла и контролируется по показаниям оптического пирометра, измеряющего температуру в расплавленной зоне металла. Форма индуктора (8) выбрана так, чтобы оптический пирометр мог контролировать температуру расплавленного металла по длине горячей зоны. Для этого предусмотрены окна (9) в индукторе. Внутри печи помещаются магнитные кольца (6), обеспечивающие перемешивание жидкой зоны.

Суть технологии заключается в том, что нагревательный блок, двигаясь вдоль очищаемого прутка металла, расплавляет узкую зону металла с помощью индукционного нагревателя. Примеси, присутствующие в металле, в зависимости от коэффициента распределения между жидкой и твердой фазой очищаемого металла, концентрируются в противоположных концах прутка очищаемого металла (таблица 1). После нескольких циклов плавления и кристаллизации концы прутка отрезаются и возвращаются в основной процесс получения очистки металла. Управление перемешиванием жидкого металла в расплавленной зоне является, наряду со скоростью кристаллизации, основным параметром, определяющим распределение примесей и структуру получаемого слитка.

Таблица 1– Данные по исходной меди и меди после очистки

Наименование пробы	Содержание примесей, ppm														Сумма примесей, ppm
	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Cr	Mn	Sn	Zn	P	Ag	B	Co	
Исходная медь	10	20	20	50	30	50	30	30	20	40	20	30	10	20	380
Мед, после очистки	но	но	2,8	но	но	но	0,1	2,9	но	но	но	но	3,8	0,2	9,8

Примечание: но – не обнаружено

Методика проведения экспериментов.

В качестве исходного материала использовались прутки рафинированной меди чистотой 99,96 %, длиной 800 мм, диаметром 35 мм. Исходный прутки меди весом 3 кг помещался в кварцевую лодочку, которая размещалась в кварцевом реакторе. В реакторе создавали инертную атмосферу подачи аргона.

Скорость движения индукционного нагревателя вдоль прутка металла – 300 мм/час. Температура металла в расплавленной зоне контролировалась оптическим пирометром и поддерживалась в пределах 1180–1230 °С, что соответствует температуре превышения плавления меди на 100–150 °С. По достижении заданной температуры образец выдерживался при различном времени (10, 15, 20 минут), после чего нагреватель перемещался вдоль прутка с охлаждением его до температуры на 30–50 °С выше температуры плавления меди.

Примеси, передвигаясь вместе с расплавленной зоной вдоль прутка, концентрировались в перегретой зоне меди (образца). После необходимого количества прогонов (5 прогонов) конечные части прутка отрезали и получали сверхчистую медь.

Окончательные результаты по остаточному содержанию примесей в полученном металле, приведенные в таблице, показывают, что при выбранных технологических режимах и соответствующем аппаратурном решении достигается глубокая очистка меди от примесей за счет снижения суммарного содержания примесей с 380 ppm до 10 ppm с получением сверхчистой меди чистотой 99,998 %.

Выводы:

1. Разработана новая конструкция зонной плавки для получения сверхчистых металлов. Установлено, что метод зонной перекристаллизации с применением индукционного нагрева и магнитных колец, используемых для обеспечения благоприятных условий перемешивания расплавленной зоны, позволяет получать сверхчистые металлы высокой чистоты.

2. На примере получения сверхчистой меди чистотой 99,998 % показано, что эффективность глубокой очистки достигается в результате пяти про-

ходов зоны.

3. Полученные результаты показывают принципиальную возможность использования разработанной установки для получения сверхчистых металлов из широкой линейки металлов, получаемых на действующих предприятиях Казахстана.

Библиографический список

1. Даулетбаков Т.С., Досмухамедов Н.К., Меркулова В.П., Жолдасбай Е.Е., Нурлан Г.Б. СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ЗОННОЙ ПЛАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 7. – С. 26-29.

2. Досмухамедов Н. К., Жолдасбай Е. Е., Нурлан Г. Б., Курмансеитов М. Б. /Применение зонной плавки для получения сверхчистой меди: особенности поведения металлов-примесей // Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, 10.17580/tsm.2017.07.06.

УДК 669.715.(043)

ВОЗДЕЙСТВИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЕВОГО МАЛОКРЕМНИСТОГО СИЛУМИНА

Прудников В.А., Юркина М.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

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

В работе исследовано комплексное воздействие предварительного электролитического наводороживания и температуры старения на линейное расширение поршня из малокремнистого силумина АК5М7 с. Показано, что для снижения линейного расширения поршней средненагруженных двигателей из сплава АК5М7 можно рекомендовать следующий режим обработки электролитическое наводороживание и старение при 250 °С в течение 1 ч.

Ключевые слова: сплав, доэвтектический силумин, поршень, старение, температурный коэффициент линейного расширения.

Основными свойствами материалов для поршней двигателей должны быть следующие: 1) низкая плотность; высокая теплопроводность, низкий температурный коэффициент линейного расширения; 4) высокая жаропрочность; хорошие антифрикционные свойства при повышенных температурах и др. Некоторые из этих свойств, например низкая плотность, высокая теплопроводность, высокие жаропрочность, механические свойства при обыч-

ной и повышенной температуре являются критерием, определяющим выбор материала для поршней. Указанным требованиям вполне удовлетворяет ряд алюминиевых сплавов, и в первую очередь, легированные силумины [1,2]. Для улучшения комплекса свойств сплавов используют обработку расплава [3-8], способы деформации и термической обработки, а также их комбинации [9-12]. Использование термической обработки в качестве упрочняющего (Т6) и стабилизирующего (Т1) режимов предусматривает ГОСТ 1583-93 и ГОСТ 30620-98 для литейных и поршневых сплавов [13].

Для среднегруженных двигателей предпочтительнее применять силумины доэвтектического АК5М2, АК5М7 и эвтектического составов (типа АК12) в термообработанном виде. Поэтому целью работы являлось определение комплексного воздействия электролитического наводороживания и температуры старения на тепловое расширение поршневого доэвтектического силумина АК5М7.

В качестве исследуемого материала был взят поршень двигателя внутреннего сгорания бортового автомобиля ГАЗ 2310. Химический состав поршня был определен на квантометре ARL 4460. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Полученные данные показали, что химический состав поршня соответствует составу промышленного сплава АК5М7 по ГОСТ 1583-93. Для исследования были взяты поршни в состоянии поставки.

Таблица 1 – Химический состав поршневого сплава АК5М7

Сплав	Химические элементы, % (вес.)							
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Al
АК5М7	5,9	7,5	0,36	0,62	0,13	0,11	0,91	ост.
АК5М7 (ГОСТ 1583-93)	4,5-6,5	6-8	0,2-0,5	<1,2	<0,5	<0,6	<0,5	ост.

Электролитическое наводороживание проводили в диэлектрической ванне на образцах, вырезанных из поршня, при постоянной плотности тока 0,9-1,2 А/дм² в 20 %-ном растворе серной кислоты в течение 0,5 ч. Старение поршней осуществляли в лабораторных сушильных шкафах типа СНОЛ 3,5.3,5.3,5/3,5-И1. Для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) использовали оптический дилатометр системы Шевенара. Расчет значений истинного ТКЛР образцов проводили методом касательной. Точность метода составляет $0,1 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Образцы из поршня, были подвергнуты электролитическому наводороживанию. и сразу без выдержки проводили старению в интервале температур 100-250 °С в течение 1 часа. Изучение микроструктуры образцов после наводороживания показали отсутствие изменений в структуре образцов из

поршня. Последующее старение приводит к распаду алюминиевого твердого раствора, и чем выше температура старения, тем в большей мере. При этом количество мелких частиц фазы CuAl_2 возрастает.

Результаты определения истинного ТКЛР поршневого сплава после электролитического наводороживания и последующего старения в течение 1 часа при 100, 150, 200 и 250 °С в зависимости от температуры испытания показаны на рисунке 1.

Из данных рисунка 1а видно, что воздействие низкой температуры старения поршневого сплава (100 и 150 °С) на значение истинного ТКЛР носит несущественный характер. Изменение истинного ТКЛР в зависимости от низкотемпературного старения не превышает ~1 % по сравнению со значениями коэффициента образцов без обработки.

При более высоких температурах старения (200, 250 °С) может наблюдаться как повышение, так и снижение значений ТКЛР. Так, после старения при 200 °С величина коэффициента повышается практически во всем температурном интервале в среднем на 1-10 % по сравнению с необработанными образцами (исключение составляет температура 350 °С).

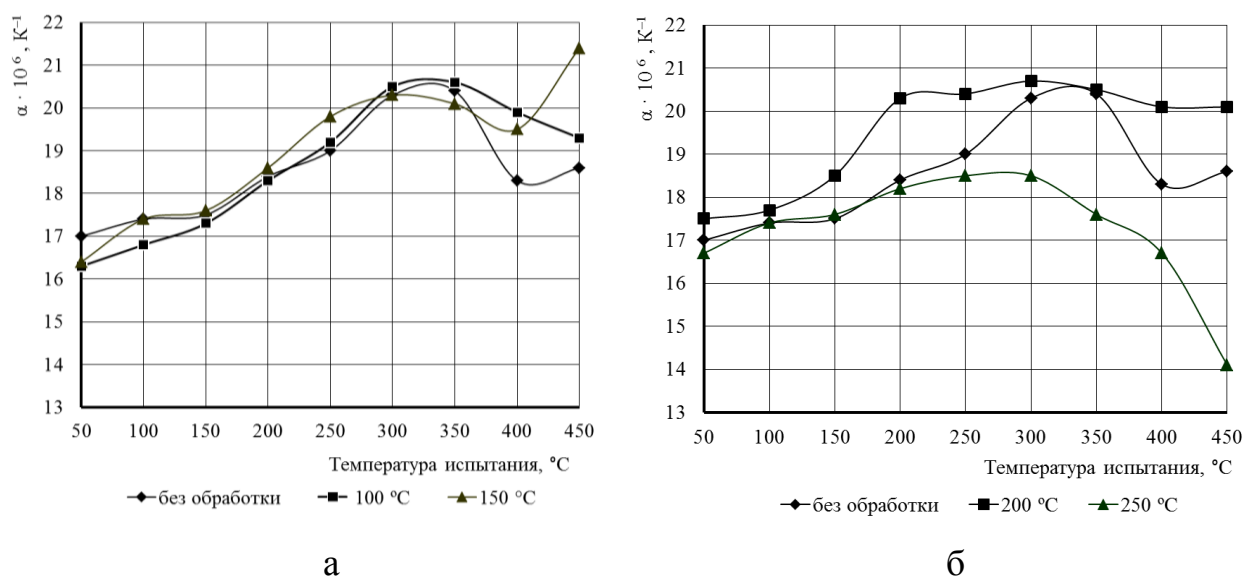


Рисунок 1 – Влияние электролитического наводороживания в течение 0,5 ч и температуры последующего старения (время выдержки 1 ч) на линейное расширение поршня из сплава АК5М7, температура старения: а – 100, 150 °С; б – 200, 250 °С

Однако повышение температуры старения поршневого силумина приводит к снижению ТКЛР на 1-20 % в интервале температур от 200 до 450°С (рисунок 1 б).

Диаграмма влияния температуры старения на величину ТКЛР наводороженных образцов из поршневого сплава АК5М7 по интервалам температур испытания 50-150, 150-300 и 300-450 °С приведена на рисунке 2. Данные

диаграммы показывают, что старение при 250 °С в течение 1 ч снижает средний ТКЛР во всех интервалах низко-, средне- и высокотемпературном на 0,6; 3,5; и 14 % по сравнению с силумином без обработки.

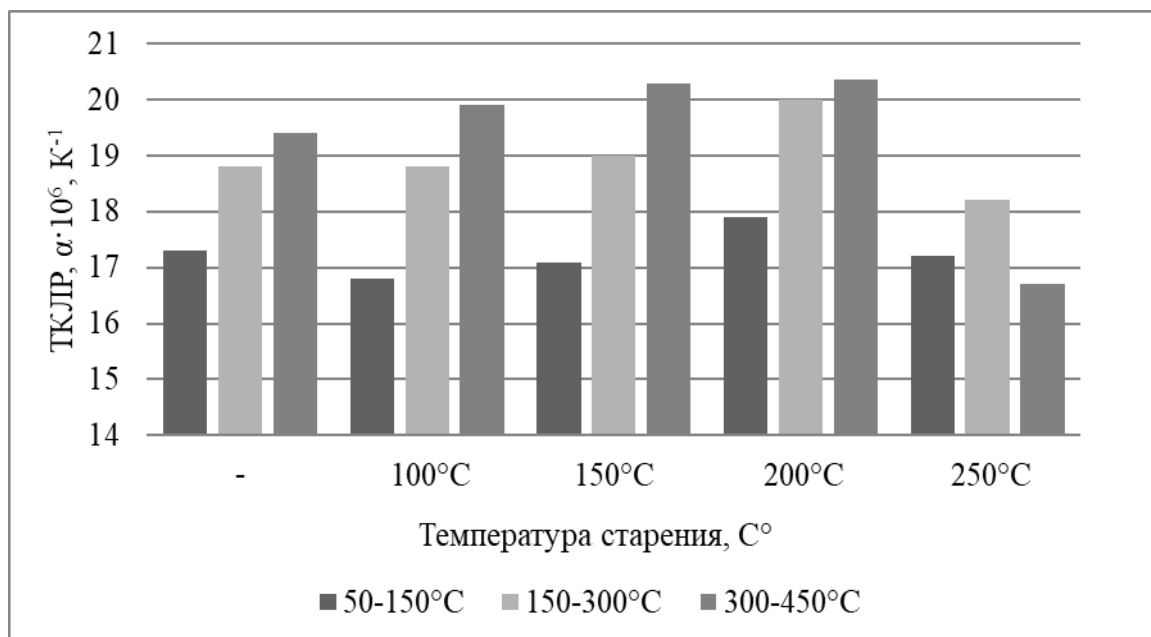


Рисунок 2 – Диаграмма влияния температуры старения (выдержка 1 ч) на ТКЛР наводороженных образцов из поршневого сплава АК5М7 по температурным интервалам

С учетом рабочих температур средненагруженных двигателей для поршней из сплава АК5М7 в качестве режима обработки можно рекомендовать наводороживание и старение при 250 °С. Для интервала температур 150-300 °С после старения при 250 °С величина среднего ТКЛР составляет $18,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, что ниже на 3,5 % чем у сплава без обработки.

Таким образом, в качестве обработки для снижения линейного расширения поршня среднегруженных двигателей из медистого малокремнистого силумина АК5М7 можно рекомендовать наводороживание и старение при 250°С в течение 1 ч. Такой режим обработки позволяет снизить ТКЛР поршня в среднем на 0,6-14 % в интервале 50-450 °С.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – М.: Металлургия, 1977. – 271 с.
2. Прудников А.Н. Структурно–технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.
3. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons / A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009. – Т. 39. – № 6. – С. 456-459.
4. Ganiger B.M. The effect of modification of primary silicon on the micro-

structure, mechanical and siling wear behavior of commercial LM–29 cast alloy // Ganiger B.M. Chandrashekharaiyah, T.B. Prasad // American Journal of Materials Science. – 2015.– Vol. 5. – №. 3. – P. 1-6.

5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов – 2014. № 2. – С. 8-11.

6. Прудников А.Н. Упрочнение земляных отливок из бинарных заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020.–Т. 7.– № 1-2.– С. 145-150.

7. Huifang H. Theeffect of La–Ce on the growth of the Si phase in the Al–24Si / H. Huifang, L. Huaji, X. Hansong // Spec. Cast. And Nonferrous Alloys. – 2010. – Vol. 30. – № 6. – P. 575-578.

8. Прудников А.Н. Исследование комплексного модифицирования заэвтектических силуминов с содержанием кремния 20...30 % фосфидами и оксидами некоторых металлов // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. – 1995. – №2. – С. 38-41.

9. Прудников А.Н. Термическая обработка поршневых силуминов для снижения их линейного расширения и улучшения эксплуатационных параметров двигателя / А.Н. Прудников // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2004.– № 4.–С. 40-42.

10. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников // Деформация и разрушение материалов. – 2014.– № 2.– С. 14-20.

11. Birol Y. Impact of homogenization on recrystallization of a supersaturated Al-Mn alloy / Y. Birol // Scfcripta Mater. – 2009.– Vol. 60 – P. 5-8.

12. Прудников А.Н. Совершенствование термической обработки поршневых деформируемых силуминов с добавками фосфора и водорода / А.Н. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009.– № 1.– С. 8-11.

13. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.– 24 с.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Прудников В.А., Зокирова Г.К., Закирова Ш.К.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

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

Изучено влияние деформационной термоциклической обработка (ДТЦО) и последующего отжига на коэрцитивную силу листовых низкоуглеродистых сталей 10 и 20. Показано, что использование ДТЦО повышает величину их коэрцитивной силы на 8-10 % по сравнению с промышленным режимом. Последующий высокий отжиг при 900 °С сталей 10 и 20 позволяет снизить их коэрцитивную силу в 3 и 2 раза соответственно по сравнению с термически необработанными сталями.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, деформационная термоциклическая обработка, отжиг, коэрцитивная сила.

Для внедрения новой техники в промышленное производство требуется использование различных материалов с улучшенными физическими и механическими характеристиками. Традиционные способы упрочняющих технологий часто не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к таким материалам. Такое положение привело к разработке новых или комплексных технологий, основанных на различном сочетании уже известных методов воздействия на структуру и свойства металлов и сплавов. Примером таких технологий является деформационная термоциклическая обработка (ДТЦО), в технологических режимах которой одновременно используются воздействия температуры и деформации [1]. Причем эти воздействия могут проводиться циклически с различным количеством циклов обработки, их частотой и технологическими параметрами цикла обработки. Имеются сведения о ДТЦО, упрочняющей стали, чугуны и алюминиевые сплавы [1-6]. Об использовании таких методов для улучшения электрических, магнитных, тепловых и других физических характеристик различных материалов литературных данных значительно меньше. В качестве примера таких исследований приведены работы авторов [1, 7-8].

В качестве материала исследований были выбраны низкоуглеродистые стали 10сп и 20сп, выплавленные в ОАО «НКМК» (г. Новокузнецк). Химический состав опытных сталей приведен в таблице 1.

Слябы из опытных сталей размером 900×700×500 мм подвергали горячей циклической ковке. Схемаковки представляла собой однопроходную протяжку плоскими бойками. Деформацию слябов проводили в ОАО ЗСМК (г. Новокузнецк) на гидравлическом ковочном прессе усилием 20 МН. Тем-

температура нагрева под ковку составляла 1250 °С, время выдержки сляба в печи перед ковкой – 2 ч Охлаждение поковок осуществляли на воздухе до 200-300 °С. Количество циклов ковки – 10, степень деформации в каждом цикле составляла 6÷8 %. Расчет суммарной степени деформации показал величину 65÷68 %. Значение общего коэффициента уковки ~ 1,90. Средняя высота заготовки после ковки составляла 300÷310 мм. В дальнейшем заготовки были прокатаны на стане 810 по промышленной технологии. Более подробно технологический режим изготовления листа с использованием ДТЦО приведен в работе [9].

Таблица 1 – Химический состав сталей, подвергнутых термоциклической деформации

Сталь	Химический состав, % (вес.)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Fe
10	0,13	0,22	0,42	0,014	0,018	0,04	0,05	0,20	ост.
20	0,19	0,26	0,55	0,013	0,021	0,06	0,03	0,24	ост.

Для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) стальных образцов использовали высокотемпературный дилатометр DIL 402С с погрешностью измерения $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Определение коэрцитивной силы проводили на приборе КИФМ-1 на листовых образцах толщиной 3 мм и размером 90×120 мм. Погрешность измерения составляла 4 А/м.

Одним из важнейших свойств магнитно-мягких материалов является величина коэрцитивной силы. Поэтому в работе была определена ее величина для горячекатаных сталей 10 и 20, изготовленных по промышленному режиму прокатки и с термоциклической ковкой. Результаты измерения коэрцитивной силы стальных образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Величина коэрцитивной силы сталей, изготовленных по промышленной технологии и с применением термоциклической деформации

Технология изготовления стали	Коэрцитивная сила, H_c , А/м для сталей	
	10	20
промышленная	214	249
с ДТЦО	232	274

Повышение коэрцитивной силы за счет использования режимов ДТЦО листовых сталей на 10 % можно объяснить измельчением зерен феррита и перлитных колоний, ориентированных вдоль направления прокатки. Такие изменения приводят к увеличению протяженности границ зерен в структуре листовой стали.

В дальнейшем было исследовано влияние температуры отжига на ко-

эрцитивную силу листовых сталей 10 и 20 (толщина образцов 3 мм), подвергнутых предварительной термоциклической ковке. Температуру нагрева изменяли от 100 до 900 через 100 °С, а время выдержки при каждой температуре составляло 10 ч. Результаты исследований приведены на рисунке 1

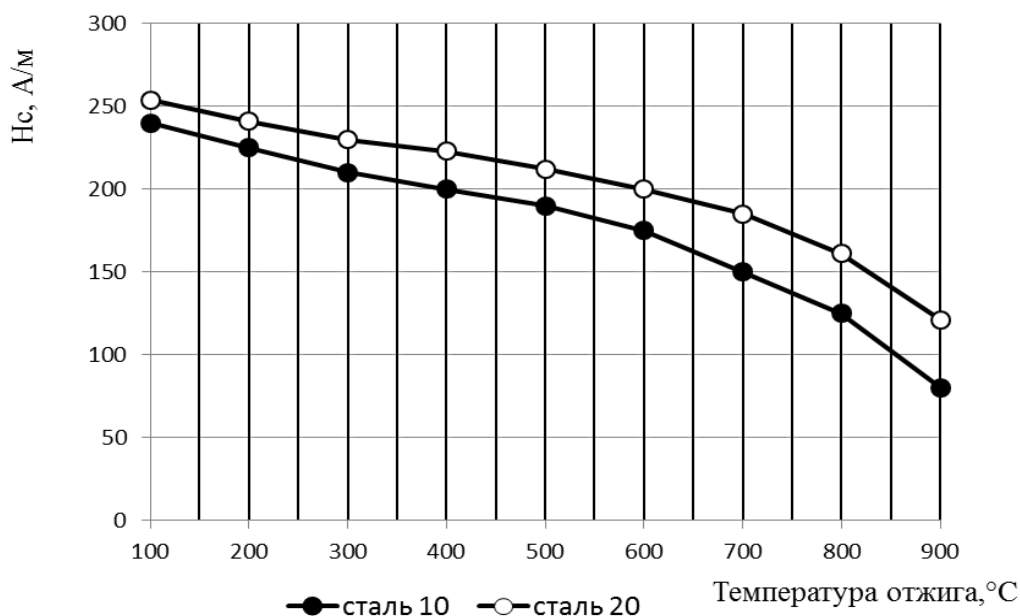


Рисунок 1 – Влияние температуры нагрева (выдержка 10 ч) с охлаждением в печи на коэрцитивную силу листовой стали 10 и 20, изготовленных с использованием ДТЦО

Установлено, что увеличение температуры отжига приводит к последовательному снижению величины коэрцитивной силы как стали 10, так и стали 20 (рисунок 1). Причем эффективность нагрева для одной и другой стали практически одинакова, что, по-видимому, связано с небольшой разницей по химическому составу. Однако после отжига при высоких температурах 800, 900 °С разница в значениях коэрцитивной силы стали 10 и 20 увеличивается более чем в два раза.

Наиболее интенсивно снижение начинается от температуры отжига 600 °С. Минимальное значение коэрцитивной силы соответствует отжигу при 900 °С и составляет 83 А/м для стали 10 и 121 А/м для стали 20. что почти в 3 и 2 раза ниже, чем у соответствующих образцов без термической обработки. По-видимому, снижение величины коэрцитивной силы листовой стали, изготовленной с использованием ДТЦО, с увеличением температуры отжига объясняется общим снижением уровня дефектов кристаллического строения и напряжений, значительным ростом зерна феррита и некоторым уменьшением объемной доли перлитных колоний.

Таким образом, использование ДТЦО для изготовления листа из сталей 10 и 20 повышает величину их коэрцитивной силы на 8-10 % по сравнению с промышленным режимом. Последующий высокий отжиг 900 °С в течение 10 ч листовых сталей 10 и 20, изготовленных с использованием тер-

моциклическойковки, позволяет снизить их коэрцитивную силу в 3 и 2 раза соответственно по сравнению с термически необработанными сталями.

Библиографический список

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский – Л. Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.– 255 с.
2. Prudnikov A.N. Influence of Thermal-Cyclic Deformation and Hardening Heat Treatment on the Structure and Properties of Steel 10 // A.N. Prudnikov, V.A. Prudnikov // Applied Mechanics and Materials. – 2015.– Vol. 788. – pp. 187-193.
3. Патент 20130084 РФ Способ термоциклической обработки чугуна / В.К. Афанасьев, Н.В. Чибряков, А.Н. Прудников и др. – Заявл. 07.07.1998. – Оpubл. 10.05.1999. – Б. И. № 13. – С. 455.
4. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжига и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов.– 2014.– № 2.–С.14-20.
5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8-11.
6. Прудников А.Н. Исследование термоциклической деформации для получения полуфабрикатов из заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников, В.А. Прудников / Сб. материалов XIX Межд. научн.-практ. конф. «Металлургия: технология, инновации, качество» – 15-16 ноября 2015 г. – Новокузнецк, СибГИУ, 2015. – С. 15-18.
7. Прудников А.Н. Влияние термоциклическойковки и последующего отжига на коэрцитивную силу и линейное расширение стали 10 / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении: – 2016.– № 3.– С. 451-456.
8. Prudnikov A.N. Thermocyclic deformation, annealing, and physical properties of low-carbon steel 10 / A.N. Prudnikov, V.A. Prudnikov, A.R Fastykovskii, A.A Umansky // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2020.–Vol. 866.– p. 5.
9. Прудников А.Н. Оценка структуры, свойств и загрязненности неметаллическими включениями деформационно-термоциклически обработанной стали 10 / А.Н. Прудников, В.А. Прудников, Е.В. Богонос / Сб. материалов XIX Межд. научн.-практ. конф. «Металлургия: технология, инновации, качество» – 15-16 ноября 2015 г. – Новокузнецк, СибГИУ, 2015. – С. 35-39.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЛИТКОВ ИЗ СИЛУМИНОВ С 15 И 20 % Si

Рексиус В.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

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

В работе исследовано влияние условий кристаллизации на структуру и механические свойства заэвтектических силуминов. Показано, что способ кристаллизации с подстуживанием расплава до температур интервала кристаллизации и последующего охлаждения в воду позволяет повысить механические свойства слитков из заэвтектических силуминов с 15 и 20 % Si в 2 и 3 раза соответственно по сравнению со сплавами, залитыми по обычному способу.

Ключевые слова: сплав, заэвтектический силумин, кристаллизация, структура, кристаллы первичного кремния.

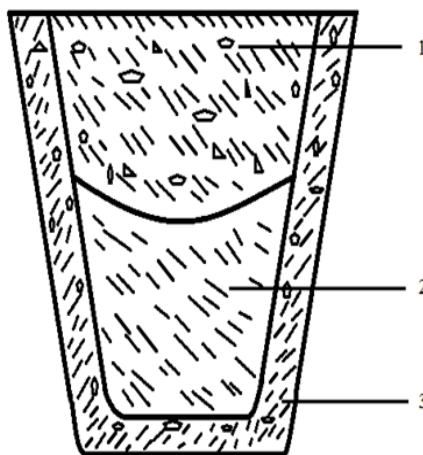
Для улучшения структуры и свойств силуминов применяют обработку шихты, расплава и изменения условий кристаллизации. Особенно актуально использование этих способов для заэвтектических силуминов. Это связано с наличием в их структуре довольно крупных кристаллов первичного кремния (КПК), которые значительно снижают механические характеристики заэвтектических силуминов, не позволяя проводить их обработку давлением в промышленных условиях. Проблеме модифицирования силуминов посвящено значительное количество публикаций и предложен ряд эффективных модификаторов и способов обработки расплава, существенно снижающих размеры выделений первичного и эвтектического кремния в их структуре [1-7]. Работ, посвященных воздействию обработки шихты и изменению параметров кристаллизации слитков и отливок, значительно меньше [8-11]. Поэтому целью работы являлось изучение формирования структуры слитков заэвтектических силуминов в различных условиях его охлаждения.

Для приготовления расплава из заэвтектических силуминов использовали электрическую печь сопротивления вертикального типа с карбидокремниевыми нагревателями. Заэвтектические силумины готовили на технически чистых алюминии А7 и кремнии Кр1. Расплав заливали в холодный алюминиевый кокиль сечением 60×60 и высотой 250 мм. Измерение температуры проводили с помощью термопары Х-А путем погружения ее в расплав. Для изготовления металлографических образцов вырезали поперечные темплеты на высоте не менее 10 мм от дна слитка.

Металлографический анализ образцов из слитка сплава Al-20 % Si показал наличие в его центральной зоне значительных по объему участков мо-

дифицированной эвтектики и меньшее количество КПК [10]. Повышение скорости охлаждения расплава при кристаллизации приводит к увеличению объемной доли этих участков. Использование режима охлаждения расплава, залитого в кокиль, на воздухе (подстуживание) до определенной температуры (500-600 °С) с последующим охлаждением слитка при более высокой скорости (в воде) позволило получить в центральной части зону с эвтектической структурой. Площадь этой зоны составляет более половины площади поперечного сечения слитка. Измерение размеров выделений эвтектического кремния в этой зоне показало, что их диаметр составляет менее 1 мкм. На размеры и объем эвтектической зоны влияют условия выплавки, обработки и кристаллизации сплава. В зависимости от этих параметров эвтектическая зона может занимать от 0,3 до 0,8 площади поперечного сечения слитка. Отмечается уменьшение содержания кремния в эвтектической зоне в среднем от 16 до 19 % (вес.) по сравнению с шихтовым составом сплава. В краевой зоне слитка наблюдается структура, обычная для кристаллизации силуминов с 20 % кремния в кокиль, содержание кремния составляет 20-21 %.

Строение слитка, полученного при использовании данного способа для сплава Al-20 % Si, показано на рисунке 1.



1 – прибыльная зона; 2 – центральная зона; 3 – краевая зона

Рисунок 1 – Строение слитка из сплава Al-20 % Si, изготовленного с подстуживанием и последующим охлаждением в воду

Микроструктура слитка из сплава Al-20 % Si в центральной и краевой зонах приведена на рисунке 2.

Реализация способа отливки слитка с подстуживанием для силумина с 15 % Si приводит к более слабому выявлению центральной эвтектической зоны, чем для силумина с 20 % Si. В этом случае в эвтектической зоне слитка присутствуют отдельно расположенные КПК, размеры которых изменяются от 20 до 50 мкм, что меньше чем в краевой зоне. Кроме того, в эвтектической зоне присутствует незначительное количество участков α -твердого раствора алюминия.

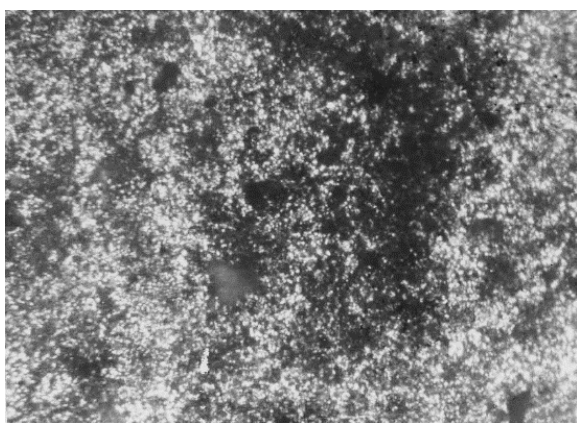


Рисунок 2 – Микроструктура центральной (а) и краевой (б) зон слитка сплава Al-20 % Si, изготовленного с подстуживанием и последующим охлаждением в воду

При увеличении в силумине содержания кремния свыше 20 % Si эффективность использования данного способа снижается и при достижении 30 % центральная зона практически не отличается от краевой за исключением несколько большего измельчения эвтектики (Al+Si) и меньшего размера КПК.

Результаты определения механических свойств силуминов с 15 и 20 % Si в центральной эвтектической и краевой зонах слитков, полученных по приведенному способу, приведены в таблице 1. Для сравнения указаны характеристики этих сплавов после обычной заливки расплава в кокиль.

Таблица 1 – Механические свойства сплавов Al-15 % Si и Al-20 % Si в зависимости от способа кристаллизации и обработки расплава

Сплав и способ кристаллизации	Зона вырезки образцов	Механические свойства	
		σ , МПа	δ , %
Al-15 % Si – опытный способ	краевая	120	1,5
	центральная	247	4,0
	–	124	1,7
Al-20 % Si – опытный способ	краевая	91	1,1
	центральная	287	4,6
	–	95	1,0

Из данных таблицы следует, что применение способа кристаллизации с подстуживанием расплава до температур интервала кристаллизации и последующего охлаждения в воду позволяет повысить механические свойства слитков из заэвтектических силуминов с 15 и 20 % Si в 2 и 3 раза соответственно по сравнению со сплавами, залитыми по обычному способу.

Таким образом, предложен способ кристаллизации заэвтектических силуминов значительно повышающий механические свойства слитков за

счет формирования в его центральной зоне эвтектической структуры.

Библиографический список

1. Prudnikov A.N. Formation of eutectic structure in Al-20% Si alloy during crystallization / A.N. Prudnikov // *Металлургия машиностроения*. – 2009. – № 4 – С. 10-13.

2. Марукович Е.И. Модифицирование сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко. Минск: Беларуская навука, 2009. – 192 с.

3. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.

4. Прудников А.Н. Исследование комплексного модифицирования заэвтектических силуминов с содержанием кремния 20...30 % фосфидами и оксидами некоторых металлов / А.Н. Прудников // *Изв. ВУЗов. Цветная металлургия*. – 1995. – № 2. – С. 38-41.

5. Прудников А.Н. Упрочнение земляных отливок из бинарных заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2020.–Т. 7.– № 1-2.– С. 145-150.

6. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons / A.N. Prudnikov // *Steel in Translation*. – 2009. – Т. 39. – № 6. – С. 456-459.

7. Прудников А.Н. Получение прессованных заготовок из заэвтектического силумина и их свойства / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2018.–Т. 5.– № 1-2.– С. 126-131.

8. Прудников А.Н. Структурная наследственность шихты / А.Н. Прудников // *Технология металлов* – 2014. – № 3. – С. 16-22.

9. Прудников А.Н. Обработка шихтовых материалов для снижения ТКЛР алюминиево-кремниевых сплавов / А.Н. Прудников. – В сб.: *Металлургия на пороге XXI века: достижения и прогнозы. Материалы Всероссийской науч.-практ. конф.* Новокузнецк: СибГИУ, 1999. – С. 172-173.

10. Прудников А.Н. Роль условий кристаллизации в формировании структуры и свойств слитков и поковок из заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников // *Материаловедение*. – 2014. – №1. – С. 10-13.

11. Прудников А.Н. Формирование структуры слитков из заэвтектического силумина при обработке расплава и легировании / А.Н. Прудников // *Металлургия машиностроения*. – 2009. – № 3. – С. 28-31.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЕВОГО СИЛУМИНА АК5М7

Рексиус В.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

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

В работе исследовано влияние температуры старения на линейное расширение поршня из сплава АК5М7 с предварительным электролитическим наводороживанием. Показано, что для снижения линейного расширения поршней средненагруженных двигателей из сплава АК5М7 можно рекомендовать следующий режим обработки электролитическое наводороживание и старение 200-250 °С в течение 3 ч.

Ключевые слова: сплав, доэвтектический силумин, поршень, старение, температурный коэффициент линейного расширения.

Важнейшими свойствами силуминов являются механические характеристики при обычной и повышенной температурах, тепловые (температурный коэффициент линейного расширения, теплоемкость) и технологические свойства. Для улучшения этих свойств сплавов применяют разнообразные способы обработки шихты [1,2], рафинирование и модифицирование расплава [3-8], деформации и термической обработки [9-11]. В литературе сообщается о возможности снижения или стабилизации ТКЛР поршней за счет обработки расплава силуминов порошкообразным карбидом кремния (SiC_4) [1], использования режимов старения [1,11]. Для поршневых сплавов обязательной операцией является окончательная термическая обработка. В соответствии с ГОСТ 1583-93 упрочняющая обработка по режиму Т6 (закалка и последующее старение) либо стабилизирующее старение по режиму Т1 [12].

Для среднегруженных двигателей обычно используют силумины доэвтектического АК5М2, АК5М7 и эвтектического составов (типа АК12). Поэтому целью работы являлось определение совместного влияния электролитического наводороживания и старения на тепловое расширение поршневого доэвтектического силумина АК5М7.

В качестве исследуемого материала использовали поршень двигателя внутреннего сгорания автомобиля «Волга». Поршень двигателя изготавливают из силумина, легированного медью, АК5М7. Химический состав поршня определяли на эмиссионном квантометре ARL 4460. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Полученные данные показали, что химический состав поршня соответствует составу промышленного сплава АК5М7 по ГОСТ 1583-93. Для исследова-

дования были взяты поршни производства Камского моторного завода (г. Набережные Челны) в состоянии поставки.

Таблица 1 – Химический состав поршневого сплава АК5М7

Сплав	Химические элементы, % (вес.)							
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Al
АК5М7	5,1	6,4	0,43	0,71	0,22	0,13	0,21	ост.
АК5М7 (ГОСТ 1583-93)	4,5-6,5	6-8	0,2-0,5	<1,2	<0,5	<0,6	<0,5	ост.

Электролитическое наводороживание проводили на образцах, вырезанных из поршня, при плотности тока $0,9-1,2 \text{ А/дм}^2$ в 20 %-ном растворе серной кислоты в течение 0,5 ч. Старение поршней осуществляли в лабораторных сушильных шкафах типа СНОЛ 3,5.3,5.3,5/3,5-И1. Для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) использовали оптический dilatометр системы Шевенара. Расчет значений истинного ТКЛР образцов проводили методом касательной. Точность метода составляет $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Для проведения микроструктурного анализа использовали оптический металлографический микроскоп ЛабоМет-И1.

Образцы, вырезанные из поршня, были подвергнуты электролитическому наводороживанию в течение 0,5 ч. и сразу без выдержки проводили старению в интервале температур $150-300 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3-х часов. Исследование микроструктуры образцов после наводороживания показали практическое отсутствие изменений в строении и размерах структурных составляющих сплава. При последующем старении с повышением температуры увеличивается количество продуктов распада алюминиевого твердого раствора, в частности выделений частиц фазы CuAl_2 .

Результаты определения истинного ТКЛР поршневого сплава после электролитического наводороживания и последующего старения в течение 3-х часов в зависимости от температуры старения приведены в таблице 2, а диаграмма влияния ТКЛР по интервалам температур испытания $50-150$, $150-300$ и $300-450 \text{ }^\circ\text{C}$ приведена на рисунке 1.

Из анализа полученных результатов видно, что воздействие температуры старения поршневого сплава на значение истинного ТКЛР носит неоднозначный характер. В зависимости от температуры старения может наблюдаться как повышение, так и снижение значений ТКЛР для разных температур испытания при низкотемпературном старении 150 и 200°C . При более высоких температурах старения (250 , $300 \text{ }^\circ\text{C}$) значения ТКЛР снижаются при всех исследуемых температурах в среднем на 1-4 % по сравнению с линейным расширением сплава без обработки (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние электролитического наводороживания в течение 0,5 ч и температуры последующего старения (время выдержки 3 ч) на линейное расширение поршня из сплава АК5М7

Температура старения	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \times 10^6, \text{град}^{-1}$, при температуре, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
–	15,7	17,6	18,5	19,2	20,2	21,3	20,2	20,6	21,3
150 °С	16,8	17,9	18,9	20,0	20,1	20,7	19,9	20,5	20,8
200 °С	16,7	18,0	18,4	19,4	19,4	19,8	19,5	19,7	20,4
250 °С	15,5	17,4	18,3	19,8	20,1	20,2	19,5	19,5	21,1
300 °С	15,7	17,7	18,3	19,4	19,8	20,2	19,5	19,9	20,4

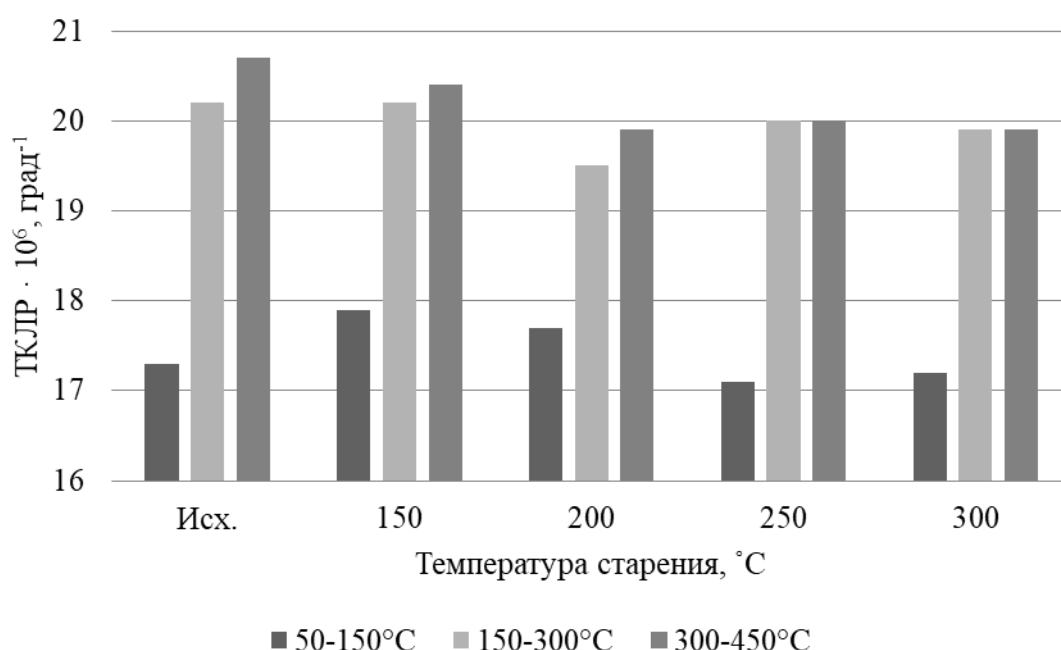


Рисунок 1 – Диаграмма влияния температуры старения (выдержка 3 ч) на ТКЛР наводороженных образцов из поршневого сплава АК5М7 по температурным интервалам

Данные диаграммы (рисунок 1) показывают, что старение при 250 и 300 °С в течение 3-х ч снижает средний ТКЛР во всех интервалах низко-, средне- и высокотемпературном на 1, 1 и 3,5 % и 0,6, 1 и 4 % соответственно по сравнению с силумином без обработки. С учетом рабочих температур средненагруженных двигателей для поршней из сплава АК5М7 в качестве режима обработки можно рекомендовать наводороживание и старение при 200-250 °С. Для интервала температур 150-300 °С после старения при 200 °С величина среднего ТКЛР составляет $19,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, что ниже на 3,5 % чем у сплава без обработки.

Таким образом, в качестве обработки для снижения линейного расширения поршня среднегруженных двигателей из силумина АК5М7 можно рекомендовать наводороживания и старение при 200-250°C в течение 3 ч. Такой режим обработки позволяет снизить ТКЛР поршня в среднем на 1-4 % в интервале 150-450 °С.

Библиографический список

1. Прудников А.Н. Структурно–технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.
2. Прудников А.Н. Структурная наследственность шихты / А.Н. Прудников // Технология металлов – 2014. – № 3. – С. 16-22.
3. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons / A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009. – Т. 39. – № 6. – С. 456-459.
4. Ganiger B.M. The effect of modification of primary silicon on the microstructure, mechanical and siling wear behavior of commercial LM–29 cast alloy // Ganiger B.M. Chandrashekharaiyah, T.B. Prasad // American Journal of Materials Science. – 2015.– Vol. 5. – №. 3. – P. 1-6.
5. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротерберг, Г.Б. Гершман.– М.: Металлургия, 1977. – 271 с.
6. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов – 2014. № 2. – С. 8-11.
7. Huifang H. Theeffect of La–Ce on the growth of the Si phase in the Al–24Si / H. Huifang, L. Huaji, X. Hansong // Spec. Cast. And Nonferrous Alloys. – 2010. – Vol. 30. – № 6. – P. 575-578.
8. Прудников А.Н. Упрочнение земляных отливок из бинарных заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020.–Т. 7.– № 1-2.– С. 145-150.
9. Прудников А.Н. Термическая обработка поршневых силуминов для снижения их линейного расширения и улучшения эксплуатационных параметров двигателя / А.Н. Прудников // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2004.– № 4.–С. 40-42.
10. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников // Деформация и разрушение материалов. – 2014.– № 2.– С. 14-20.
11. Прудников А.Н. Совершенствование термической обработки поршневых деформируемых силуминов с добавками фосфора и водорода / А.Н. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009.– № 1.– С. 8-11.
12. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.– 24 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПИТАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОНАСОСА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Коньшев Л.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

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

В статье приводится альтернатива широко распространенному методу определения коэффициента полезного действия насосного агрегата, а также КПД его проточной части.

Ключевые слова: энергетика, ТЭК, энергетическая стратегия, энергоэффективность, питательная вода, насосные агрегаты, питательные насосы.

В июне 2020 года распоряжением Правительства РФ была утверждена энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Она является основным документом стратегического планирования в сфере энергетики, определяющим приоритеты и ключевые направления политики, а также маркеры развития энергетики на долгосрочный период [1]. Среди прочих целей, озвученных Премьер-министром Мишустиним, была обозначена необходимость обеспечения надежности и повышения эффективности работы существующих объектов ТЭК.

Как известно, энергоэффективность любого предприятия обуславливают удельные затраты электроэнергии на единицу производимой продукции. Применимо к объектам энергетики, в частности, к питательным электронасосам – это количество кВт·ч, расходуемых оборудованием на перекачку 1 тонны воды и доведение ее до необходимых параметров (давление, температура) перед котлоагрегатом [2]. Также для оценки состояния находящегося в эксплуатации оборудования необходимо точно определить коэффициент полезного действия насоса.

КПД насосного агрегата представляет собой произведение КПД проточной части и механического КПД:

$$\eta_{н.а.} = \eta_{п.ч.} \cdot \eta_{э.д.}, \quad (1)$$

где $\eta_{п.ч.}$ – КПД проточной части насоса,

$\eta_{э.д.}$ – механический КПД.

В промышленных условиях точное определение механических и объемных потерь затруднено в связи с достаточно малым уровнем этих потерь. Поэтому, как правило, при проведении промышленных испытаний проводится лишь оценка их уровня. Наиболее часто определение КПД насосного агрегата производится через массовый расход, полезную мощность и напор.

Приведенная формула расчета представлена ниже:

$$\eta_{н.а.} = \frac{G_{н.н} \cdot H \cdot (G_{н.н} - G_{гп})}{G_{н.н} \cdot N_{н.н}} \cdot \eta_{э.д.}, \quad (2)$$

где $G_{н.н}$ – массовый расход воды,
 $G_{гп}$ – расход воды через гидропьяту,
 H – полный напор насоса,
 $N_{н.н}$ – мощность на валу насоса,
 $\eta_{э.д.}$ – КПД электродвигателя.

Однако есть и альтернативный метод расчета. Менее громоздким и более точным является так называемый термодинамический метод. Оценить степень несовершенства проточной части и насосного агрегата в целом можно по следующей формуле:

$$\eta_{н.а.} = \frac{v' (p'' - p')}{i'' - i'} \cdot \eta_{э.д.}, \quad (3)$$

где v' – удельный объем жидкости на входе в насос,
 p'' и p' – давления на выходе и входе в насос,
 i'' и i' – энтальпии на выходе и входе в насос.

Как видно из уравнения, для определения КПД насосного агрегата термодинамическим способом достаточно знать давления и температуры питательной воды на всасе и напоре насоса, необходимые для вычисления энтальпий [3], а также КПД электродвигателя (принимается по паспорту). Выражаясь простым языком, несовершенство проточной части насоса определяется нагревом перекачиваемой среды, поскольку мощность, затраченная на этот нагрев (гидравлическое сопротивление, дисковое трение и т.д.), могла бы быть потрачена на увеличение напорных характеристик насоса [4].

Замеры давлений обеспечиваются поверенными штатными манометрами класса точности не ниже 0,6, замер температур производится через специальные термометрические карманы на трубопроводах посредством поверенных контактных термометров и хромель-алюмелевых термопар (ТХА).

К основным преимуществам данного метода можно отнести высокую точность и простоту проведения замеров. Описанную методику рекомендуется взять на вооружение местным службам наладки и испытаний тепломеханического оборудования, а также подрядным организациям, занимающимся проведениями данных испытаний.

Библиографический список

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>, свободный (дата обращения 12.04.2021).
2. Сазанов Б.В. Промышленные тепловые электростанции. – Москва : Издательство Энергия, 1967. – 344 с.

3. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. – Москва : издательство Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.

4. Малюшенко В.В., Михайлов А.К. Насосное оборудование тепловых электростанций. – Москва : Издательство Энергия, 1975. – 280 с.

УДК 331.101.3

ИНСТРУМЕНТЫ РАБОТНИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Койчев Д.Н.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: koi4ev.diman@yandex.ru*

Приводится краткий обзор современных инструментов работника для управления рисками на предприятии.

Ключевые слова: риск, безопасность производственной среды, охрана труда.

Безопасность производственной среды формируется при участии каждого работника. Важнейшей задачей системы охраны труда является обучение персонала идентифицировать, оценивать и справляться с рисками на производстве при помощи известных методик безопасного выполнения работ. Для достижения данной цели руководству необходимо прививать работникам ответственность за собственную безопасность, определяя безопасность как высшую ценность в рамках совместной деятельности. В качестве помощников для сохранения собственного и общего благосостояния при работе на опасном промышленном объекте ниже рассмотрим несколько полезных инструментов, которые следует взять на вооружение каждому работнику.

Умение видеть последствия позволяет определить риски, возникающие в результате действий или бездействия, и необходимость их минимизации. Система охраны труда станет эффективнее, если каждый работник будет отслеживать производственные риски и предупреждать их реализацию. Риск определяется тремя составляющими: Что может пойти не так? Какова вероятность? Каковы последствия? Зачастую выявление опасностей является вопросом обращения внимания на детали ситуации.

Динамическая оценка риска (далее ДОР) – бездокументарная оценка уровня риска, выполняемая в начале и на протяжении каждой производственной операции. Цель ДОР – выявление и предотвращение потенциально небезопасных производственных действий и факторов риска.

Шаги по выполнению ДОР представлены на рисунке 1.

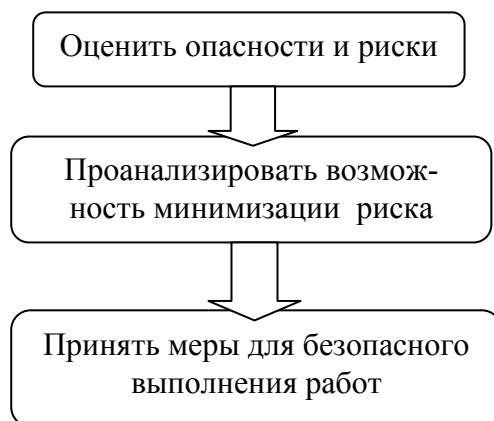


Рисунок 1 – План-схема динамической оценки риска

Пример проведения ДОР: Монтажник работает на лесах высотой 2м от уровня пола.

1) Оценка опасности и риска:

- Могу упасть с высоты в результате выхода из строя страховочной привязи и неаккуратного перемещения по лесам и получить травму;
- Могу уронить инструменты с лесов на коллег, находящихся внизу, и травмировать их; сломать дорогостоящие инструменты;
- В случае обрушения лесов, могу упасть с высоты и попасть под элементы конструкции, получить ушибы, переломы.

2) Анализ возможности минимизации риска:

- Проверить исправность страховочной привязи;
- Убедиться, что установлены ограждения, препятствующие падению, на площадках лесов;
- Складывать инструменты в жестко закрепленные ящики;
- Исключить нахождение смежного персонала установкой ограждений в зонах.

3) Принятие мер для безопасного выполнения работ:

- Все необходимые средства для безопасного производства работ в наличии, и я проверил их исправность;
- Я могу выполнить работу безопасно, необходимости в оформлении отказа от работы нет.

Для безопасности условий трудового процесса также необходимо использовать анализ безопасного выполнения работ (далее АБВР). АБВР – это документально оформленный стандарт безопасного выполнения работ. Обозначенный порядок действий и план работ, учитывающий специфику производства и технику безопасности – обязательный инструмент системы охраны труда и промышленной безопасности.

Применение АБВР:

- Определение факторов риска и способов их минимизации;
- Разработка рабочих инструкций;

- Создание основы для проведения мониторинга за безопасным выполнением работ;
- Стандартизация безопасного выполнения производственных процессов;
- Использование в качестве вспомогательного средства при проведении совещаний по вопросам производственной безопасности, обсуждения рисков перед работой;

Использование в качестве инструмента анализа рисков применительно к новым заданиям, оборудованию или нестандартным производственным процессам.

Более подробно АБВР рассматривается на рисунке 2:

Номер АБВР		Дата составления
Название АБВР: работа, условия		Дата согласования
Краткое описание работ. Что делает работник?		
Кем составлена и согласована АБВР		
Минимальный набор необходимых СИЗ		
Планируемый к применению инструмент, дополнительные материалы		
1. Поэтапное описание работ	2. Опасности и риски на каждом этапе	3. Рекомендуемые действия по минимизации риска
Что делает рабочий?	Что может пойти не так? Каковы последствия?	Что нужно делать, чтобы предотвратить риск?
Отбивка шлака/окалины после сварки	Травма глаз от попадания в глаза механических частиц при зачистке кромки	Отбивать движениями от себя. Надеть защитные очки до начала выполнения работ

Рисунок 2 – Структура АБВР

Международная организация труда (МОТ) еще в 2004 году разработала простейшую программу определения затрат, связанных с несчастными случаями, основанную на теории «айсберга». Она предусматривает расчет дополнительных объемов продаж организации для покрытия издержек, обусловленных случившимися несчастными случаями. По оценкам МОТ, косвенные издержки зачастую значительно превосходят в количественном отношении прямые. Расчеты ущербов от несчастных случаев, проводимые в последние годы в России, показывают, что полный ущерб (прямой и косвенный) в десятки, а иногда и в сотни раз больше затрат на мероприятия по устранению причин, приведших к несчастному случаю.

Следует задать резонный вопрос: каким образом возможно предотвратить большую долю несчастных случаев?

Следующий рассматриваемый инструмент – Право на отказ от выпол-

нения работ. Право на отказ от выполнения работ используется для достижения двух целей: предотвращения происшествий и формирования правильного понимания у каждого работника о его полномочиях и ответственности за собственную безопасность. Отказ оформляется на бланке с указанием выявленных опасностей, рисков и несоответствий требованиям охраны труда и промышленной безопасности. Бланк отказа вручается непосредственному руководителю. Мастер подробно объясняет, как использовать меры контроля выявленного риска рабочему и после этого у рабочего есть четкое знание и ресурсы для безопасного выполнения работ. Если мастеру не хватает квалификации, чтобы устранить риск, то собирается комиссия для обследования рабочего места, составляется акт, риск идентифицируют и заносят в реестр для дальнейших действий по его снижению или устранению.

Факт отказа от выполнения работ не имеет влияния на порядок и размер оплаты труда работника.

Данный инструмент призван кардинально изменить отношение рабочих к охране труда, так как его смысл – предоставление рабочему право контролировать безопасность производственного процесса. Необходимым правилом для применения данной методики является мотивация руководителя. Коллектив должен видеть, что начальство не критикует решение работника остановить производственный процесс для общей безопасности, ставя в ущерб экономическую составляющую, а, напротив, похвалить работника за осторожность и ответственность.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011/ISO/IEC 31010:2009 Менеджмент риска. Методы оценки риска. – Москва : Стандартиформ, 2012.
2. Круи М., Галай Д., Марк Р. Основы риск-менеджмента : пер. с англ. / науч. ред. В. Б. Минасян. – Москва : Юрайт, 2016.

УДК 669.162

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Калягина Е. А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.

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

Проанализирована проблема утилизации прокатной окалины металлургического производства методом брикетирования. Сформулированы условия оптимизации структуры окускованного сырья и рассмотрены спосо-

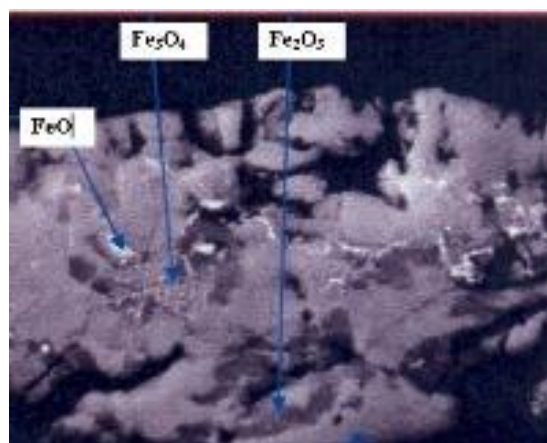
бы получения железосодержащих брикетов с улучшенными металлургическими свойствами. Предложены мероприятия по расширению технологических возможностей процесса брикетирования прокатной окалины.

Ключевые слова: поровая структура, железосодержащие брикеты, металлургические свойства брикетов, окускованное металлургическое сырье.

Образование прокатной окалины связано с процессами термической обработки или обработки металла давлением при высоких температурах на металлургических и машиностроительных предприятиях [1 – 3]. Форма и структура частиц прокатной окалины зависит от множества факторов. На нее влияет скорость нагрева, режим термообработки и ОМД, марки стали, форма заготовки. Для большинства частиц окалины характерна пластинчатость или чешуйчатость размером до 10 мм. На сталепроволочном производстве частицы имеют полукруглые загнутые края. В других технологиях получают пластины с минимальным изгибом. Внешний вид прокатной окалины и ее микроструктура показаны на рисунке 1, а. Минеральная и поровая структура частиц окалины зависит от температуры и состава окисляющей атмосферы (рисунок 1, б). В кислородсодержащей атмосфере при температуре выше 570 °С оксидная пленка состоит из трех слоев. Строение окалины на поверхности проката в основном соответствует правилу последовательности превращений. Сначала к металлу примыкает вюстит, затем располагается магнетит, и на поверхности находится внешний слой - гематит. Вюстит легко растворим в минеральных кислотах, в отличие от магнетита и гематита. Магнетит в меньшей степени растворяется в кислотах. Гематит считается практически нерастворимым соединением.



а



б

а – внешний вид окалины; б – расположение минеральных фаз

Рисунок 1 – Микроструктура железосодержащей окалины прокатного производства

Наружный слой – Fe_2O_3 прочно связан со средним, имеющим состав и кристаллическую структуру магнетита. Внутренний слой – вюстит, характе-

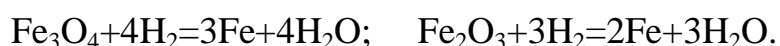
ризуется повышенной рыхлостью и пористостью. Контакт внутреннего и среднего слоев непрочный. Поэтому, оксидная пленка легко отслаивается при механической обработке. Гематит и магнетит являются достаточно плотными структурами и прочно соединены друг с другом через промежуточную структуру. Слой вюститита является более пористым, его соединения, как с металлом, так и с магнетитом непрочны. Диффузионная проницаемость магнетита и гематита по сравнению с вюститом незначительна. Все это предопределяет их лучшее защитное действие против вторичного окисления металла после удаления окалины.

При температуре ниже 570 °С закисная фаза становится неустойчивой и распадается по реакции:



Поэтому, в данном случае оксидная пленка, практически состоит из магнетита и гематита.

Восстановление полученной оксидной пленки может происходить по реакциям:



Восстановленный слой состоит из практически чистого железа.

Зависимость скорости превращения оксидов железа от температуры представлена на рисунке 2.

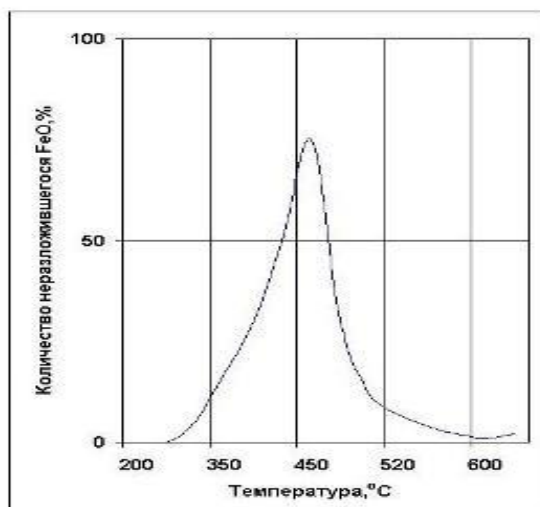


Рисунок 2 – Зависимость скорости превращения оксидов железа от температуры

Трехслойное образование железной окалины получается при температуре выше 570 оС и при высоком содержании кислорода, а также при быстром охлаждении. В других условиях образуется двухслойная или однослойная железная окалина. Если окисление железа проходит при температуре меньше 570 оС, то слой вюститита образуется в виде очень тонкой пленки под слоем окалины, которая состоит из магнетита и гематита. Чем ниже темпера-

тура, тем тоньше слой вюстита. Если процесс окисления происходит при температуре 700 оС, то толщина слоя вюстита будет 100 мкм, слоя магнетита 10 мкм, а гематита - 1 мкм. Если окалина образуется при низком содержании кислорода и высоком содержании водяного пара или оксидов углерода, особенно при температуре свыше 1000 оС, то в составе окалина не обнаруживают гематита, так как он восстанавливается.

Структура железной окалина, получающейся в промышленных условиях всегда более сложная. Это связано с влиянием различных легирующих элементов, находящихся в стали, неравномерностью состава стали и особенностями производства металла.

Окалина является товарным продуктом и ее используют как сырьё для производства железного порошка в процессах восстановления кипящего слоя, в конвертерном процессе, для получения первичного металла в металлургических технологиях [4]. Отпускная цена окалина колеблется от 2000 до 4000 руб/т. Химический состав окалина различается в зависимости от марки стали и технологии обработки. Химический состав окалина арматурного производства представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав окалина

Fe _{общ}	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
61,0-72,49	0,22-2,70	≤2,02	≤0,40	0,17-4,07
MnO	C	S	P	Ni
0,03-0,86	0,3-4,1	0,011-0,12	0,007-0,03	0,025-0,05

На рисунке 3 показана схема металлургического производства, в которую включена технология окускования металлосодержащих отходов путем производства железосодержащих брикетов [1].

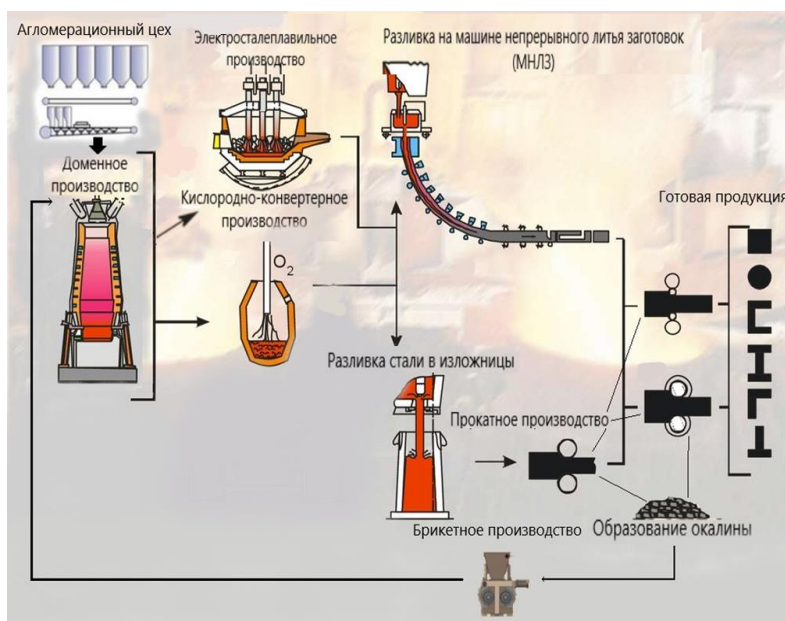


Рисунок 3 – Схема металлургического производства

В работе выполнен анализ технологических операций брикетирования железосодержащей окалины на предмет усовершенствования технологического процесса окускования сырья. Анализ выполнен на основе известных литературных и патентных технических решений и собственных разработок автора [2, 3]. Наименование технологических операций брикетирования и предлагаемые технические решения приведены в таблице 2.

Наиболее сложная схема подготовки сырья и брикетирования массы применяется для замасленной окалины. Удаление влаги и масла можно организовать на территории склада, используя разного типа загустители и порошки, частичную подачу порошкового связующего, портландцемента, извести, жидкого стекла и чистой окалины.

Таблица 2 – Предлагаемые технические решения в технологии брикетирования прокатной окалины

Технологические операции	Предлагаемые технические решения в технологии брикетирования окалины	
	чистой	влажной и замасленной
1.Складирование сырья	Организовать первичное измельчение	Совместить с подсушкой и удалением масла
2.Удаление масла и воды	Отсутствуют	Использовать загустители и порошки. Смешивание с чистой окалиной. Организовать частичную подачу связующего.
3. Измельчение	Применить интенсификаторы измельчения	Применить интенсификаторы измельчения
4. Подготовка компонентов	Исключить слеживаемость порошков и расслоение композитов	Организовать полное высушивание компонентов
5.Дозирование компонентов	Исключить зависание массы	Исключить зависание массы
6.Транспортировка шихтовой смеси	Совместить с увлажнением и смешиванием	Совместить с увлажнением и смешиванием
7.Смешивание компонентов смеси	Совместить транспортировку и увлажнение	Совместить транспортировку и увлажнение
8. Увлажнение массы	Совместить транспортировку с смешиванием	Совместить транспортировку и смешивание
9. Брикетирование массы	Совместить с увлажнением и смешиванием	Совместить с увлажнением и смешиванием
10. Сушка и вылеживание брикетов	Традиционные способы десорбции	Традиционные способы десорбции
11.Охлаждение брикетов	Продувка слоя сжатым воздухом. Использование струйных методов. Утилизация теплоты нагретых брикетов.	Продувка слоя сжатым воздухом. Использование струйных методов. Утилизация теплоты нагретых брикетов.

На участке складирования можно применять поверхностно-активные поглотители и коагулянты. Одновременно с удалением влаги происходит отверждение массы, которое благоприятно воздействует на процесс измельчения прокатной окалины в дисковой мельнице. Измельчение сырья до крупности 50-150 мкм осуществляют на стандартном оборудовании.

На стадии подготовки сырья следует исключить слеживаемость сыпучих порошков и расслоение жидких композитов. Для этого целесообразно использовать различные механические активаторы. В ходе дозировки компонентов важным является предотвращение зависания массы внутри бункера-дозатора. Для этого используют современную вибротехнику [5].

Достаточно реальным методом сокращения числа технологических операций и расширения технологических возможностей существующих является организация увлажнения и смешивания компонентов брикетируемой массы непосредственно на транспортной ленте в ходе транспортировки массы к брикетному прессу. Эта технология достаточно хорошо отработана в технике подготовки железорудного сырья к металлургической плавке [6]. Наличие производственных площадей и рабочего пространства позволяет установить дополнительное технологическое оборудование непосредственно над конвейерной лентой. В собственном процессе брикетирования можно использовать устройства для дополнительного перемешивания компонентов и увлажнения массы, совместив все элементы в загрузочном блоке. Для сушки и вылеживания брикетов можно использовать традиционные способы десорбции [5, 6]. Охлаждение брикетов применяют для термических методов брикетирования. Охлаждение окускованного продукта можно организовать продувкой слоя сжатым воздухом на колосниковой решетке. Также можно использовать струйные методы термообработки в тонком слое брикетов [2, 6]. При этом целесообразна утилизация теплоты нагретых брикетов и использование ее для целей высушивания, рассмотренных выше.

Библиографический список

1. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010.– 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
4. Патент № 2698000 Российская Федерация, МКИ⁸ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2019117140/02. Заявл. 03.06.2019; Оpubл. 21.08.2019. Бюл. №24 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – № 24.
5. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
6. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрега-

тов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

УДК 669.162

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ ОКАЛИНЫ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Куликов Д.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.

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

Проанализирована проблема утилизации и последующего окускования прокатной окалины сталепроволочного производства методом брикетирования. Сформулированы условия оптимизации структуры и предложены способы получения железосодержащих брикетов с улучшенными металлургическими свойствами.

Ключевые слова: поровая структура, окалиносодержащие брикеты, металлургические свойства брикетов, окускованное металлургическое сырье.

Железосодержащие отходы металлургических предприятий являются ценным вторичным сырьем и широко используются в технологиях рециклинга и подготовки сырья к металлургической плавке [1 – 4]. К этим отходам относятся шламы и просыпи газоочисток, конвейерных лент, систем гидросмыва, металловключения в шлаке, прокатная окалина (рисунок 1). По химическому составу окалина близка к чистому магнетиту (65 – 72 % Fe), а по гранулометрическому составу представлена в основном продолговатыми частицами фракции менее 0,2 мм и имеет синевато-чёрный цвет. Это достаточно хрупкий материал, способный измельчаться с минимальными энергозатратами.

Установка для удаления окалины изгибом служит для удаления окалины с катанки и подготовки ее к процессу волочения или прокатки (рисунок 2). Машина оснащена направляющим механизмом из пяти роликов (направляющие ролики имеют диаметр 72 мм). Ролики изготовлены из твердосплавного металла и каждый регулируются по отдельности. Ролики дробильно-гибочной установки со вставками из твердосплавного металла расположены таким образом, чтобы удаление окалины с катаной проволоки выполнялось на трех уровнях. Весь механизм удаления окалины размещен в закрытом корпусе, выполненном из прочной сварной конструкции.

Окисленная проволока проходит через установку и подвергается небольшому изгибу в разных плоскостях (рисунок 3). Пластичный металл легко деформируется. Хрупкая окалина при этом отслаивается и практически полностью удаляется.

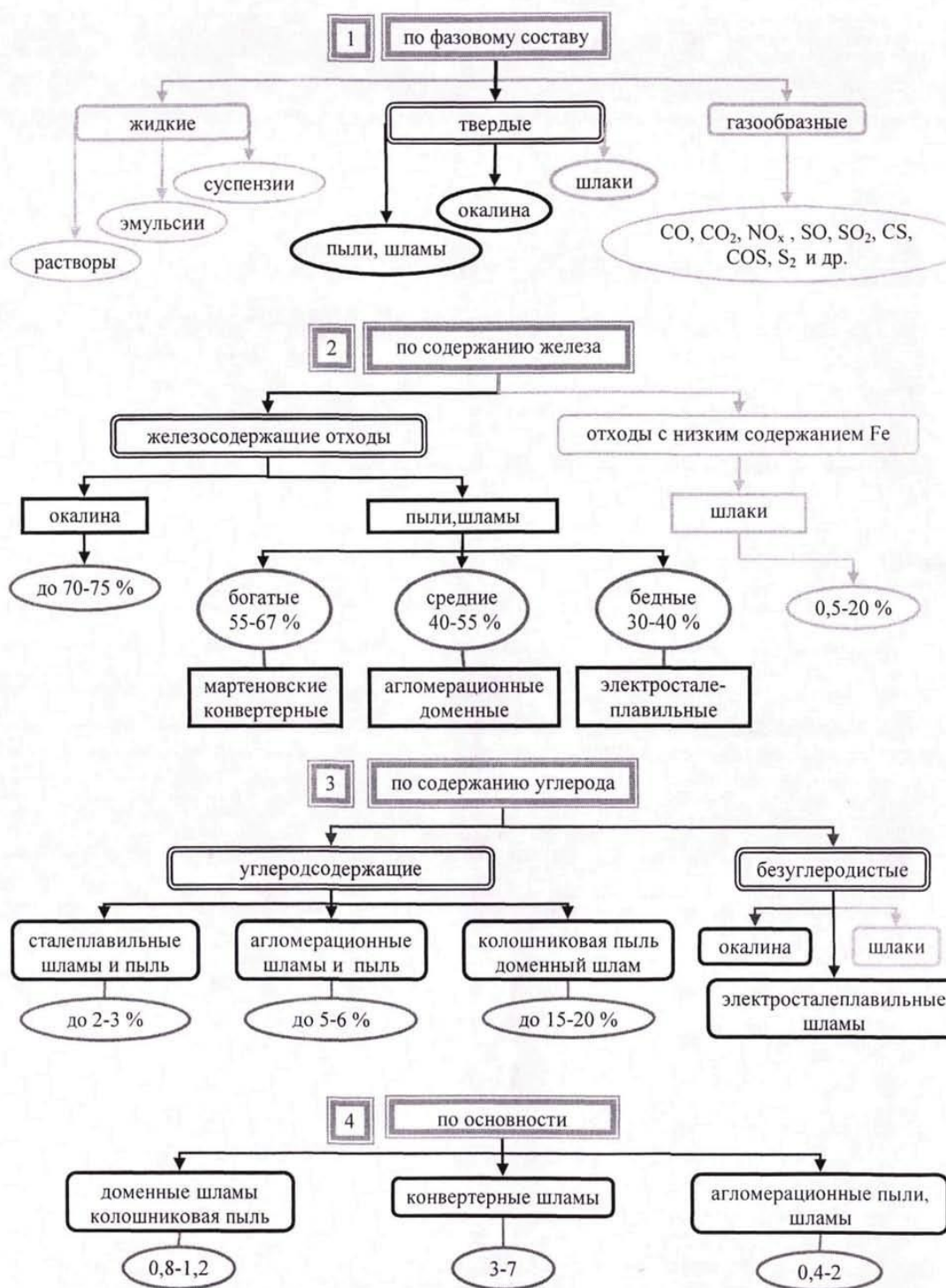


Рисунок 1 – Классификация отходов черной металлургии

Окалина с рабочих площадок волочильных станов ссыпается на виброконвейер. Затем по конвейеру передаётся в коробка для сбора материала грузоподъемностью 4500 – 8500 кг и отправляется на переработку. Окалина в сталепрокатном производстве полностью сухая и не имеет следов масла. По всем параметрам ее можно использовать в качестве основного сырья для производства железосодержащих брикетов.



Рисунок 2 – Технологические операции формирования окалины

Процесс механического удаления окалины (рисунок 3) является технически более совершенным по сравнению с кислотным травлением. При нем выше культура производства, более лучшие условия труда, выше производительность и экономические характеристики. Но главное достоинство этой технологии заключается в том, что при подготовке к утилизации не требуется очистка окалины от кислоты.

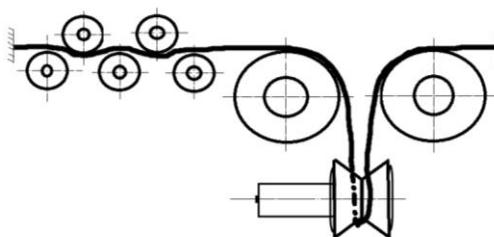


Рисунок 3 – Схема механического удаления окалины

В состав брикетируемой массы входят порообразующие, связующие, упрочняющие, топливные и другие добавки. Одним из важнейших компонентов брикетируемой массы является связующая добавка. К связующим для производства металлургических брикетов предъявляются многочисленные требования [2, 3]. Основные критерии для выбора связующего приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные критерии выбора связующего

№ п/п	Критерии выбора связующего
1	Внесение в состав брикета минимального количества вредных и агрессивных химических элементов и примесей, способных снизить металлургическую ценность готового продукта

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Критерии выбора связующего
2	Способность связующего при минимальном расходе обеспечивать требуемую механическую прочность брикета
3	Способность связующего обеспечивать «горячую» прочность брикетов
4	Способность связующего обеспечивать атмосферостойчивость брикетов, позволяющую транспортировать готовую продукцию на значительные расстояния в открытых полувагонах
5	Способность связующего упрочнять массу при невысоких (до 50 ⁰ С) температурах в отсутствии сушки и обжига
6	Связующее не должно быть дорогим и дефицитным материалом
7	Экономическая целесообразность применения связующего

В качестве связующего для производства брикетов использовали жидкое стекло. Жидкое стекло представляет собой водный раствор силиката натрия (или калия), который после затвердевания обеспечивает высокую влагостойкость и термическую прочность (до 900-950 °С) брикетов. Выбор связующего определяется его доступностью и распространенностью, отсутствием возможного отрицательного влияния на ход технологического процесса, наличием примесей, способных ухудшить качество конечного продукта (таблица 1). Известно, что брикеты на жидком стекле из различных рудных, топливных и минеральных материалов были с положительным результатом испытаны в доменном, сталеплавильном, ферросплавном и в некоторых других металлургических и машиностроительных производствах [3, 4]. Растворимое стекло не вносит примесей, так как оксид натрия и диоксид кремния содержатся практически во всех рудных материалах.

Для формирования улучшенной реакционной структуры брикетов использовали порообразующие добавки (ПД) растительного происхождения. Роль этих добавок заключается в придании брикету проницаемой поровой структуры и в формировании открытых пор.. После брикетирования прессовки должны содержать некоторое количество открытых пористых каналов, снижающих прочность брикетов в минимальной степени. Во время термообработки брикетов растительные частицы сгорают, выделяя определенное количество тепла, и формируют внутренний источник тепловыделения. При этом образуются сквозные проницаемые каналы в теле брикета, по которым в процессе восстановления оксидов газ-восстановитель диффундирует от поверхности к центру брикета. В результате прогнозируется повышение степени восстановления брикетов в ходе восстановительно-термической обработки. Методика формирования реакционной структуры окускованного сырья порообразующими добавками известна из литературных источников [3, 4]. В качестве порообразующего материала использовали частицы растительного происхождения, являющиеся отходами сельхозпроизводства (измельченные стеблевые отходы злаковых культур) [5].

Измельчение прокатной окалины проводили в печной лаборатории

БТЛ кафедры ТЭ и Э СибГИУ на помольном агрегате ПМ-60. Как видно из таблицы 2 механически измельченная прокатная окалина сталепроволочного производства имеет полидисперсный состав. После измельчения основную массу составляют частицы размером менее 0,2 мм.

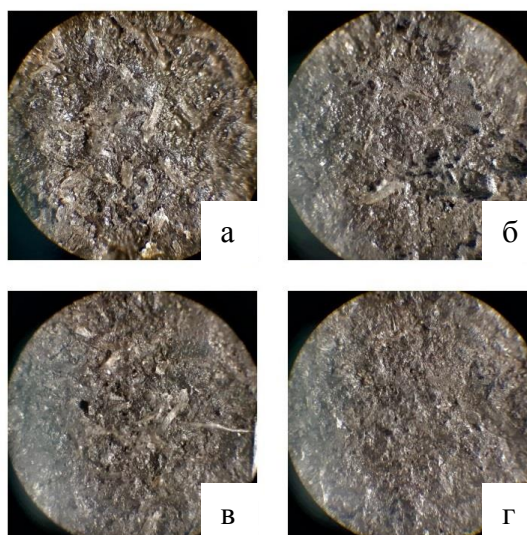
Таблица 2 – Фракционный состав измельченной прокатной окалины на дисковой мельнице

$d_{ч}$, мм	0 – 0,063	0,063 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 1,0
Содержание, %	23,05	26,85	30,92	19,16

Частицы такого состава являются идеальным материалом для брикетирования массы после дробления на дисковой мельнице.

Зависимость прочности брикетов различного минерального состава после естественной сушки (длительность 24 часа) от количества жидкого стекла показывает, что достижение стандартной прочности сырья (более 40 МПа) можно получить при массе жидкого стекла, равной 9 – 10 %. При наличии порообразующих добавок растительного происхождения (0,5 – 1,5 %) для достижения необходимой прочности брикетов количество связующего необходимо увеличить до 11 – 12 %. Эти результаты во многом коррелируют с опытными данными, полученными в известных металлургических технологиях [3, 4], в которых используется это связующее. После естественной сушки брикеты соответствуют требованиям ГОСТ 24765 – 81, механическая прочность на сжатие которых составляет 40 – 60 МПа.

Исследование макроструктуры окалиносодержащих брикетов, содержащих порообразующие добавки (рисунок 4 а, в), показало, что частицы имеют достаточно плотную упаковку, а поры относительно равномерно распределены по сечению прессовки.



а, б – периферийные зоны; в, г – центральные зоны брикета

Рисунок 4 – Микроструктура шлифа брикета, обожжённого при $t = 800^{\circ}\text{C}$ (длительность обжига 20 минут, увеличение 120^{\times})

Выполненные исследования позволили ограничить содержание поробразующих добавок значением 0,5 – 1,0 %. В этом интервале содержания ПД не происходит резкого снижения прочности брикетов и формируются проницаемые поровые каналы, позволяющие увеличить реакционную способность брикетируемого сырья на всех этапах технологии.

Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
4. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Патент № 2679853 Российская Федерация, МКИ⁸ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2018120246/02. Заявл. 31.05.2018; Оpubл. 13.02.2019. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – № 2.

УДК 669.162

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМОВ ГАЗООЧИСТОК СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гефлинг В.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.

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

Проведена оценка применения железосодержащих шламов в производстве окускованного продукта. Представлен ряд перспективных технологий с использованием железосодержащих шламов.

Ключевые слова: железосодержащие отходы, пути переработки, промышленное производство, потребительские свойства, перспективы использования отходов в металлургии, агломерат, окатыши, брикетирование сырья.

Шихты в чёрной металлургии, в частности, в доменном процессе содержат топливо, флюсы, рудную мелочь и окускованное сырьё [1 – 4]. Типичные требования к качеству шихты определяются обеспечением стабильности и воспроизводимости результатов процесса, в котором она используется: постоянство химического состава; однородность по химическому, минералогическому и гранулометрическому составу; оптимальная крупность

компонентов шихты; оптимальная влажность. В РФ в доменном процессе в качестве окучкованного сырья используют агломерат (40 – 75 %), окатыши (25 – 60 %), произведенные из природного минерального сырья, и железосодержащие брикеты (0,5 – 1,5 %), сформованные преимущественно из железосодержащих отходов металлургического производства. Железосодержащими отходами являются шламы газоочисток и гидросмыва, прокатная окалина, отходы обогащения руд. По содержанию железа шламы подразделяют на: богатые (55 – 67 %) – пыль и шлам газоочисток мартеновских печей и конвертеров; относительно богатые (40 – 55 %) – шламы и пыли аглодоменного производства; бедные (30 – 40 %) – шлам и пыль газоочисток электросталеплавильного производства. Ежегодно в мировой черной металлургии образуется около 49 млн. т пылей и шламов, в том числе (кг/т целевого продукта): при агломерации 20; в производстве чугуна 8 – 12, в конвертерном переделе стали 15 – 16, в электросталеплавильном 3,0 – 4,5. Годовой выход дисперсных железосодержащих отходов предприятий черной металлургии на территории СНГ составлял около 15 млн. т, из них 3,0 млн. шламы агломерации и доменного производства, 1,3 млн. сталеплавильного передела. Их химический состав представлен в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Химический состав железосодержащих пылей и шламов металлургических предприятий

Железосодержащие отходы производства	Химический состав пылей и шламов, %						
	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	C
Колошниковая пыль	25–50	7–10	5–6	1–3	1–3	0,3	3–8
Доменный шлам	30–45	3–20	6–11	2–3,5	1–3	0,2–1,35	3–25
Конвертерный шлам	41–66	3–20	1,4–2,0	0,1–0,3	0,15–1,5	0,04–0,3	0,7–4,3

Наибольшее количество железа содержится в конвертерном шламе (41 – 46 %). Железосодержащие пыли, и шламы доменного производства улавливают на стадиях грубой и тонкой очистки колошникового газа. На первой из них (в газоходах и сухих циклонах) оседает так называемая колошниковая пыль, на второй, мокрой образуется доменный шлам. Колошниковая пыль по составу близка к стадии доменных печей при содержании частиц крупностью + 100 мкм, как правило, более 60 % и плотности 3,15 – 3,8 г/см³. Доменные шламы более дисперсны и содержат 5 – 30 % частиц крупнее 100 мкм, 60 – 85 % размером 8 – 100 мкм и 10 – 20 % менее 8 мкм. Их плотность составляет 2,7 – 3,8 г/см³, выход достигает 25 % от массы чугуна.

Конвертерные шламы так же богаты по содержанию железа, как и мар-

теновские, но более грубы по гранулометрии: 30 – 35 % частиц крупнее 100 мкм; 50 – 60 % составляет фракция 8 – 100 мкм, до 20 % менее 8 мкм. Их плотность 3,5 – 5,0 г/см³, выход около 2,0 % от массы выплавляемой стали. Основными характеристиками шламов являются химический и гранулометрический состав, плотность, влажность, удельный выход и др. Следует отметить, что пыли (шламы) металлургических предприятий по химическому и по гранулометрическому составу отличаются друг от друга, поэтому эти характеристики необходимо представлять в усредненном виде.

Окускование является одной из актуальных задач в подготовке железосодержащих материалов к металлургическому переделу. Традиционным окускованным сырьем для таких переделов является агломерат, окатыши, брикеты [1, 2]. Макроструктура этих материалов представлена на рисунке 1. Основным минеральным сырьем для окускованных продуктов являются железные руды. Однако для производства окускованного сырья из отходов металлургического производства можно использовать технологии агломерации, окатыwania и брикетирования [2 – 4].



а



б



в

а – агломерат; б – окатыши; в – брикеты

Рисунок 1 – Макроструктура окускованного железосодержащего сырья

Сравнительная ценность окускованных продуктов металлургического производства приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная ценность окускованных продуктов металлургического производства

№	Показатели ценности окускованных продуктов	Окускованные продукты		
		Брикеты	Окатыши	Агломерат
1	Возможность переработки и окускования отходов и шламов у источника образования отходов	+	-	+
2	Малые площади участка брикетирования, распространённость и низкая стоимость оборудования	+	-	-
3	Возможность реализации безобжиговой технологии	+	+	-
4	Возможность переработки труднокомкуемых шламов широкого гранулометрического и минерального состава	+	-	-
5	Экологическая чистота технологии	+	+	-
6	Возможность формирования структуры и повышение реакционной способности окускованного сырья	+	+	-
7	Применение сырья в технологиях прямовосстановленного железа	+	+	-
8	Возможность применения продуктов в других металлургических технологиях (цветная металлургия, ферросплавное, известковое производство и др.)	+	+	-

Самый распространенный способ утилизации окалины на заводах полного металлургического цикла - это добавка окалины в аглошихту. Существуют данные о том, что без дополнительной подготовки окалины в большинстве случаев происходит ухудшение качества агломерата и снижение производительности агломашины. Производство окатышей эффективно для крупномасштабного производства. Но и в этом случае требуется тонкое измельчение сырья и транспортировка на фабрику окатышей. Меньше всего

ограничений по крупности и минеральному составу предъявляют к брикетированию. Это экономически эффективный и экологически безопасный способ окускования прокатной окалины, который позволяет окусковывать труднокомкуемые материалы, содержащие грубодисперсные железо - и углеродсодержащие компоненты. Это сырье местного производства, применяемое в большинстве металлургических переделов (таблица 3).

Таблица 3 – Брикетлируемые материалы и область их применения

Место образования отходов	Брикетлируемые материалы	Область применения брикетов
Доменное и агломерационное производство	- шламы газоочисток; - пыль аспирационных установок; - коксовая мелочь и пыль - мелкодисперсное первородное сырье; - отсеvy флюсующих компонентов (доломита, известняка и пр.)	В составе доменной шихты как заменитель железосодержащего и углеродосодержащего компонентов. Для промывки металлоприемника доменных печей. Для гарнисажа доменных печей.
Сталеплавильное производство	- пыли аспирации и шламы газоочисток; - коксовая мелочь и пыль; - прокатная окалина; - стальная и чугунная стружка.	Заменитель чугуна, стального скрапа, карбюризатора, флюсов в конвертере, мартеновских, электродуговых печах и вагранках
Прокатное и кузнечное производство	- прокатная окалина; пыль установок аспирации.	В конвертерных, мартеновских, электродуговых печах и вагранках
Машиностроение и металлообработка	- окалина; металлоотсев и стружка; - пыль аспирации.	В конвертерных, мартеновских, электродуговых печах и вагранках
Предприятия КХП и углеродосодержащих материалов	некондиционные углеродосодержащие отсеvy и шламы.	Поставка на металлургические предприятия

Отсутствие высоких температур и больших объемов газов, требующих очистки, техническая и технологическая простота процессов, высокая экономическая эффективность делают брикетирование перспективным методом окускования дисперсных материалов. Брикетирование актуально как для заводов с полным металлургическим циклом, так и для малых заводов, на ко-

торых отсутствует аглофабрика. Отличительной особенностью процесса брикетирования является возможность изготовления брикетов из шихтовых смесей, эффективных для основных типов агрегатов металлургического передела. Брикетировать можно техногенные отходы и первородное грубо- и тонкодисперсное сырье.

Форма брикетов влияет существенным образом не только на их механическую прочность, но и на продолжительность металлургической обработки. Брикеты овальной, чечевицной и сферической формы способны выдерживать более высокое давление и при приложении нагрузки принимают более удобное положение, распределяя усилие сжатия равномерно на весь расположенный ниже слой материалов. Острые выступы брикетов более подвержены сколам, поэтому отсутствие острых ребер, кромок и выступов в брикетах повышает их прочность. Осыпаемость металлургических брикетов нормируется ГОСТ.

В работе представлена вероятная (качественная) модель выбора типа связующего материала для брикетирования железорудного сырья в виде многоступенчатой номограммы (рисунок 2) [2]. На первом этапе выбора типа связующего требуются экспериментальные исследования по влиянию удельного расхода связующего ($G_{св}$, кг/кг брикетируемой массы) на механическую прочность брикетов ($\Pi_{сх}$, МПа) после низкотемпературной сушки ($t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30$ мин, рисунок 2, а). Для примера показана зависимость $\Pi_{сх}$ от $G_{св}$ для СДБ (сульфитдрожжевая бражка), ЖС (50 % водный раствор жидкого стекла), БН (бентонитовая глина в шихте, содержащей 8 % воды). При необходимости можно получить экспериментальные данные для комбинированных связующих, содержащих смесь СДБ, ЖС и БН в разных пропорциях, или для другого типа связок. Затем следует определиться с направлением утилизации брикетов в одном из металлургических пределов (доменном, конвертерном, электрометаллургическом), для каждого из которых требуется стандартная величина механической прочности [2 – 4]. Как правило, ее нижнее значение должно превышать величину 40 МПа. Верхнее значение прочности потребители назначают самостоятельно, учитывая, что чем выше механическая прочность сырья, тем меньше его разрушение и потерь сырья при транспортировке брикетов и восстановительно-тепловой обработке в печных агрегатах [1, 2]. Если прочность брикетов недостаточна, то ее следует повысить до необходимой величины и назначить обжиг сырья при соответствующей температуре t_1 , t_2 , t_3 (рисунок 2, б). Для нового состава шихты потребуются экспериментальные исследования [4]. В процессе опытов определяется температура и длительность обжига, а в ряде случаев и режим нагрева с соответствующей скоростью нагрева.

Воздействие тепловой обработки на прочность сырья связано с появлением затрат на топливо или электроэнергию ($Q_{об}$, МДж/т [4]) при наличии действующего теплового оборудования (рисунок 2, в; линия 1).

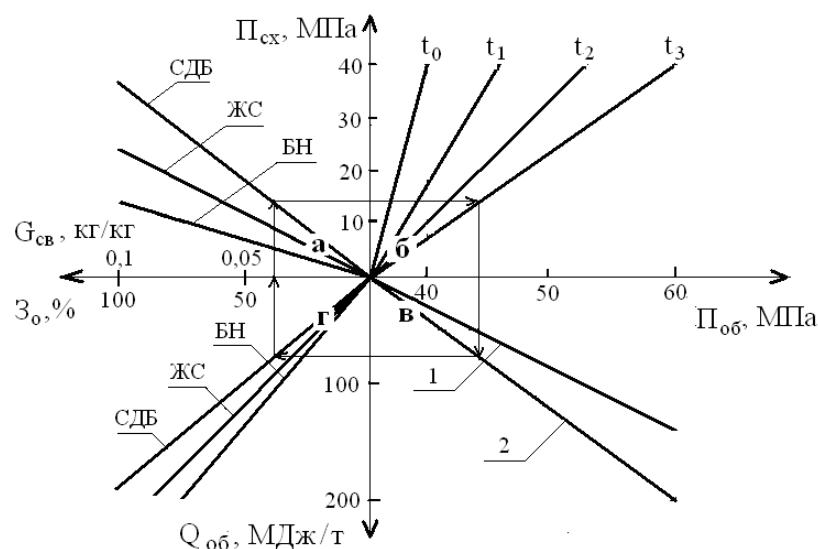


Рисунок 2 – Номограмма для выбора параметров брикетирования железосодержащих шламов металлургического производства

При отсутствии такого оборудования следует предусмотреть затраты на его сооружение (рисунок 2, в; линия 2). На рисунке 2, г отражено различие цен связующих (линии графика соответствуют уровню цен на БН, ЖС и СДБ). Поэтому прочность обожженных брикетов ($\Pi_{об}$, МПа) и затраты на топливо или электроэнергию ($Q_{об}$, МДж/т) трансформируются в дополнительные затраты на их производство по критерию Z_o , %. Его величина условно принята безразмерной, поскольку абсолютное значение затрат требует дополнительных технологических и экономических расчетов. Если стоимость бентонитовых глин у производителя взять за 1,0 (42 – 44 руб/кг), то стоимость ЖС и СДБ будет составлять соответственно 1,5 и 1,9. На этом этапе выбора связующего для брикетирования в суммарном критерии Z_o можно учесть и уровень затрат на транспортировку (расстояние и вид транспорта) связующего.

Библиографический список

1. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
2. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Забродин И. С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.

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

Проведена оценка технологий переработки шлаков металлургического производства. Показана роль шлаковых отходов в структуре металло - и ресурсосбережения. Представлены результаты исследования процесса получения строительных материалов из шлаковых отходов металлургического производства.

Ключевые слова: шлаковые отходы, промышленное производство, строительные материалы, перспективы использования шлаковых отходов.

Переработка шлаковых отходов и использование их в дорожном строительстве, в производстве строительных материалов, в огнеупорной промышленности, в сельском хозяйстве и в других отраслях техники позволяет расширить сырьевую базу этих технологий и решить экологические проблемы в промышленности [1, 2]. Экологическая составляющая технологии рециклинга и требования законодательства по охране окружающей среды обусловлены тем, что значительные объемы золы и шлака скопились в отвалах, занимающих ценные земельные угодья. Удельный выход только сталеплавильного шлака составляет в среднем от 150 до 200 кг/т стали, что соответствует ежегодному увеличению шлаковых отвалов в масштабах всей планеты на 200 – 300 млн. тонн. Транспортировка, складирование и содержание шлаковых отвалов требуют повышенных материальных и финансовых затрат. Шлакоотвалы загрязняют воздушный и водный бассейны и меняют химико-минерального состава почв и сельхозугодий. Пыление шлакоотвалов при сильных ветрах и неблагоприятных погодных условиях (повышенная влажность воздуха, туманы) формирует вторичное загрязнение окружающей среды, отрицательно влияет на здоровье людей и на продуктивность сельскохозяйственных угодий. Поэтому ликвидация шлакоотвалов и переработка металлургических шлаков благоприятно сказывается на экологической обстановке в промышленном регионе.

Классификация металлургических шлаков представлена на рисунке 1. В зависимости от процесса, при котором получают шлаки, они различаются по химическому составу, температуре и вязкости в момент образования и выпуска, газонасыщенности и другим свойствам.

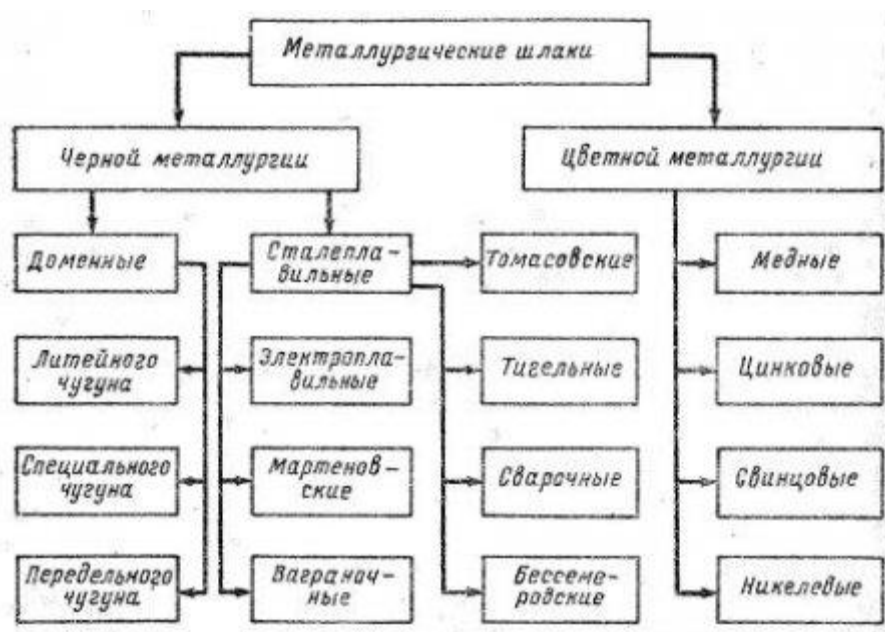
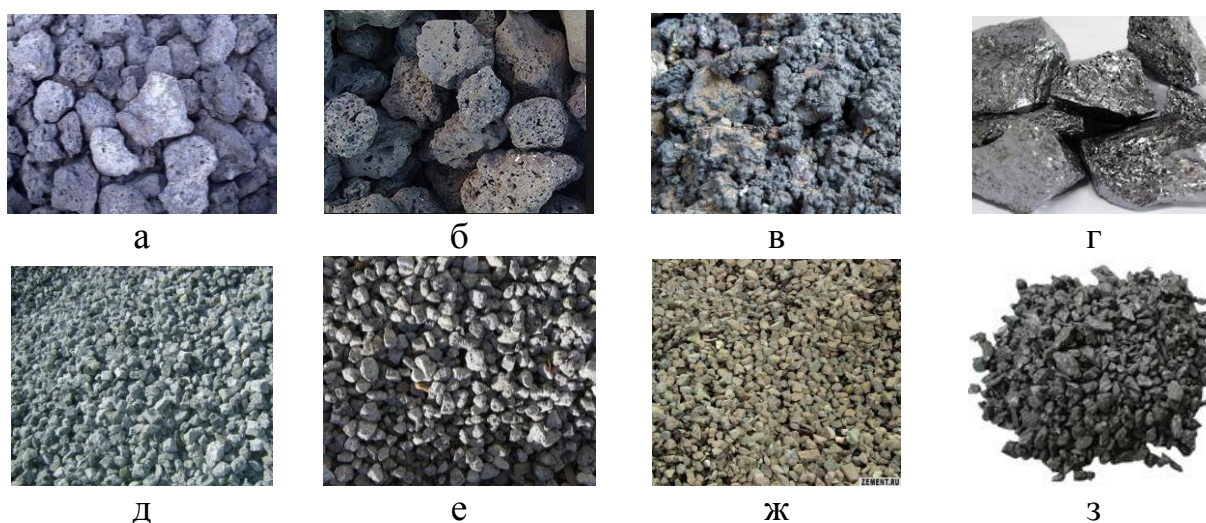


Рисунок 1 – Классификация металлургических шлаков

В зависимости от химического состава, скорости охлаждения, вида металлургической технологии физические характеристики, прочностные свойства, структура и цвет шлаков существенно отличаются (рисунок 2).



Макроструктура шлаков: а – г – исходных; д – з гранулированных; а, д – доменных; б, е – конвертерных, ж, е – ферросплавных, г, з – электросталеплавильных

Рисунок 2 – Макроструктура шлаков и гранулированных продуктов

Однородные по окраске, плотные, кристаллической структуры шлаки обычно прочнее неоднородных, имеющих неоднородную пористость и стекловидные включения. Шлаки содержат до 95 % оксидов Ca, Si, Al и CaO. В особенности Al_2O_3 придает шлаку гидравлические свойства, повышенное содержание SiO_2 снижает их. Другие соединения – FeO, MgO, MnO, CaS, MnS – содержатся в небольшом количестве, но могут оказывать заметное

влияние на свойство шлаков.

По соотношению основных оксидов (CaO, MgO, FeO, MnO) к кислотным (SiO₂, Al₂O₃) шлаки характеризуют условным модулем основности.

Для основных шлаков он определяется по выражению:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} > 1;$$

Для кислых шлаков он вычисляется по выражению:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} < 1;$$

Для промежуточных шлаков он рассчитывается по выражению:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} < 1 \text{ и}$$
$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1.$$

Большинство металлургических шлаков имеют модуль основности $M = 0,7 - 1,6$. Наиболее устойчивы к распаду кислые шлаки. Основные медленно охлаждающиеся шлаки обычно способны к самостоятельному распаду, выражающемуся в растрескивании шлаковых глыб и частичном рассыпании в порошок. Медленно охлажденные, закристаллизовавшиеся доменные шлаки в зависимости от химико-минералогического состава могут быть как устойчивые, так и распадающиеся с течением времени. Различают следующие виды распадов: силикатный, известняковый, железистый и марганцевый. Силикатный распад возникает при переходе двухкальциевого силиката из бета-формы в гамма-форму. При этом происходит значительное увеличение объема вещества, что приводит к растрескиванию и распаду шлака в мучнистый порошок – шлаковую муку. Известковый распад происходит при гидратации – «гашении» извести, в результате чего шлак самопроизвольно растрескивается на куски. Железистый распад бывает при содержании соединений железа в пересчете на FeO более 1,5 %; под влиянием влаги FeS переходит в Fe(OH)₂+H₂S со значительным увеличением объема вещества (до 38 %), что вызывает растрескивание шлака. Марганцевый распад приводит к растрескиванию шлака в результате соединения во влажной среде марганца с сульфидной серой.

Наибольшее количество в объеме переработки занимают доменные шлаки. Они являются побочным продуктом при выплавке чугуна в доменных печах. Чугун и шлак образуются в доменной печи в процессе плавления компонентов шихты: руды, топлива и флюса (известняка или доломита). Чугун и шлак выпускают из доменной печи периодически. Вначале через верхнее отверстие выпускают шлак. Шлак, выпущенный через шлаковую летку (верхний шлак), составляет 50 – 75 % всего количества шлака. Затем через чугунную летку, расположенную ниже, сливают чугун. По мере слива чугу-

на его место занимает шлак, находившийся ниже шлаковой летки. Этот шлак выпускают через чугунную летку после слива чугуна. Шлак, выпускаемый через чугунную летку (нижний шлак), содержит чугун и поэтому при переработке требует специальных мер по отделению металлических включений. Шлак, выпускаемый из доменной печи, сливают в шлаковозные ковши и отвозят в места переработки или на шлаковые отвалы. Схема переработки отвального доменного шлака показана на рисунке 3.

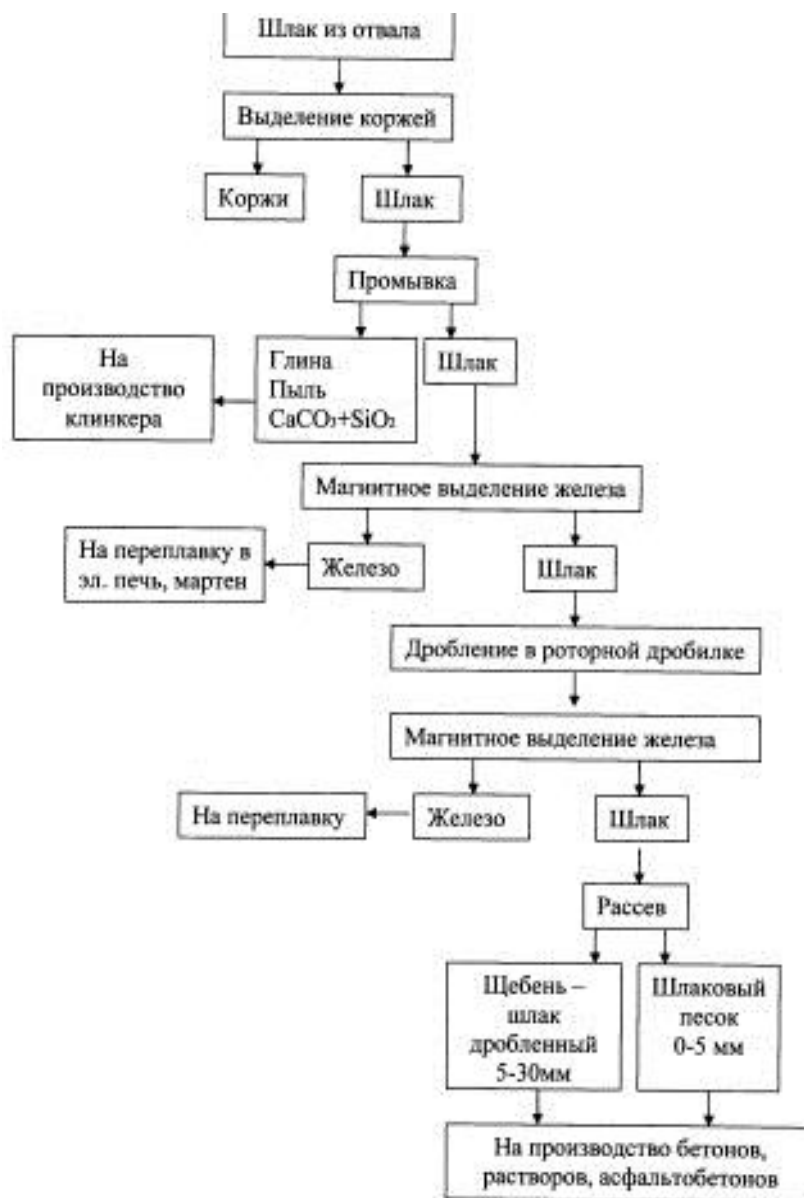


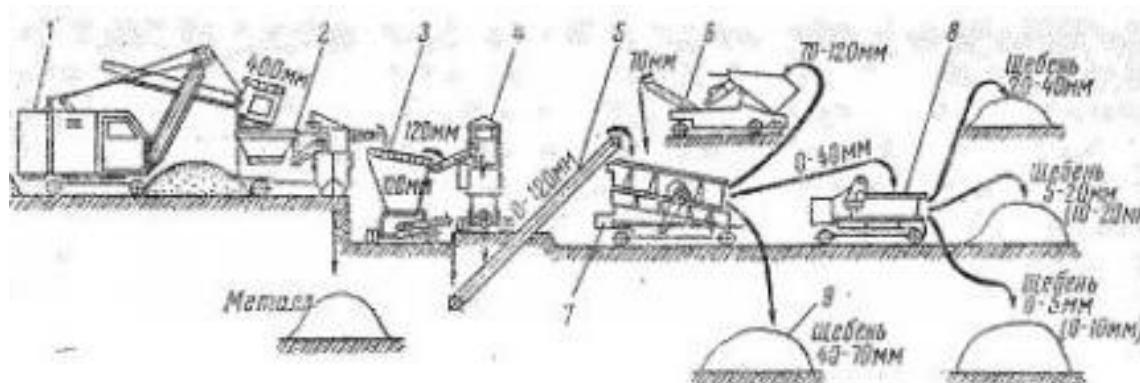
Рисунок 3 – Схема переработки отвального доменного шлака

Отвальные доменные шлаки получают в результате слива шлакового расплава в отвал и последующей разработки отвала. Отвальный шлак представляет собой преимущественно кусковой материал с крупностью отдельных кусков до 100 – 120 мм. Куски большего размера составляют менее 15 % объема всего шлака. Отвалы разрабатывают с таким расчетом, чтобы полу-

ченный щебень возможно больше был выдержан на открытом воздухе для освобождения его от распадающихся и сернистых соединений.

Отвальные кислые доменные шлаки, переработанные (дробление и сортировка) на щебень, применяются для устройства щебеночных оснований и покрытий, для приготовления асфальтобетонной смеси, а также для устройства нижнего слоя цементобетонных покрытий.

В настоящее время разработаны технологические схемы производства щебня из отвальных шлаков, позволяющие производить стандартные каменные материалы. Эти схемы обеспечивают непрерывный цикл операций по измельчению и сортировке шлаковых материалов (рисунок 4).



- 1 – экскаватор; 2 – магнитно-сепарационная установка; 3 – бункер с колосниковым грохотом; 4 – дробильный агрегат ДЛЮ – 325; 5 – ленточный конвейер с электромагнитным шкивом; 6 – дробильный агрегат СМ – 739; 7 – сортировочный агрегат С – 906; 8 – сортировочный агрегат С – 907; 9 – склад щебня

Рисунок 4 – Технологическая схема производства щебня из отвальных шлаков

Технологический процесс производства щебня по этому способу состоит в том, что жидкий шлак из ковшей сливают в шлаковые ямы слоями 0,2 – 0,3 м. После укладки четвертого-пятого слоев его поливают водой в количестве 0,5 – 0,8 м³ /т шлака и организуют интенсивное охлаждение. После кристаллизации при температуре верхнего слоя не более 1200 °С и нижнего не менее 500 °С в течение 4 – 8 ч остывший шлак разрабатывают экскаватором, классифицируют на фракции и при необходимости подвергают дополнительному дроблению. Внедрение этого способа на Новолипецком и Таганрогском металлургических заводах позволило сократить расходы на содержание шлаковых отвалов в среднем на 0,6 руб/т и получить дополнительную прибыль около 1 руб/т.

Шлаковый щебень обладает хорошим сцеплением с битумами и, в особенности с дегтями, а также с цементными растворами. Щебень, получаемый из шлаков, по показателям истираемости и потере в массе при испытании на дробимость подразделяется на четыре класса (рисунок 1). Шлаковые отходы используются как добавки и наполнители при производстве широкого спектра строительных материалов: песка, цемента, бетонов, растворов,

кирпича, тротуарной плитки и т. д. Они могут использоваться как самостоятельно, так и в виде частичного заменителя основного сырьевого материала. Они хорошо зарекомендовали себя при укладке в земляное полотно автомобильных дорог. Наибольшие перспективы имеют технологии применения золошлаковых отходов в производстве портландцемента (как активные кремнеземистые добавки) в количестве 10 – 15 % и в производстве пуццолановых портландцементов марок 300 – 400 – до 30 – 40 % (золопортландцемент). В этих технологиях тонкодисперсные отходы проявляют функции вяжущих веществ, которые позволяют экономить дорогостоящие стандартные связующие, полученные на основе сложных термических процессов. В дорожном строительстве используют главным образом доменные продукты переработки шлаков. Также для строительства применяют мартеновские, ферромарганцевые, электроплавильные, ваграночные и шлаки цветной металлургии. Большинство шлаков, переработанных в шлаковую муку, используют в качестве удобрений в сельском хозяйстве.

Значительный объем шлаков используют в металлургических технологиях [1 – 4]. В последнее время шлаки успешно применяют для производства огнеупорных и теплоизоляционных материалов [2]. Предлагается использовать металлургические шлаки для каталитической очистки технологических газов от вредностей и в качестве зернистых насадок для регенеративных горелочных устройств [5]. Содержание в сталеплавильных шлаках 8 – 12 % остаточного металлического железа и от 15 до 40 % его оксидов делает шлак ценным сырьем для комплексной переработки с максимальным извлечением ценных компонентов и восстановлением железа из оксидов. Содержание оксидов железа в шлаке сопоставимо с уровнем их содержания в бедных природных рудах. При этом выплавка железа из расплавленного шлака путем восстановления оксидов энергетически эффективнее, чем из твердых материалов в шахтных печах. Такая технология позволит в РФ дополнительно извлекать из сталеплавильных шлаков до 1,8 млн. тонн чистого железа без вредных примесей цветных металлов и неметаллических включений,

Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Павловец В. М. Устройства для промышленной теплогенерации. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. – 218 с.

АНАЛИЗ МАКРОСТРУКТУРЫ НАПЫЛЕННОГО СЛОЯ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Минаева У.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.

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

Проведен обзор литературных источников по проблеме формирования структуры железорудных окатышей, обеспечивающей повышение реакционной способности окускованного металлургического продукта на всех этапах технологического цикла. Сформулированы условия оптимизации поровой структуры и предложены методы получения железорудных окатышей с улучшенными металлургическими свойствами.

Ключевые слова: поровая структура, реакционная способность окатышей, окускованное металлургическое сырье, железорудные окатыши.

Железорудные окатыши являются одним из основных видов металлургического сырья для производства первичного металла (30 – 90 % в шихте доменной плавки) и металлизированных брикетов (100 % в шихте шахтных агрегатов), применяемых для выплавки электростали [1, 2]. К окатышам, используемым для металлизации, предъявляют повышенные требования по содержанию железа и пустой породы, химическому и минеральному составу, прочностным свойствам, восстановимости, грансоставу и др. [3]. У шихтовых материалов для производства окатышей коэффициент комкуемости должен быть более 0,5, крупность концентрата должна быть не выше 0,1 мм, содержание пустой породы – не менее 3 – 5 %, прочность сырых окатышей должна быть более 10 Н/окатыш. Этим требованиям должны удовлетворять железосодержащие отходы металлургического производства, подвергаемые окускованию, которые позволяют снизить себестоимость сырья. В шихте окатышей используют металлургические шлаки, бокситовые красные шламы, другие железосодержащие материалы [1 – 3].

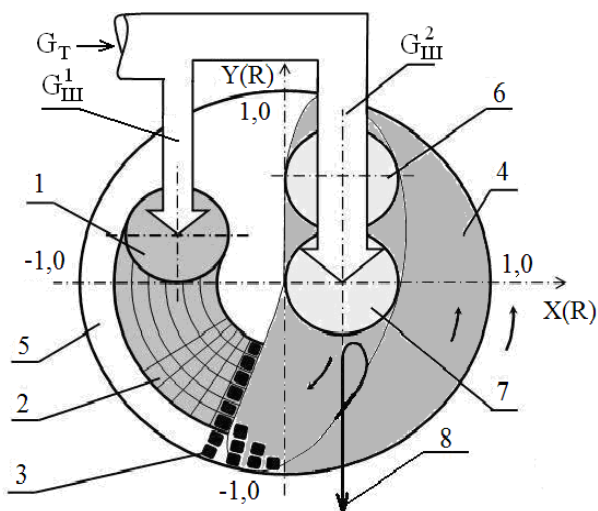
Одним из направлений улучшения металлургических свойств окатышей является формирование окатышей с повышенной реакционной способностью. Увеличение реакционной способности окатышей связано с формированием в их структуре повышенного количества пор крупных размеров, причем пористость должна быть преимущественно открытой, проницаемой для восстановительных газов, с минимальной извилистостью. Повышенная реакционная способность окускованного сырья благоприятна для режима фильтрации газов через структуру окатышей во время сушки и обжига.

Процесс порообразования в структуре окатышей остается проблемным, поскольку любое технологическое воздействие на структуру окатыша

одновременно влияет на процесс формообразования и термообработки. Поэтому любое подобное воздействие необходимо увязывать с технологическим процессом окускования сырья. Порообразующие добавки (ПД), широко используемые в смежных металлургических технологиях [4], должны обладать высокими поверхностно-активными свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность окатышей. Они должны вносить минимальное количество вредных, балластных и других примесей, опасных для обслуживающего персонала и снижающих качество конечного продукта, не ухудшать условий плавки, обладать невысокой стоимостью. Однако при использовании угля, кокса и углеродсодержащих шламов снижаются комкующие свойства шихты, при обжиге углеродсодержащих окатышей появляется опасность появления спеков. По этой причине содержание углеродсодержащих добавок в шихте окатышей не превышает 1 – 2 % [5].

Чтобы исключить ограничения по использованию труднокомкуемых ПД в процессе окомкования и воздействовать на поровую структуру окатышей предложено использовать принудительное зародышеобразование, осуществляемое методом напыления влажной шихты на гарнисаж окомкователя сжатым воздухом [3, 5]. В этой технологии напыленный слой шихты (НС), разделенный на множество зародышевых фрагментов, является шихтовой матрицей для получения зародышей с управляемой структурой.

Схема принудительного зародышеобразования реализуется с помощью устройства, схема которого показана на рисунке 1.



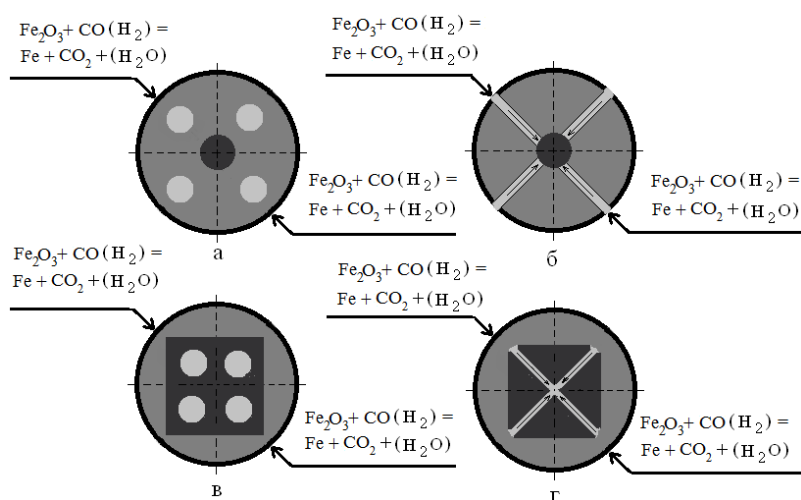
- 1 – область напыления (напыленный слой); 2 – область зародышеобразования;
 3 – зародыши; 4, 5 – рабочая и холостая зоны окомкователя; 6, 7 – области
 увлажнения и доокомкования; 8 – годные окатыши

Рисунок 1 – Схема получения окатышей способом принудительного зародышеобразования

Формирование окатышей по схеме: зародышеобразование напылением шихты сжатым воздухом и доокомкование зародышей (ЗНД) начинается с

принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарели [3]. Загружаемая шихта делится на два потока $G_{ш1}$ (20 – 30 % от всей массы шихты) и $G_{ш2}$. Для принудительного зародышеобразования используется шихта потока $G_{ш1}$, которая напыляется сжатым воздухом на шихтовый гарнисаж окомкователя. Образовавшийся напыленный слой шихты высотой 8 – 10 мм делят на прочные мерные фрагменты, выполняющие роль зародышей. Зародыши поступают в рабочую зону тарели, где происходит увлажнение зародышей, после чего на них накатывается шихта потока $G_{ш2}$, необходимая для образования оболочки окатыша и формирования гранул размером 14 – 16 мм.

Схема взаимодействия газа-восстановителя с рудным каркасом железорудных окатышей, полученных по технологии ЗОН и ЗНД, показана на рисунке 2.



в позиции: а, в – схема окатышей с закрытыми порами;
б, г – схема окатышей с открытыми порами

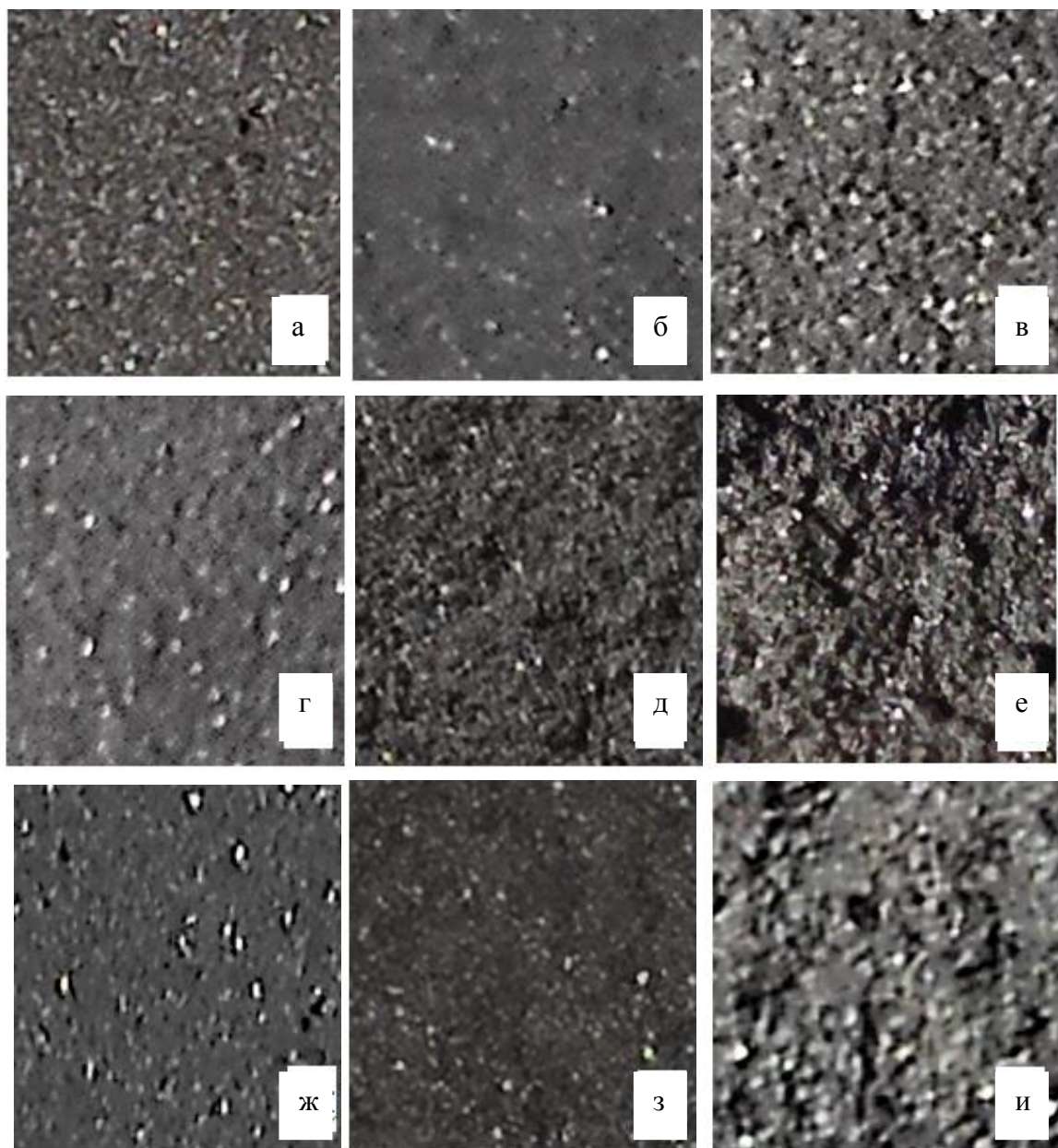
Рисунок 2 – Схема взаимодействия газа-восстановителя с рудным каркасом железорудных окатышей, полученных по технологии ЗОН – а, б и ЗНД – в, г

Использование метода напыления ВШС позволяет существенно расширить число управляющих воздействий на процесс формирования и структуру окатышей. Повышается количество открытых пор и общей пористости окатышей, снижается значение закрытой пористости и кажущейся плотности. Влажность центральной зоны окатышей снижается на 0,5 – 2,2 %. Дифференцированные свойства окатышей по сечению гранул усиливают протекание термохимических процессов на границах проницаемых пор. Эта технология успешно отработана в лабораторных условиях и показала высокую практическую эффективность. Однако закономерности формирования пористости железорудных окатышей и многие другие процессы, сопутствующие новой технологии, остаются малоизученными.

Целью работы являлось исследование механизма структурообразования окатышей в технологии ЗНД.

Эксперименты проводили на лабораторном окомкователе диаметром 0,62 м, наклоненном под углом 45° к горизонту и вращающимся со скоростью 12 об/мин. Напыляемая шихта влажностью от 5 до 10 % содержала железорудный концентрат Тейского месторождения и 1 % бентонита. Для сопоставимости некоторые шихты готовили без бентонита. Для оценки влияния фракционного состава концентрата на структурные характеристики его рассеивали по фракциям. Влажную шихту напыляли сжатым воздухом давлением 0,2 МПа и расходом $0,6 \text{ м}^3/\text{мин}$. Прочность на сжатие и плотность исследовали с помощью образцов, вырезанных из них методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84). В каждой зоне НС, ограниченной относительным диаметром δ , равным $0 \pm 0,2$, брали 10 – 15 образцов пробоотборниками (режущим кольцом) диаметром 10 мм. Прочность на сжатие влажных – $P_{\text{вл}}$ и сухих – $P_{\text{сух}}$, кПа, образцов определяли по ГОСТ 17245-79 и 26447-85. Часть проб использовали для определения плотности $\rho_{\text{вл}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, и влажности образцов W , %. Взвешивание проводили на электронных весах VIBRA серии AF-R220 CE. Детальная методика проведения исследований приведена в источнике [3]. Результаты экспериментов приведены на рисунках 3 и 4.

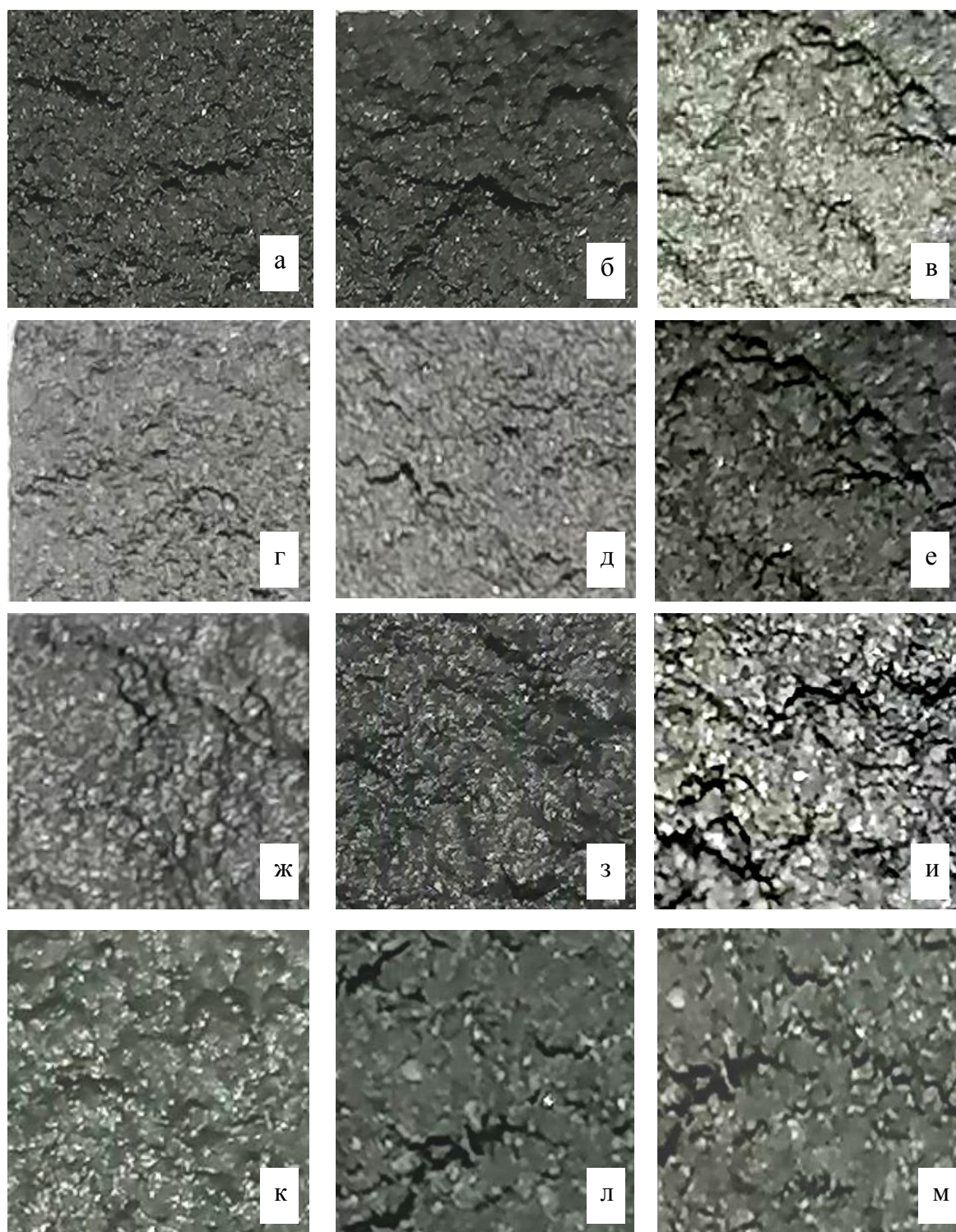
Анализ макроструктуры образцов показал, что в каждой из зон НС существуют заметно выраженные структурные особенности, проявляющиеся в наличии структурных углублений и гребней [5]. Механизм структурообразования обусловлен динамическим воздействием и статическим давлением воздушно-шихтового потока на поверхность НС. Движущийся поток газов и частиц испытывает при движении сопротивление со стороны НС за счет сил трения. По этой причине поверхностная зона НС испытывает сдвиговые нагрузки [3]. Структурообразованию способствует создание барьеров и неровностей на пути движения частиц за счет сил трения. На формирование размеров наплывов и углублений оказывает влияние теневой эффект. Установили, что характер макроструктуры НС и структурные изменения на его поверхности существенно зависят от характеристик напыляемой шихты и параметров напыления. Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что структура окатышей и характер пористости непосредственно связаны с параметрами структурных изменений на поверхности напыленного слоя. Влияние повышенной влажности шихты ($W=10\%$) проявляется в том, что при высокой влажности на поверхности появляются структурные углубления, обусловленные появлением жидкотекучей шихтовой пульпы. Этому способствует статическое давление ВШС, имеющее максимальное значение в центральной зоне НС. В центре НС подвижной шихтовой пульпы больше (ориентировочно 10 – 20 %) чем на периферии и ее количество зависит от давления ВШС и влажности шихты. На периферии ее значительно меньше (около 1 – 5 %). Поэтому сдвиговые нагрузки на периферии формируют глубокие поровые каналы на поверхности НС, не заполняемые шихтовой пульпой. В центре НС также действуют сдвигающие усилия и формируются каналы, но они быстро заполняются текучей массой.



В позиции а, б, в – $W=10\%$; г, д, е – $W=7,5\%$; ж, з, и – $W=5\%$; а, г, ж – центральная; б, д, з – промежуточная; в, е, и – периферийная зоны НС. Эксперименты проведены при $L=200$ мм для шихт с $d_{\text{ч}} < 0,1$ мм без бентонита. Длительность напыления $\tau = 20$ с

Рисунок 3 – Макроструктура напыленного слоя железорудной шихты

В условиях пониженной влажности шихты ($W=5\%$) появление жидкотекучей пульпы не происходит, поэтому во всех зонах сдвиговые нагрузки формируют глубокие поровые каналы, не заполненные шихтой. В условиях оптимальной влажности шихты ($W=7,5\%$), близкой к МКВ [3, 4], жидкотекучая масса появляется только в центральной зоне НС и частично в промежуточной области.



Размер частиц, мм: 0 – 0,063 (а – в); 0,063 – 0,1 (г – е); 0,1 – 0,2 (ж – и); > 0,2 (к – м). В позиции: (а – е) W=10 %; (ж – м) W=7,5 %; а, г, ж, к – центральная; б, д, з, л – промежуточная; в, е, и, м – периферийная зоны НС

Рисунок 4 – Микроструктура напыленного слоя шихты.
Увеличение 10^x (горизонтальный размер микрошлифа – 5 мм)

На периферии НС жидкотекучей шихтовой пульпы практически не образуется при давлении ВШС, не превышающем 1800 – 2200 Па. Более высокое давление ВШС меняет структурную картину поверхности НС. В этом и любом другом режиме напыления структурные изменения на поверхности НС имеют свои характерные особенности, подчиняющиеся общим закономерностям, приведенным выше.

Эксперименты показывают, что наиболее плотная структура НС формируется в его центральной зоне. В этой зоне максимальное количество мелких слабоизвилистых поровых каналов, минимальной глубины и протяженности. Поэтому можно предположить, что подобные поры формируются не только на поверхности, но и в глубине НС. В промежуточной зоне НС количество каналов возрастает их конфигурация более извилистая, но структура остается относительно равномерной. На периферии НС количество каналов уменьшается, но их глубина и протяженность увеличиваются. Влияние размеров частиц проявляется в том, что с ростом размеров частиц структура поверхности НС становится более рыхлой и пористой. Количество структурных каналов становится больше, а их геометрические размеры увеличиваются. Извилистость каналов становится выше по сравнению с промежуточной и центральной зонами НС. Результаты опытов позволяют спрогнозировать общие мероприятия по созданию регламентированной структуры НС. Они заключаются в том, что для создания плотной и равномерной пористости с большим числом слабоизвилистых каналов малого диаметра, необходимо переувлажнение массы свыше 10 %. Для создания более извилистых и малочисленных, но глубоких и протяженных, каналов требуется подсушка массы или меньшее давление напыляющего агента. Поэтому для регламентирования структурных изменений НС требуется корректировка влажности шихты и режима напыления.

Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Патент № 2385351 Российская Федерация, МКИ⁷ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2008139095/02. Заявл. 01.10.2008; Опубл. 27.03.2010. Бюл. №9 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 9.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
5. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ БРИКЕТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА

Домнин К.И.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.

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

Проанализированы перспективы использования продуктов переработки отработанного минерального масла в металлургии. Приведены результаты исследования процесса брикетирования железосодержащих концентратов с использованием в качестве связующего и пластификатора продуктов регенерации отработанного моторного масла. Исследован механизм упрочнения железорудных брикетов, содержащих продукты регенерации отработанного минерального масла.

Ключевые слова: отработанное моторное масло, брикетирование железосодержащих концентратов и шламов, связующие, жидкое стекло.

В структуре сырьевых материалов металлургической промышленности непрерывно растет доля окускованного сырья на основе отходов производства [1, 2]. Для его получения используют не только железосодержащие материалы, но и разного рода связующие, пластифицирующие и топливные добавки. В качестве последних компонентов предложено использовать продукты переработки отработанного минерального масла (ОММ). Проблема переработки ОММ имеет несколько аспектов. Первый аспект проблемы обусловлен необходимостью ресурсосбережения в промышленности путем повторного использования ОММ в производстве по прямому назначению после регенерации. Используют регенерированное ОММ в качестве моторного масла для ДВС, как наполнитель в разнообразных пластических смазках, разжижитель лакокрасок и др. Физические и эксплуатационные свойства регенерированного ОММ близки исходному материалу (таблица 1) [3, 4]. Простейший путь переработки ОММ – сжигание в печах и топках в настоящей работе не рассматривается, хотя на практике встречается довольно часто. Второй аспект проблемы обусловлен загрязнением и отравлением окружающей среды нефтепродуктами. Есть сведения о том, что из ежегодно попадающих в окружающую среду 6 млн. т нефтепродуктов, более половины приходится на отработанные смазочные материалы, включая ОММ, которые подвергаются захоронению. Оба аспекта проблемы связаны друг с другом. Третий аспект проблемы связан с необходимостью утилизации и переработки собственных отходов (шламов и осадков) технологии регенерации ОММ, которая практически не решена. В этом направлении можно назвать технологию использования сорбента для очистки ОММ для производства строительных изделий и керамзита [3].

Таблица 1 – Свойства моторных масел

Показатели	М-8Г ₂	Регенерированное моторное масло	Методы испытаний
Плотность при 20°С, кг/м ³	не более 905	900	ГОСТ 3900
Вязкость при 100 °С, мм ² /с	8 ± 0,5	7,8	ГОСТ 33-66
Кислотное число, мг КОН/г	-	2,1	ГОСТ 5985
Щелочное число, мг КОН/г	6,0	-	
Зольность сульфатная, % (мас.доля)	не более 1,65	0,22	ГОСТ 1461
Температура, °С:			
- вспышки в открытом тигле,	не ниже 200	195	ГОСТ 4333
- застывания	не выше -25	-22	ГОСТ 20287
Содержание, %:			
- воды.	следы	отс.	ГОСТ 2477
- мех. примесей	не более 0,015	отс.	ГОСТ 6370

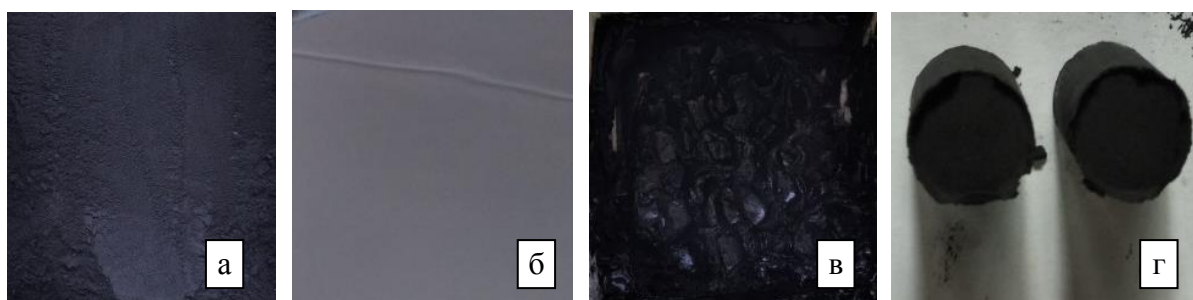
Отработанные моторные масла (ОММ) представляют собой многокомпонентные дисперсные системы с определенной степенью воздействия на окружающую среду и организм человека, что определяет пути их утилизации [4, 5]. Известно, что в составе ОММ присутствуют поверхностно-активные вещества (ПАВ), в основе которых находятся не исчерпавшие свой ресурсный срок разного рода присадки (моющие, противозадирные, дисперсионные и др.). В структуре ОММ находятся продукты окисления ОММ, которые представлены высокоорганическими (жирными и олеиновыми) кислотами, смолисто-асфальтовыми образованиями, битумами, шлаками, обводненными коагулянтами и другими элементами. После регенерации ОММ образуется вторичный вид отхода – шламы переработки (масляный осадок), которые практически не используются в промышленности. Состав шламов ОММ в настоящее время практически не изучен. По ориентировочной оценке количество шламов может достигать 5 – 10 % от массы ОММ, что в масштабах отдельной страны составляет значительную величину. Утилизация подобных шламов является трудной технологической задачей. Наиболее простым методом утилизации шламов на некоторых нефтехранилищах является сжигание в смеси с качественным жидким топливом, который имеет ограниченные перспективы.

Кроме вышеуказанных соединений в структуре шламов могут быть нагары и лаки, являющиеся продуктами угара масла, низкотемпературные отложения, попадающие из воздушного и топливного трактов двигателя, металлосодержащие продукты износа [4, 5]. Наличие в составе шламов ОММ компонентов, обладающих вяжущими свойствами (органические смолы, асфальты, кислоты), а также тонкодисперсный состав твердых продуктов износа, позволяют рекомендовать этот материал в качестве связующего и пластифицирующего материала для брикетирования керамических материалов и дисперсных железосодержащих материалов черной металлургии (концен-

тратов и шламов газоочисток) [6, 7]. Органические соединения могут быть источником формирования пористости и регламентированной структуры окускованного сырья. При термообработке сырья они являются источником дополнительного тепловыделения и снижают расход основного технологического топлива.

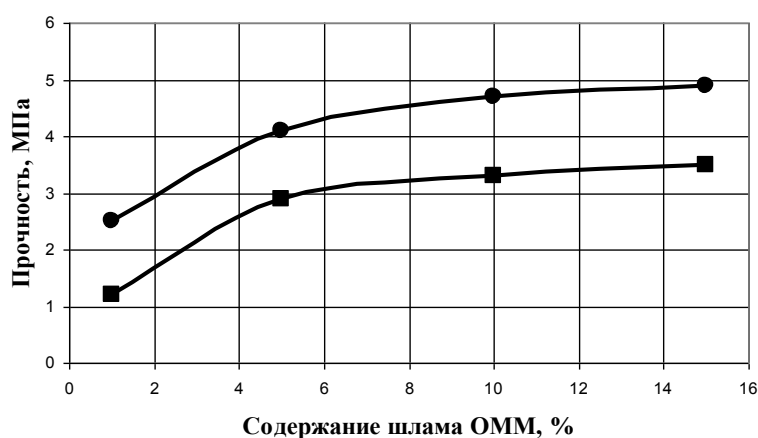
Целью работы явилось экспериментальное исследование процесса упрочнения железосодержащих брикетов, содержащих продукты регенерации отработанного минерального масла, используемого в качестве связующей добавки и пластифицирующего материала.

Эксперименты проводили на кафедре теплоэнергетики и экологии СибГИУ. Для экспериментов использовали ОММ цилиндропоршневой группы дизельного двигателя грузового автомобиля. Шламовый осадок был получен в результате длительного отстаивания ОММ при температуре выше 20 °С. Для брикетирования использовали железосодержащий концентрат Тейского месторождения (содержание железа 63 %, средний размер частиц 0,068 мм). Брикетирование проводили на лабораторном прессе при давлении 50 МПа, с получением брикетов размером 15×15 мм (рисунок 1). Результаты экспериментов приведены на рисунках 2 – 4.



а – железорудный концентрат; б – шлам ОММ; в – шихтовая смесь с содержанием шлама ОММ 1 %; г – шихтовая смесь с содержанием шлама ОММ 15 %; д – брикеты

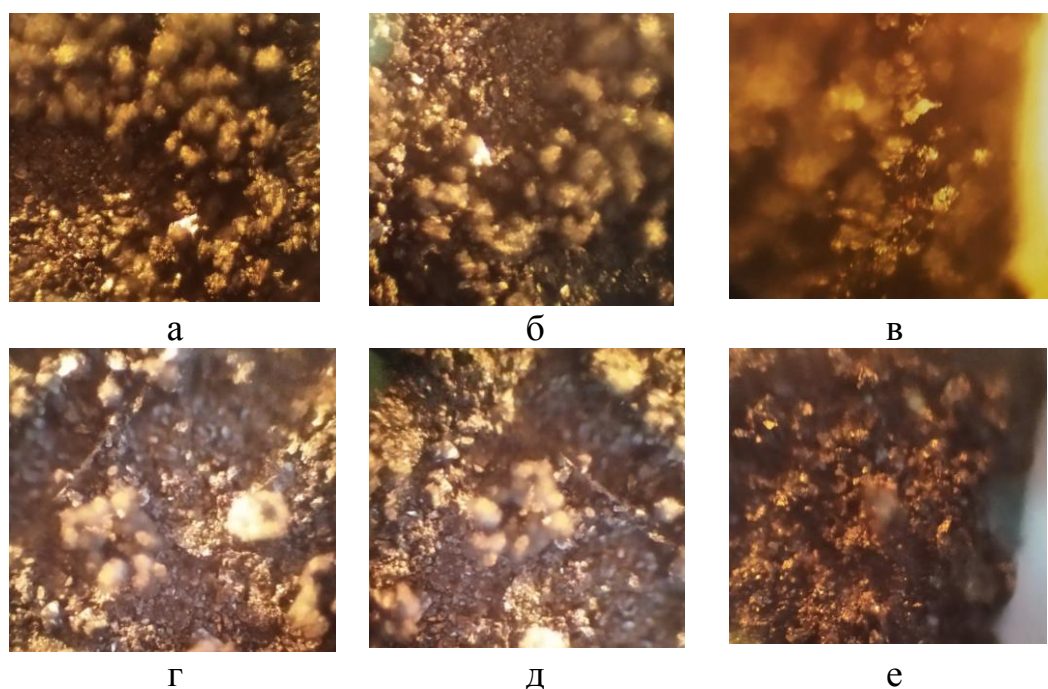
Рисунок 1 – Внешний вид шихтовых материалов и брикетов



Брикеты: ■ – после брикетирования; ● – после термической сушки

Рисунок 2 – Зависимость прочности брикетов от содержания шламов ОММ

Установили, что добавки шламов ОММ в состав шихты брикетов являются хорошим пластификатором и вяжущим материалом для брикетирования железорудного концентрата. Длительность схватывания сырой массы увеличивается, что является несомненным достоинством техники прессования с участием шламов ОММ. Минимальное содержание шламов ОММ в смеси, обеспечивающее эффективное перемешивание компонентов, в отсутствие упрочняющей связки составляет 4 – 5 %. Прочность сырых брикетов, содержащих шламы ОММ, достигает 3,5 МПа после брикетирования. Полученные брикеты не содержат поверхностных и внутренних дефектов, разрывов и трещин и отличаются равномерностью макроструктуры. Термическое упрочнение брикетов (сушка при 105 °С в течение 30 минут) позволяет повысить прочность брикетов до 4,9 МПа. Полученная прочность брикетов недостаточна для стандартной величины прочности металлургического сырья (40 – 60 МПа), поэтому для дальнейшего упрочнения брикетов необходимо введение некоторого количества более эффективного связующего, например жидкого стекла (ЖС), часто используемого для окускования и формования сыпучих материалов в металлургии и других отраслях техники. Микроструктура полученных брикетов представлена на рисунке 3. Зависимость прочности железосодержащих брикетов от содержания шламов ОММ и количества 50 % - го раствора ЖС в смеси приведена на рисунке 4.



В позиции: а, б, в – брикеты содержат 10 % шлама ОММ в отсутствии ЖС;
г, д, е – 5 % шлама ОММ и 3 % ЖС

Рисунок 3 – Микроструктура поверхности железорудных брикетов.
Увеличение 120 ×

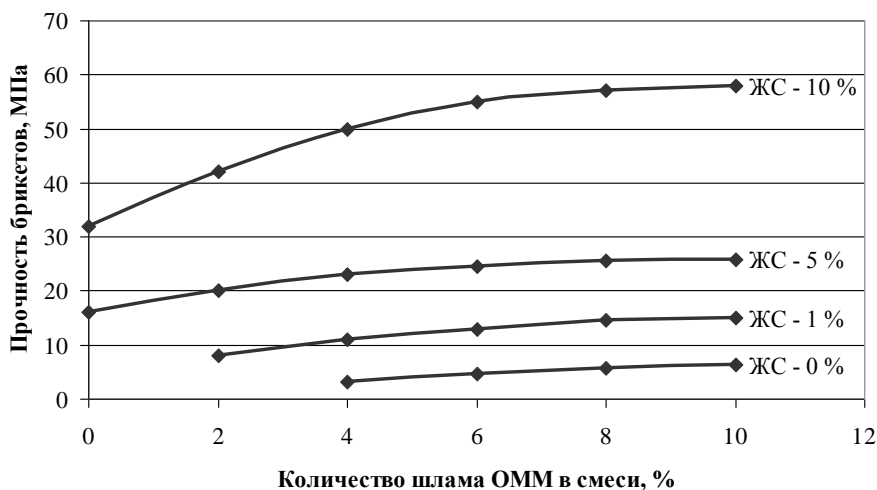


Рисунок 4 – Зависимость прочности брикетов от содержания шлама ОММ и жидкого стекла в смеси

В процессе работы выяснили, что концентрированное ЖС ухудшает условия перемешивания компонентов и сокращает длительность схватывания массы. Поэтому для обеспечения стабилизации процедур дозирования и смешивания компонентов, опытным путем обосновали необходимость разбавления ЖС водой в соотношении 50×50. Установили, что процесс брикетирования массы начинается при содержании в смеси 4 % шламов ОММ. При введении в прессуемую массу 1 % ЖС формообразование возможно при более низком содержании (2 %) шламов ОММ. При смешивании компонентов смеси образуются коагуляционные сферические конгломераты различной концентрации и размеров, формирующиеся при любом содержании шламов ОММ и ЖС (рисунок 3). Для получения равномерной структуры смеси, содержащей шламы ОММ и ЖС, потребовалось увеличить длительность смешивания. Повышенное содержание шламов ОММ в отсутствие ЖС из-за высокой вязкости смеси увеличивает количество конгломератов и их диаметр и приводит к росту несвязанного железосодержащего материала. Добавки ЖС снижают вязкость прессуемой массы. Поэтому, размеры коагулянтов уменьшаются, а их количество увеличивается. Доля несвязанного железорудного материала снижается, и плотность прессовки возрастает. При малом количестве шламов ОММ в прессуемой массе преобладают коагуляционные структуры на основе ЖС. При повышенном количестве шламов ОММ в смесеобразовании участвуют два жидких вяжущих материала, которые формируют дисперсные коагулянты, твердеющие в процессе выдержки. Если в смеси присутствует избыток шламов ОММ, например, более 4 – 6 %, то для их эффективного связывания и упрочнения всей массы потребуется увеличение содержания ЖС более 5 – 7 %. Таким образом, чтобы исключить наличие несвязанного жидким стеклом шлама ОММ, требуется на 1 % шламов ОММ подавать в формуемую смесь примерно 1,2 – 1,4 % ЖС. При этом следует учитывать, что общее содержание связующих компонентов в пресс-

суемой массе может превысить значение 12 – 15 %, что на этапе прессования способно привести к перепрессовке, потере массы и потребует снижения давления прессования. В результате возможно снижение качества брикетов и металлургических свойств сырья. Результаты экспериментов показывают, что содержание шламов ОММ в составе прессуемой массы не должно превышать 2 – 4 % . Количество ЖС в прессуемой смеси можно ограничить значением 7 – 10 % .

В результате экспериментов установили принципиальную возможность включения в состав брикетируемой железосодержащей массы шламов ОММ и ее эффективное упрочнение раствором жидкого стекла.

Библиографический список

1. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В.В. Ожогин. – Мариуполь: – ПГТУ. – 2010. – 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Евдокимов А.Ю. Комплексная схема переработки отработанных масел и смазок / А.Ю. Евдокимов А.Ю. [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия – 1990. 1. – С. 28–31.
4. Школьников В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / В. М. Школьников. – Москва : Химия, 1989. – С. 122-124.
5. Непогодьев А. В. Химический состав отработанного моторного масла / А. В. Непогодьев // ХТТМ. – 1974. – № 12. – С. 50-53.
6. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
7. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.

УДК 625.143.48

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ ЕВРАЗ ЗСМК

Азаренков И.А., Алимарданов П.Э.

Научный руководитель: Шевченко Р.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: shefn1200@mail.ru*

В данной работе исследована технология сварки рельсовой стали на машине контактной стыковой сварки рельсов типа МСР - 6301А, при дальнейшем закаливании установкой индукционного нагрева УИН 001-100/РТ-С(М) и проверкой твердости сварного соединения по методу Бринелля с помощью прессы

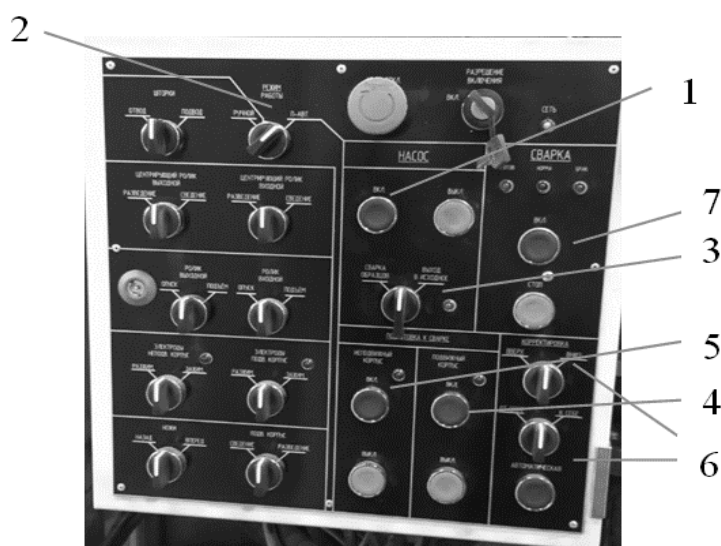
ПИРС – 400М.

Ключевые слова: сварка, рельсовая сталь, контактно стыковая сварка, машина МСР - 63.01А, УИН 001-100-РТ-С(М), пресс ПИРС - 400М.

В производственных условиях ЕВРАЗ ЗСМК разработана технология сварки рельсовых образцов (площадью 83 см² и длиной 600 мм) контактно-стыковым способом с помощью машины МСР - 6301А, установки индивидуального нагрева (УИН 001-100-РТ-С(М)) и прессы для испытания сварных рельсовых стыков ПИРС-400М.

Включаем станцию охлаждения и аспирационную систему. На панели управления (рисунок 1) включаем тумблер «Включить насос» (1). Устанавливаем тумблер выбора режимов сварки в режим «Полуавтомат» (2), следом включаем тумблер «Выход в исходное» (3). Устанавливаем тумблером режим «Сварка плети» (3). Выставляем свариваемые образцы. Фиксируем образец в подвижном (4) и не подвижном(5) корпусе. Проверяем отсутствие зазоров между электродами, ножами гратоснимателя и образцами. Корректируем положение образцов тумблерами корректировки по вертикали и по горизонтали (6). Закрываем защитные кожухи и нажимаем кнопку «Сварка» (7).

После сварки образец оставляем остужаться 2 часа, после чего отправляется в УИН 001-100-РТ-С(М), где запускаем на промышленном компьютере программу, управляющую процессом термообработки (Manage). Следом подаем охлаждающую жидкость. При запуске программное обеспечение, в рабочем окне программы управления процессом нагрева выбирает автоматический режим работы, задает параметры термообработки сварного стыка и нажимаем кнопку «Пуск». По этому сигналу программа инициирует подвод секций индуктора к нагреваемому сварному стыку.



1 - насос включения; 2 – режим работы; 3 – режим сварки; 4 – зажатие подвижного корпуса; 5 – зажатие неподвижного корпуса; 6 – корректировка; 7 – сварка включения

Рисунок 5 - Панель управления машины МСР - 6301А

Пневмоприводы начинают движение, и прекращают его по сигналам с концевых выключателей. Состояние концевых выключателей отображается на экране промышленного компьютера. По завершению процесса сведения индукторов программа управления нагревом включает преобразователь частоты, происходит нагрев сварного стыка до заданной температуры. Контроль температуры осуществляется с помощью инфракрасного пирометра, при этом на экране промышленного компьютера отображается информация о процессе нагрева. По достижению заданной температуры нагрева блок управления нагревом по программе компьютера переводит режим работы из «нагрева» в режим «стабилизация» и поддерживает заданную температуру нагрева в течение определенного времени, в зависимости от категории рельса.

После окончания процесса нагрева, программа инициирует отвод приводов и отводит секции индуктора от сварного стыка. Затем привод опускает закалочное устройство на головку рельса в зоне нагрева сварного стыка и прекращает свое движение по сигналу с концевого выключателя.

После опускания закалочного устройства открывается электронная заслонка, через воздушный фильтр осушки закалочного воздуха закалочная среда, проходя через закалочное устройство, подается в зону сварного стыка. Датчик давления измеряет текущие показания давления закалочной среды. Инфракрасный пирометр измеряет температуру сварного стыка во время закалки и передает данные на блок управления нагревом. По окончании закалки вновь включается привод и поднимает закалочное устройство.

Далее испытываемый образец подает к прессу по роликовому конвейеру, укладываем на кронштейн и вручную заталкиваем в пресс по роликовому конвейеру. Устанавливаем испытываемый образец внутри прессы так, чтобы место сварного стыка располагалось над вершиной пуансона с нажимным валиком.

Контроль осуществляем визуально через смотровое окно с открытой дверкой. После того, как испытываемый образец правильно установлен в прессе, закрываем смотровое окно двери, закрываем боковые дверки и фиксируем их спорными пальцами. Включаем гидростанцию, при этом шток домкрата с пуансоном и защитной плитой, с закрепленным на ней магнитом, начинает на холостом ходу подниматься вместе с испытываемым образцом до соприкосновения его с опорными валиками двух верхних опор. При поступлении сигналов со всех датчиков на пульте управления запускаем автоматический процесс испытания образца. Пуансон начинает двигаться с рабочей скоростью и постепенно, в зависимости от упругости образца, возрастает давление, которое фиксируется датчиком давления, встроенным в гидросистему.

В зависимости от двух координат (перемещение и давление) на дисплее отображается диаграмма нагружения, которая отслеживает весь процесс испытания. По диаграмме анализируем прочность сварного шва. Результаты испытания заносятся в паспорт испытаний контрольных образцов сварных рельсов. После того, как испытываемый образец сломался, пуансон опускается в нижнее положение и можно извлекать части сломанного образца, с двух сторон открыв

дверцы.

Вывод.

В результате исследований был изучен процесс: сварки на машине контактной стыковой сварки рельсов типа МСР - 6301А, закалочной установке индукционного нагрева УИН 001-100/РТ-С(М) и пресса для испытания сварных рельсовых стыков ПИРС-400М.

Библиографический список

1. Управление термическим циклом процесса сварки рельсосварочной машины МСР-6301/ Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Осетковский И.В., Кратько С.Н. // Сварочное производство. 2020. № 9. С. 29-34.

2. Шевченко, Р. А. Совершенствование технологии контактной сварки железнодорожных рельсов / Р. А. Шевченко; 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. 218-221. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

УДК 625.143.48

ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПО МЕТОДУ БРИННЕЛЯ ПОСЛЕ СВАРКИ НА МАШИНЕ МСР 63.01 А

Алимарданов П.Э., Азаренков И.А
Научный руководитель: Шевченко Р.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: shefn1200@mail.ru*

В данной работе представлены результаты проведённых исследований твердости рельсовой стали после сварки на машине МС – 63.01 А. Сварка производилась на производственном режиме сварки образцов. Изучена твердость сварного соединения по методу Бринелля с помощью пресса ИРС – 400М.

Ключевые слова: сварка, рельсовая сталь, контактно стыковая сварка, машина МС – 63.01 А.

В производственных условиях изучена твердость рельсовой стали после сварки контактно стыковым способом с помощью машины МС – 63.01 А. Химический состав свариваемого образца представлен в таблице 1.

Отбор проб для определения химического состава стали производился по ГОСТ 7565–81. Образцы сечением 40 × 40 мм и толщиной 30 мм вырезались из поперечного сечения головки рельса. Анализ проводился эмиссионным методом по ГОСТ 22536.0 на спектрометре АРЛ-4460

Таблица 1 – Химический состав образцов, %

№ плавки	C	Mn	Si	Cr	V	P	S	Al	Ti
21901	0.76	0.77	0.53	0.36	0.04	0.014	0.006	0.003	0.002
21912	0.76	0.77	0.53	0.37	0.04	0.010	0.008	0.003	0.002

Для проведения контактно стыковой сварки вырезались образцы с площадью сечения 83см² и длиной 600 мм.

После сварки образцы направлялись на трёхточечный изгиб. Изучение твердости проводилось с помощью пресса ИРС – 400М приложением усилия на подошву. Анализ твердости образцов приведен в таблице 2.

Таблица 2 –Твердость образцов

№ плавки		Измерено	Норма
21901	Прочность	2083	1750
	Пластичность	31,1	23
21912	Прочность	1978	1750
	Пластичность	21,7	23

Выводы:

1) В результате проведенных исследований была изучена твердость рельсовой стали сваренной контактно стыковым способом на машине контактно стыковой сварки МС – 63.01 А.

2) Анализ твердости образцов позволил сделать выводы о том, что при едином режиме сварки в зависимости от химического состава стали получается разная твердость, которые заметно отличаются друг от друга по прочности и пластичности

Библиографический список

1)Тушинский, Л. И. Методы исследования материалов/Л. И. Тушинский, А. В. Плохов, А. О. Токарев, В. Н. Синдеев. – М.: Мир, 2004. – 380 с.

2) Гольцев, В.Ю. Методы механических испытаний и механические свойства материалов: Учебное пособие. / В.Ю. Гольцев. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 228 с. 10 Колмаков А.Г. Методы измерения твердости. / А.Г. Колмаков – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 412 с2

3) Колмаков А.Г. Методы измерения твердости. / А.Г. Колмаков – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 412 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ СИСТЕМЫ Fe—C—Si—Mn—Cr—W—V С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ТИТАНОМ

Белов Д.Е., Михно А.Р., Киселев П.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

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

Исследованы свойства порошковой проволоки системы Fe—C—Si—Mn—Cr—W—V с дополнительным введением в ее состав порошка титана. При увеличении содержания титана в проволоке ПП-Нп 35В9ХЗСФ с 0,3 % до 1,5 % твердость наплавленного слоя возрастает HRC 52...60, также улучшается сопротивление износу 1,94...1,12. Коэффициент извлечения титана составил от 6,2 % до 8,6 %.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, сварочный флюс, шлак производства силикомарганца, пыль газоочистки алюминиевого производства, титан, микроструктура, неметаллические включения, твердость, износостойкость.

Изготовление нового состава порошковых проволок проводилось на волочильном стане с использованием порошкообразных материалов таких как: углеродфторсодержащий материал со следующим химическим составом: масс. %: Al₂O₃ =21-46; F =18-27; Na₂O = 8-15; K₂O=0,4 – 6%; CaO=0,7-2,3; SiO₂=0,5-2,5; Fe₂O₃=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; железного порошка ПЖВ-1 по ГОСТ 9849-86, хрома ПХА-1М по ТУ 14-1-1474-75, марганца МР-0 по ГОСТ 6008-82, кремния КР-1 по ГОСТ 2169-69, никеля ПНК 1Л5 по ГОСТ 9722-97, а также порошка титана ПТС по ТУ 14-22-57-92.

Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода марки НФП по ТУ 20.59.56.120-001-14796818-2020 [1-6].

С целью изучения влияния введения порошка титана в порошковые проволоки при наплавке под марганецсодержащим флюсом изготовлено пять образцов порошковых проволок. Изготовление проволоки проводили на лабораторной установке по технологии с пропуском через фильеры. Диаметр проволоки 5 мм, оболочка выполнена из ленты Ст 3.

Наплавка исследуемых образцов на подложку из стали 09Г2С осуществлялась с использованием режима наплавки: сила тока 450 А, напряжение 18В, скорость сварки 15 м/ч.

Для определения твердости наплавленного слоя использовался портативный твердомер УЗИТ. На вырезанном образце, размером 20*20 мм, было

сделано по 10 замеров. Выявлен максимальный и минимальный показатель твердости каждого образца, а также рассчитано среднее значение.

При испытании на износостойкость использовали метод потери массы образца, который основывается на изменении массы образца при испытании диск – колодка. Испытания проводились при режиме: нагрузка 30 мА (78,4Н), частота 20 об/мин., нагружение образцов производилось с помощью пружинного механизма, частота вращения измерялась с помощью тахогенератора на валу двигателя, а число оборотов с помощью бесконтактного датчика. Колодка изготовлена из стали типа P18.

Результаты исследования и их обсуждение.

При изготовлении проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ дополнительно в ее состав вводился порошок титана, доля которого составила от 0,3% до 1,5%.

Химический состав полученных после проведения наплавки образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав наплавленного слоя

№ образца	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,52	1,23	1,94	2,49	0,05	0,04	0,024	7,71	0,30	0,037	0,034	0,002	0,047	0,013
2	0,52	1,29	1,96	2,61	0,06	0,04	0,037	8,27	0,32	0,036	0,042	0,003	0,042	0,012
3	0,62	1,27	1,97	2,88	0,05	0,04	0,053	8,81	0,34	0,036	0,036	0,005	0,040	0,014
4	0,67	1,20	1,98	2,69	0,06	0,04	0,062	8,80	0,34	0,037	0,046	0,003	0,012	0,012
5	0,73	1,45	2,05	2,69	0,06	0,04	0,13	8,83	0,40	0,038	0,040	0,002	0,040	0,015

Коэффициент извлечения титана составил от 6,2% до 8,6 %. Коэффициенты извлечения сопутствующих легирующих элементов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициент извлечения легирующих элементов

Маркировка проволоки	Коэффициент извлечения, %						
	C	Cr	Mn	Si	V	W	Ti
1	130	71,14	176,36	123	75	73,42	8
2	130	74,57	178,18	129	80	78,76	7,4
3	155	82,2	179,09	127	85	83,90	6,63
4	167,51	76,85	180	120	85	83,80	6,2
5	182,51	76,85	186,36	145	100	84,09	8,6

Результаты проведения испытаний наплавленного слоя на твердость и износ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты проведения испытаний на твердость и износ

№ образца	Твердость HRC	Твердость HB	Сопротивление износу
1	$\frac{55}{52-55}^{**}$	$\frac{589}{614-689}^{**}$	1,94
2	$\frac{54}{53-55}$	$\frac{695}{642-730}$	1,85
3	$\frac{58}{56-59}$	$\frac{684}{651-746}$	1,29
4	$\frac{58}{56-58}$	$\frac{763}{713-830}$	1,20
5	$\frac{58}{56-60}$	$\frac{778}{705-838}$	1,12

* Среднее значение, ** минимальное, максимальное значение

На основе полученных данных по химическому составу, износостойкости и твердости исследуемых образцов с помощью программы Microsoft Excel были построены зависимости, представленные на рисунках 1-3.

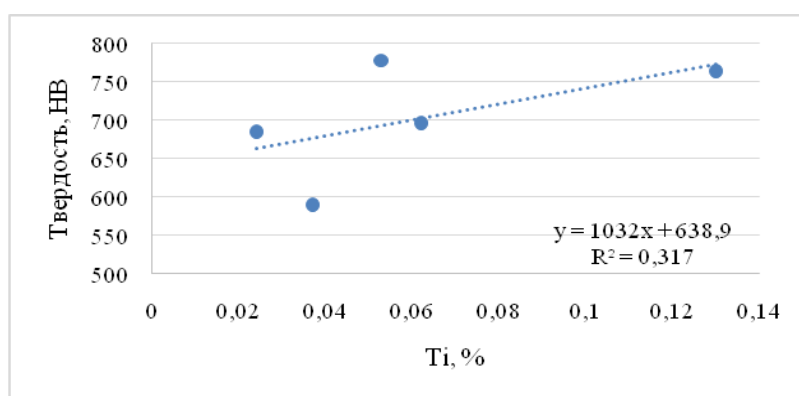


Рисунок 1 - Диаграмма зависимости твердости HB от содержания титана в наплавленном слое

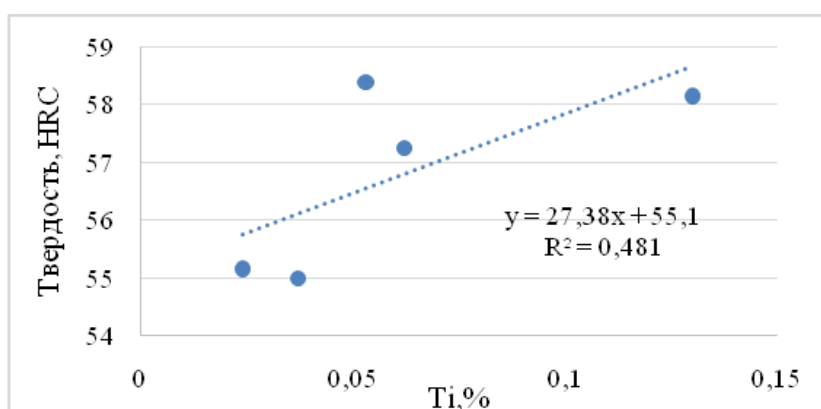


Рисунок 2 - Диаграмма зависимости твердости HRC от содержания титана в наплавленном слое

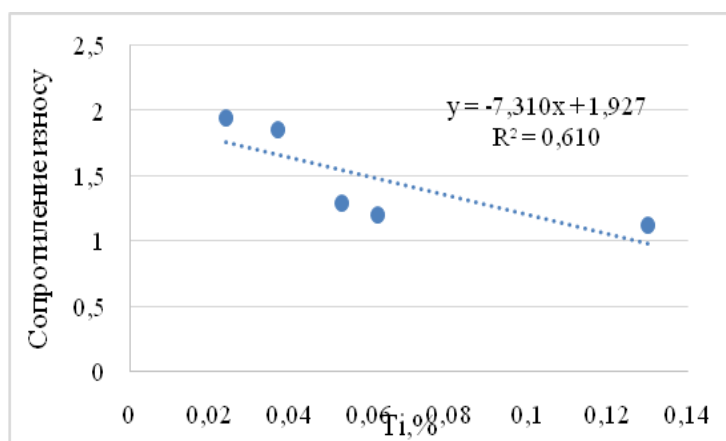


Рисунок 3 - Диаграмма зависимости износостойкости от содержания титана в наплавленном слое

Построенные зависимости указывают на положительное влияние увеличения содержания титана в наплавленном слое на твердость и износостойкость исследуемых образцов.

Вывод:

1. В данной работе показана принципиальная возможность дополнительного легирования титаном наплавочной порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ. Определен оптимальный режим наплавки, изучены качественные показатели и рассчитан коэффициент извлечения титана и сопутствующих легирующих элементов.

2. В ходе исследования установлено, что введение в состав порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ порошка титана положительно влияет на показатели твердости и истирания образцов. При увеличении содержания титана с 0,3% до 1,5% в наплавленном слое твердость возрастает, также улучшается сопротивление износу.

Библиографический список

Изучение влияния введения в состав порошковой проволоки марки 35В9Х3СФ углеродфторсодержащей добавки / Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р., Усольцев А.А., Денисов П.А. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2019. – № 4 – С.16 – 20.

Прогнозирование свойств новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома / А. Н. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, Д. Е. Белов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2019. – Т. 15, № 3 (150). – С. 99–103. – Библиогр.: с. 102–103

Металлографические исследования структуры и свойств стали 35В9Х3СФ / Кибко Н.В., Титов Д.А., Козырев Н.А. // Вестник РАЕН. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. - Вып.35.-Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015 – С. 96-100.

Сравнительный анализ абразивной износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-

Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V / И. В. Осетковский, Н. А. Козырев, А. И. Гусев, Р. Е. Крюков, М. В. Попова // Заготовительные производства в машиностроении (Литейное и сварочное производства). – 2019. – Т. 17, № 5. – С. 198–202.

Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, А. А. Усольцев, А. А. Уманский // Сварочное производство. – 2020. – № 2 (1023). – С. 16–21.

Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Башенко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 6 (1422). – С. 55–66.

УДК 621.791.042.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА

**Казарян Л.А., Полегешко С.А., Отабиев Х.А., Михно А.Р.
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: ludwig_kazaryan.10@mail.ru*

Приведены исследования наплавки порошковой проволокой деталей, работающих в условиях интенсивного износа. Исследовано влияние введения в состав порошковой проволоки системы С- Si-Mn-Ni-Al-Co-Cu-V-P порошка титана на внешний вид наплавленного слоя. Наплавка осуществлялась на подложку из стали 09Г2С с применением флюса, из шлака производства ферросиликомарганца.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, сварочный флюс, порошок титана, износ.

Качество деталей работающих в условиях интенсивного износа в большей степени, зависит от выбора сварочных материалов и технологических свойств. Состав выбранного материала определяет состав жидкого шлака, атмосферы дуги, химический состав наплавленного слоя, от которого зависит структура, механические свойства детали [1,4]. Наплавка порошковой проволокой производилась в лабораторных условиях НППЦ «Сварочные процессы и технологии» на подложку из стали 09Г2С в три слоя под флюсом. Флюс изготовлен из отхода металлургического производства шлака производства ферросиликомарганца с химическим составом: Fe-0.52%; MnO-16.15%; CaO-29.13%; SiO₂-42.40%; Al₂O₃-6.80%; MgO-1.39%; Na₂O-0.18%; K₂O-0.59%; S-0.23%; P-0.022%; WO₃-0.0006%; ZnO-0.004%; С-

0.024%; F-0.32%; PbO-0.0006%; TiO₂-0.17%; SrO-0.22%; Cr₂O₃-0.033%; BaO-0.76%. С использованием сварочного трактора АСАW-1250 на режиме: Сила тока I= 470А, напряжение U= 30В, скорость наплавки V= 20см/мин [2-3].

Для изготовления порошковых проволок были использованы порошкообразные материалы: железный порошок ПЖВ-1 по ГОСТ 9849-86, углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки алюминиевого производства), порошок марганца МР-0 по ГОСТ 6008-82, порошок кремния КР-1 по ГОСТ 2169-69, порошок титана ПТС по ТУ 14-22-57-92, молибденовый порошок МПЧ по ТУ 48-19-69-80 порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97. Блок схема процесса изготовления порошковой проволоки представлена на рисунке 1.

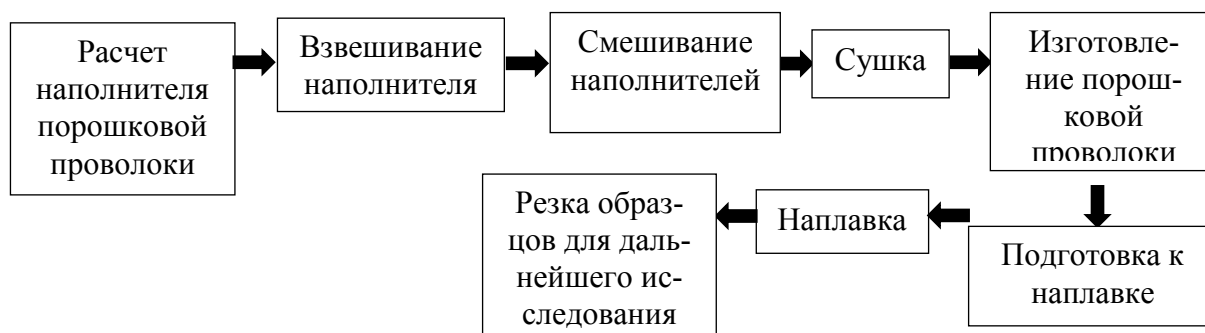
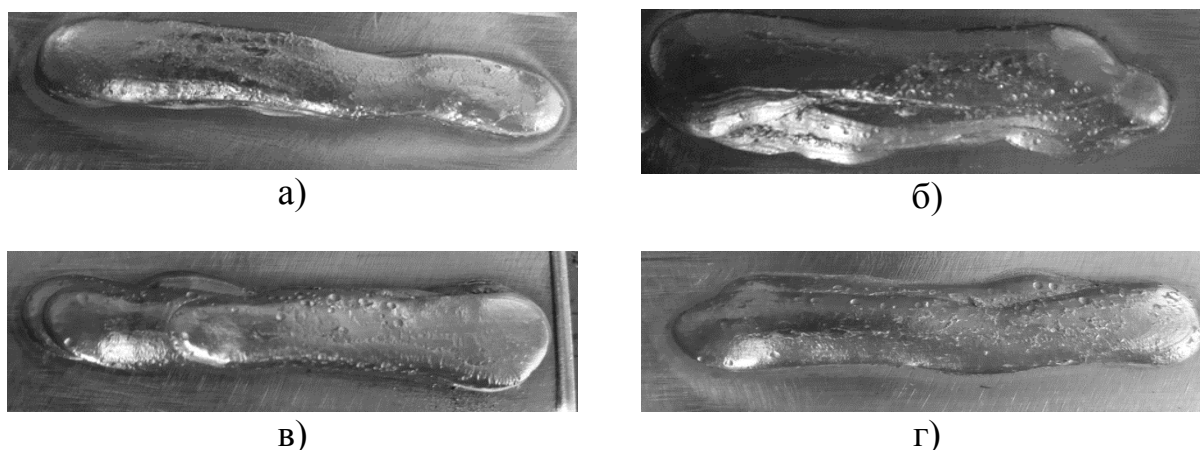


Рисунок 1- Блок схема процесса изготовления порошковой проволоки

Технология изготовления порошковой проволоки на волочильном стане заключается в загибе в корытообразный профиль (бункер) с дальнейшей засыпкой в него порошкообразного материала (шихты) и дальнейшим пропусканием через фильеры. Диаметр изготовленной порошковой проволоки составляет 4мм.

Внешний вид наплавленных слоев металла представлен на рисунке 2.



а) с добавлением титана 0,2 г; б) с добавлением титана 1 г; в) с добавлением титана 2 г; г) с добавлением титана 3 г; д) с добавлением титана 3 г.

Рисунок 2 – Внешний вид наплавленных образцов

Добавление порошка титана в порошковые проволоки осуществляется с целью уменьшения зерна структуру наплавленного слоя металла [4].

Вывод:

1. При проведении исследовательской работы были изготовлены новые составы порошковой проволоки системы С- Si-Mn-Ni-Al-Co-Cu-V-P с дополнительным введением в состав шихты порошка титана. Была проведена наплавка исследуемых составов порошковой проволоки, изучен внешний вид наплавленного слоя.

2. Исследования внешнего вида наплавленного слоя удовлетворяют качеству проведения наплавочных работ (на поверхности отсутствуют дефекты в виде пор, раковин, трещин, подрезов, т др.).

3. Дальнейшие задачи научного исследования заключаются в исследовании наплавленных образцов, а именно: изучение химического состава, макро и микроисследования, изучение износостойкости и твердости изготовленных образцов.

Библиографический список

1. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях износа / А. И. Гусев, Н. А. Козырев, В. Е. Хомичева, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков // Вестник Российской Академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – Новокузнецк, 2018. – Вып. 21. – С. 109–123. – Библиогр.: с. 121 (22 назв.).

2. Сварочные материалы для дуговой сварки: справочное пособие. В 2 томах. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев, С.А. Курланов, Н.Н. Потапов и др.; под общ. ред. Н.Н. Потапова. – Москва: Машиностроение, 1989 – С. 104.

3. Апанина, Валентина Олеговна. Исследование металла, наплавленного под флюсом, изготовленным на основе отходов металлургического производства / В. О. Апанина, А. Р. Михно, А. В. Постников; науч. рук. Н. А. Козырев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19–21 мая 2020 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2020. – Вып. 24, ч. 1: Естественные и технические науки. – С. 270–274. – Библиогр.: с. 274 (3 назв.).

4. Кашин, С. С. Изучение технологии наплавки порошковой проволокой / С. С. Кашин, П. А. Денисов ; 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. 217–218.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА НАПЛАВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V

**Осетковский И.В., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Комаров А.А.
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.**

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

Приведено исследование структуры и свойств образцов наплавленного металла порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V. В состав шихты порошковой проволоки взамен аморфного углерода введена углерод-фторсодержащая добавка – пыль газоочистки алюминиевого производства.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавленный металл, углерод-фторсодержащая добавка, микроструктура, зерно, мартенсит, твердость износ.

Введение. Согласно теории сварочных процессов качество наплаваемого металла при прочих равных условиях предопределено концентрацией углерода. С одной стороны, увеличение содержания углерода повышает твердость и износостойкость наплаваемого слоя, с другой стороны, увеличение углерода и связанного с ним углеродного эквивалента снижает показатели свариваемости и уменьшает трещиностойкость наплаваемого слоя металла [1].

Ранее в рамках развития направления по совершенствованию составов наплавочных материалов системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V в условиях СибГИУ был разработан новый состав порошковой проволоки с использованием углеродфторсодержащего материала – пыли газоочистки алюминиевого производства, позволяющего исключить поры, раковины, трещины и проводить удаление водорода [2,3]. Химический состав порошковых проволок с использованием пыли газоочистки алюминиевого производства используемый для наплавки горно-шахтного оборудования защищен патентами РФ [4,5].

В данной работе приведены исследования структуры и свойств образцов наплавленного металла порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V, в составе шихты которой, взамен аморфного углерода введена углеродфторсодержащая добавка – пыль газоочистки алюминиевого производства. Кроме того, рассматривался вопрос влияния повышения концентрации углеродфторсодержащей добавки на уровень загрязненности наплавленного металла оксидными неметаллическими включениями.

Материалы и методы исследования. В качестве наполнителя использовались порошкообразные материалы: кремний КР-1 по ГОСТ 2169-69, марганец МР-0 по ГОСТ 6008—82, хром ПХА-1М по ТУ 14-1-1474-75, никель ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, молибден марки ПМ-1 по ТУ 48-19-102-82, ва-

надий электролитический марки ВЭЛ-1 по ТУ 48-4-335-86 и железный порошок ПЖВ-1 по ГОСТ 9849-86. Взамен аморфного углерода вводилась пыль газоочистки алюминиевого производства (углеродфторсодержащая добавка), со следующим химическим составом, масс. %: Собщ=12,5-30,2; Al₂O₃ =21-46; F =18-27; Na₂O = 8-15; K₂O=0,4 – 6%; CaO=0,7- 2,3; SiO₂=0,5-2,5; Fe₂O₃=2,1-3,3; MnO=0,07-0,9; MgO=0,06-0,9; S=0,09-0,19; P=0,10-0,18.

Наплавку металла производили на пластины стали марки Ст3 под флюсом АН-26С. Порошковую проволоку диаметром 5мм, изготовленную на лабораторной машине, наплавляли с использованием сварочного трактора АSAW-1250 при следующих режимах: I = 420-520А, U = 28-32В, V_{св}= 7,2-9м/ч. После наплавки металл охлаждался при комнатной температуре.

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС -71. Измерение твердости исследуемых образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. Металлографическое исследование микрошлифов осуществляли с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений ×100 – 1000 после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении ×100. Дисперсность мартенсита оценивали при сопоставлении структуры с эталонами соответствующих шкал и размеров игл мартенсита с данными ГОСТ 8233-56. Определение длины игл мартенсита осуществляли с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований SiamsPhotolab700. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778-70.

При испытании на износостойкость использовали метод потери массы образца, который основывается на изменении массы образца при испытании диск – колодка до и после испытания. Износ образцов производили на машине 2070 СМТ–1. Испытания проводились при режиме: нагрузка 30 мА (78,4Н), частота 20 об/мин., нагружение образцов производилось с помощью пружинного механизма, частота вращения измерялась с помощью тахогенератора на валу двигателя, а число оборотов с помощью бесконтактного датчика. В процессе испытания образец взаимодействовал с диском, изготовленным из стали типа Р18.

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав наплавленных слоев металла, полученного с использованием изготовленной опытной проволоки и физико-механические свойства наплавленного металла приведены в таблице 1. Следует отметить, что при использовании заявляемых режимов наплавки без предварительного нагрева поверхности получено удовлетворительное качество наплавленного слоя металла - без трещин, пор и раковин.

Таблица 1 – Химический состав и физико-механические свойства наплавленного металла

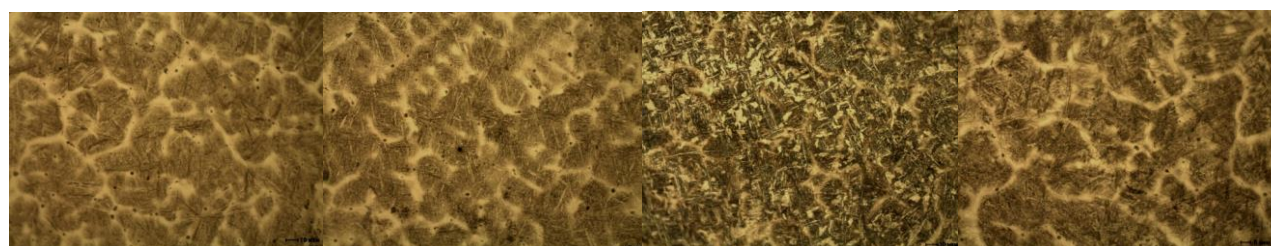
№ образца	C,%	Si,%	Mn,%	Cr,%	Mo,%	Ni,%	V,%	S,%	P,%	HRC	Скорость износа, г/об
1	0,33	0,78	0,91	1,37	0,46	0,46	0,58	0,069	0,022	33	$3,8 \cdot 10^{-5}$
2	0,47	0,86	1,02	1,52	0,51	0,52	0,64	0,066	0,023	40	$3,7 \cdot 10^{-5}$
3	0,58	0,64	0,92	1,15	0,37	0,35	0,51	0,076	0,02	44	$2,56 \cdot 10^{-5}$
4	0,62	0,78	1,04	1,61	0,49	0,51	0,65	0,059	0,02	45	$2,39 \cdot 10^{-5}$

Металлографический анализ показал, что микроструктура наплавленных слоев представляет собой среднеигльчатый и крупноигльчатый мартенсит (балл 6 и 7) с размером игл 7 – 13 мкм, сформировавшийся внутри границ бывшего зерна аустенита, небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных участков и тонкие прослойки δ -феррита. Структура равномерная, имеет дендритное строение (рисунок 1). Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 6, № 5 (рисунок 1, таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики структуры наплавленных образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Балл мартенсита	Размер игл мартенсита, мкм
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точеные			
1	1б, 2б	2а, 1а	5	7, 6	8-12
2	1б	1 а, 2а	6	6, 7	7-11
3	1б	1а	5	7, 6	10-13
4	1б, 2б	2а, 1а	5	7, 6	7-12

Изменение размера первичного аустенитного зерна, по-видимому, связано с увеличением концентрации углерода и образованием карбидов за счет легирующих элементов - хрома, молибдена и ванадия, препятствующих росту зерна аустенита.



а

б

в

г

а – образец №1; б – образец №1; в – образец №3; г – образец №4

Рисунок 1 – Микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V, $\times 500$:

Уровень загрязненности оксидными неметаллическими включениями наплавленного металла невысок, в частности, силикаты недеформирующимися в основном балл 1б, 2б и оксидами точечными балл 1а и 2а (таблица 2).

Выводы

1. Исследованиями определено, что получение углерода в наплавляемом слое 0,31-0,62 % С при использовании порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V диаметром 5 мм на режимах наплавки $I = 420-520\text{А}$, $U = 28-32\text{В}$, $V_{\text{св}} = 7,2-9\text{м/ч}$ позволяет обеспечить удовлетворительное качество поверхности наплавленного слоя металла - без трещин, пор и раковин без использования предварительного подогрева наплавляемой поверхности.

2. Металлографический анализ наплавленной поверхности показал, что микроструктура наплавленных слоев представляет собой среднеигольчатый и крупноигольчатый мартенсит (балл 6 и 7) с размером игл 7 – 13 мкм, сформировавшийся внутри границ бывшего зерна аустенита, небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных участков и тонкие прослойки δ -феррита. Структура равномерная, имеет дендритное строение. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 6, № 5. Повышение содержания углеродфторсодержащей составляющей шихты порошковой проволоки и соответственно увеличение содержания углерода в наплавленном слое способствует уменьшению уровня загрязненности наплавленного металла силикатами недеформирующимися и оксидами точечными, что определяется повышением уровня дегазации при наплавке за счет образования газообразных продуктов реакции оксидов углерода.

3. Уменьшение размера первичного зерна аустенита, по-видимому, связано с образования труднорастворимых карбидов хрома, молибдена и ванадия, оказывающих тормозящее действие на рост зерна.

Библиографический список

1. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974 – 768с.

2. Osetkovskiy I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E. 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 / Materials and processing Technology. Materials science forum, 2017, Vol. 906, pp. 1-7 ||doi:10.428/www.scientific.net/MSF.906.1.

3. Осетковский И.В. Сравнительный анализ абразивной износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V / Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Попова М.В.// Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 5. -С. 198-202.

4. 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.

5. Пат. 2726230 МПК8 В23 35/368 Порошковая проволока/ Уманский А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р., Думова Л.В., Усольцев А.А., Козырева О.А., Осетковский И.В., Комаров А.А. .; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».- №2020100811, Заявл. 09.01.2020 , опубл. 10.07.2020 Бюл. № 19.

УДК 621.791.042.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Полегешко С.А. Казарян Л.А., Ким В.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: asaysis3d@gmail.com*

Исследовано влияние введения порошка титана в состав порошковой проволоки на внешний вид наплавленного слоя. Изготовлено 4 варианта составов порошковой проволоки с различным содержанием титана. Проведена наплавка образцов с использованием порошковых проволок изучаемого состава.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, порошок титана, износ, внешний вид.

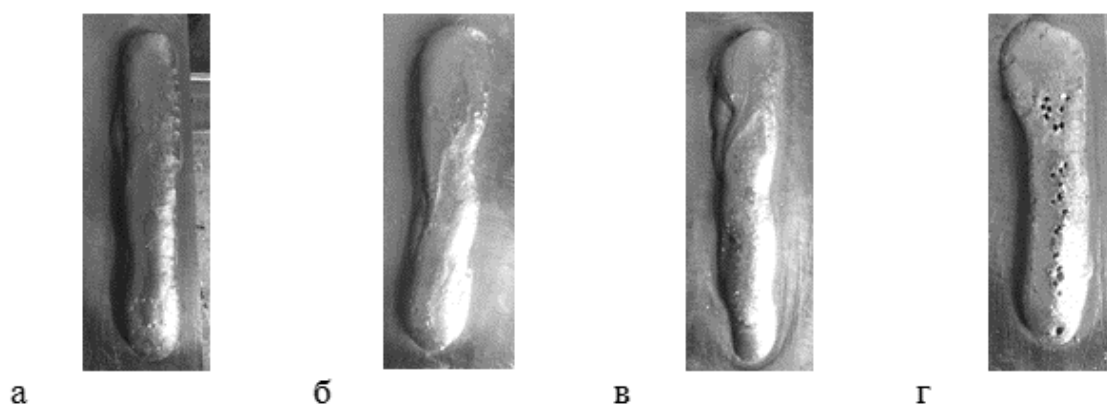
Рабочий слой прокатных валков должен обладать высокой прочностью, вязкостью, износостойкостью, теплостойкостью и высокой твердостью. Наиболее полно всем этим свойствам отвечают теплостойкие инструментальные стали высокой твердости, которые сочетают теплостойкость (600 – 700 °С) с высокой твердостью (HRC 63-68) и повышенным сопротивлением пластической деформации.

Таким образом, разработка и применение наплавочных материалов для восстановления прокатных валков является актуальной задачей. Причем в зависимости от конкретных условий работы валков должен разрабатываться материал с определенными доминирующими свойствами. Например, для наплавки рабочего слоя валков горячей прокатки стальных заготовок необходима высокая твердость наплавленного слоя.

Изготовление порошковой проволоки 35В9Х3СФ проводили с использованием следующих порошковых материалов: железо ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86, никель ПНК-1Л15 по ГОСТ 9722-97, феррохром ФХ900А по ГОСТ 4757-91, ферромарганец ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, вольфрам ПВН ТУ 48-19-72-92, феррованадий ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, ферросилиций ФС 75

по ГОСТ1415-93, порошок титана ПТС1 по ТУ14-22-57-92, в качестве углеродсодержащего материала использовали пыль газоочистки алюминиевого производства следующего состава, в мас. %: $Al_2O_3 = 21-46$; $Na_2O = 8-15$; $MgO = 0,06-0,9$; $F = 18-27$; $K_2O = 0,4-6$; $CaO = 0,7-2,3$; $MnO = 0,07-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $SiO_2 = 0,5-2,5$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,3$; $P = 0,10-0,18$; Собщ = 12,5-30,2.

Наплавка порошковыми проволоками осуществлялась в лаборатории на пластины из стали 09Г2С в четыре слоя под флюсом изготовленным из шлака производства силикомарганца с использованием сварочного трактора АСАW-1250 на режиме: сила тока $I = 470A$, напряжение $U = 30B$, скорость сварки $V_{св} = 20$ см/мин. Внешний вид наплавленных образцов, с различным содержанием титана представлен на рисунке 1.



а – 0,1% Ti; б – 0,5% Ti; в – 1% Ti; г – 1,5% Ti.

Рисунок 1 – Внешний вид наплавленного металла

Выводы

1. Установлено, что при увеличении содержания титана в порошковой проволоке более 1,5% появляются внешние дефекты (поры, трещины).

2. Целью дальнейшего исследования состоит исследование химического состава наплавленных образцов, изучение твёрдости, износостойкости и проведение микроструктурного анализа полученных образцов.

Библиографический список

1. Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е. Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. Т.4.– № 2 . - С. 113-119.

2. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях износа / Гусев А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Бащенко Л.П.// Известия вузов. Черная металлургия. – 2018. – т. 61. № 11. – С. 898-906.

3. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co / Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В //

Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 2. -С. 56-60.

4. Сравнительный анализ абразивной износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V / Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Попова М.В.// Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 5. -С. 198-202.

УДК 621.791.042.3

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ПОРОШКА ТИТАНА В ПОРОШКОВУЮ ПРОВОЛОКУ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

Сычев А.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Киселев П.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Крюков Р.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mikno-mm131@mail.ru*

Изучено влияние введения в состав порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni порошка титана на микроструктуру и физико-механические свойства. Изучена микроструктура, неметаллические включения в наплавленном слое, а также проведена статистическая обработка влияния увеличения содержания титана в наплавленном слое на твердость и износостойкость.

Ключевые слова: наплавка, сварочный флюс, порошковая проволока, техногенные отходы, шлак производства силикомарганца, титан, микроструктура, неметаллические включения, твердость, степень износа.

Качество наплавленного (восстановленного) слоя при ремонте деталей, работающих в условиях интенсивного износа в большей степени, зависит от выбора сварочных материалов и их технологических свойств. Состав этих материалов полностью определяет состав жидкого шлака, состав атмосферы дуги, химический состав наплавленного слоя, от которого зависит структура, механические свойства восстановленной детали [1].

Повышение эксплуатационных свойств деталей, восстановленных способом наплавки достигается модифицированием его структуры. При этом управлять формированием структуры можно различными способами модифицирования. Наиболее распространенный способ - введение в сварочную ванну в составе проволок, флюсов и других материалов, порошков различных металлов, в том числе и редкоземельных, способствующих формированию в металлическом расплаве преимущественно тугоплавких химических соединений эндогенного происхождения, служащих новыми центрами его

кристаллизации. В последние годы в сварочном производстве активно развиваются процессы более эффективного модифицирования металла с использованием ультра- и нанодисперсных частиц тугоплавких химических соединений. Такие соединения при введении в металлический расплав обеспечивают возможность модифицирования и дают возможность целенаправленно управлять качеством кристаллизующегося металла. [2,3].

Исследование влияния введения в состав порошковой проволоки порошка титана (ПТС) на микроструктуру, твердость и износостойкость исследовалось в данной работе.

Материалы и методы исследования

С целью изучения влияния введения порошка титана в порошковые проволоки на микроструктуру, твердость и износостойкость при наплавке под марганецсодержащим флюсом изготовлены проволоки с расчетным (без учета угара) содержанием порошка титана.

Наплавка образцов осуществлялась на подложку из стали марки 09Г2С с использованием сварочного флюса изготовленного из шлака производства силикомарганца, разработанного в условиях СибГИУ [4,5]

Результаты исследования и их обсуждение.

Химический состав наплавленного слоя (таблица 1) шлаковых корок (таблица 2), исследуемых образцов изучался с использованием рентгенофлюоресцентного метода на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС -71.

Таблица 1 – Химический состав наплавленного слоя

№ образца	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
C1	0,24	1,36	1,44	4,75	0,34	0,05	0,008	0,004	0,62	0,012	0,003	0,050	0,019
C2	0,24	1,72	1,19	5,97	0,37	0,06	0,013	0,005	0,85	0,013	0,003	0,055	0,026
C3	0,27	2,51	1,61	4,64	0,27	0,06	0,019	0,004	0,67	0,043	0,004	0,034	0,019
C4	0,27	2,66	1,68	4,63	0,27	0,06	0,035	0,004	0,64	0,045	0,004	0,044	0,010

Таблица 2 – Химический состав шлаковых корок

№ образца	Массовая доля элементов, %																	
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	C	F	BaO	TiO ₂	SrO	Cr ₂ O ₃	WO ₃
C1	1,84	6,27	35,49	43,53	7,51	1,32	0,32	0,59	0,21	0,021	0,005	0,041	0,33	0,88	0,14	0,27	0,46	0,001
C2	1,98	6,23	36,48	41,58	7,52	1,15	0,27	0,58	0,21	0,021	0,007	0,070	0,29	0,97	0,15	0,29	0,35	0,28
C3	2,34	6,24	34,52	41,45	7,75	1,31	0,40	0,60	0,24	0,021	0,003	0,057	0,66	0,85	0,16	0,29	0,76	0,53
C4	1,65	6,23	35,87	42,26	7,19	1,11	0,37	0,59	0,21	0,021	0,006	0,062	0,37	0,91	0,14	0,28	0,77	0,015

Исследование образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778-70. Полированную поверхность

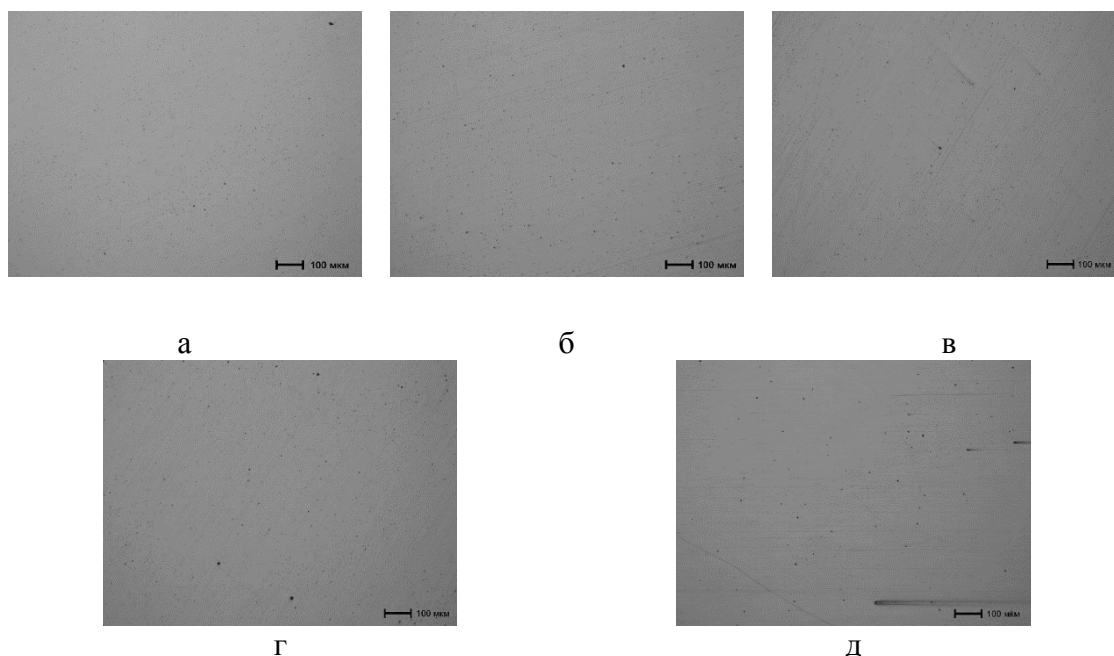
изучали при увеличении $\times 100$ методом сравнения с эталонными шкалами.

В результате изучения характера неметаллических включений основного металла и наплавленного на него слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Cr-Mn-Si-Mo-Ni-Ti отмечена их загрязненность оксидными неметаллическими включениями, в частности силикатами недеформирующимися и оксидами точечными. При содержании титана 0,008 и 0,013% в составе наплавленного слоя наблюдается наименьшая загрязненность неметаллическими включениями. При повышении содержания титана до 0,019 и 0,035% в наплавленном слое установлено присутствие в нем нитридов точечных кроме силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (таблица 3, рисунок 1).

Таблица 3 – Характеристика неметаллических включений исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		
	Оксиды точечные	Силикаты недеформирующиеся	Нитриды точечные
С1	3 а	3а	–
С2	4а	2а	–
С3	4а	2б	1а
С4	4а	5б	2а
Основной металл	3а	3б	–

Таким образом, показано, что изменение химического состава исследуемой порошковой проволоки оказывает влияние на уровень загрязненности неметаллическими включениями наплавленного ею слоя.



а - образец С1, б - образец С2, в - образец С3, г - образец С4, д – основной металл

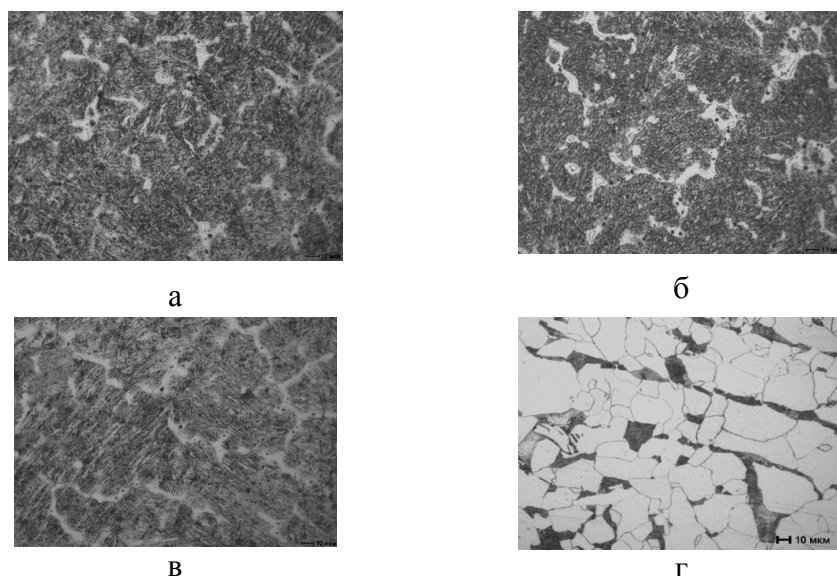
Рисунок 1 – Неметаллические включения наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Cr-Mn-Si-Mo-Ni-Ti

Металлографические исследования полированных микрошлифов после травления в 4% растворе HNO_3 в этиловом спирте проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений от $\times 100$ до $\times 1000$ с использованием пакета прикладных программ для металлографических исследований Siams Photolab 700. Величину первичного зерна аустенита и характеристики мартенсита в структуре наплавленного порошковой проволоки слоя определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$ и по ГОСТ 8233-56 при увеличении $\times 1000$ соответственно методом сравнения с эталонными шкалами.

Металлографический анализ показал, что основной металл имеет феррито-перлитную структуру. Микроструктура наплавленных слоев равномерная, имеет дендритное строение и представляет собой мелкоигльчатый мартенсит (балл 3 и 4) с размером игл от 2 до 6 мкм в бывших зернах аустенита, по границам которых располагаются тонкие прослойки δ -феррита, и небольшое количество аустенита остаточного в виде отдельных участков (рисунок 2). Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости соответствует №5 (рисунок 2). В периферийных областях образцов присутствует более мелкозернистая структура (величина бывшего аустенитного зерна соответствует № 6).

Установлено, что увеличение содержания титана с 0,013 до 0,019% не оказывает влияние на исследуемые характеристики структуры. При повышении содержания титана до 0,035% наблюдается незначительное укрупнение игл мартенсита при неизменной величине первичного зерна аустенита (таблица 2).

Измерение твердости наплавленного слоя (таблица 5) исследуемых образцов выполняли по методу Бринелля в соответствии с требованиями ГОСТ 9012-59.



а - образец С2, б - образец С3, в - образец С4, г – основной металл

Рисунок 2 – Микроструктура наплавленных слоев порошковой проволокой системы Fe-C-Cr-Mn-Si-Mo-Ni-Ti, $\times 500$

Вывод:

1. Увеличение содержания титана в наплавленном слое способствует увеличению содержания карбидов, незначительному увеличению твердости и износостойкости наплавленных слоев.

2. Увеличение содержания титана от 0,008 до 0,035% при одновременном изменении химического состава исследуемой порошковой проволоки оказывает влияние на уровень загрязненности неметаллическими включениями наплавленного ею слоя. Наименьшая загрязненность неметаллическими включениями наблюдается при содержании титана в составе наплавленного слоя в количестве 0,008 и 0,013%. Для наплавленных слоев с более высоким содержанием титана 0,019 и 0,035% установлено присутствие нитридов точечных кроме оксидных неметаллических включений.

3. Наилучшие параметры микроструктуры установлены для наплавленных слоев, полученных при использовании многокомпонентных проволок системы Fe-C-Cr-Mn-Si-Mo-Ni-Ti, с содержанием титана 0,013 и 0,019%. Их структура характеризуется величиной бывших зерен аустенита соответствующей по шкале зернистости №5, в которых располагается мелкоиглочатый мартенсит с размером игл до 4 мкм.

Библиографический список

1. Еремин Н. Е., Лосев А. С. Порошковая проволока для наплавке уплотнительных поверхностей запорной арматуры / Еремин Н. Е., Лосев А. С. // Омский научный вестник. 2014. – №2. – С. 45-47

2. Соколов Г.Н. Наплавка износостойких сплавов на прессы штампы и инструмент для горячего деформирования сталей: монография / Г.Н. Соколов, В.И. Лысак; ВолгГТУ. – Волгоград : РПК "Политехник", 2005. – 284 с.

3. Артемьев, А. А. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла / А. А. Артемьев, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2011. – № 12. – С. 32-37.

4. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Бащенко // Сварка и контроль – 2018 : материалы международной научно-технической конференции, посвященной 130-летию изобретения Н. Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом, 18-21 сентября 2018 г. – Пермь, 2018. – С. 168–182.

5. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, А. А. Усольцев, А. А. Уманский // Сварочное производство. – 2020. – № 2 (1023). – С. 16–21.

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ТИТАНА В СОСТАВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ТИПА 25Х5ФМС

Тюрин А.А., Киселев П.В., Шевченко Р.А., Михно А.Р.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mikno-mm131@mail.ru*

Изучено влияние введения титана на микроструктуру и физико-механические свойства металла наплавленного порошковой проволокой 25Х5ФМС. Наплавка исследуемых образцов осуществлялась с использованием флюса, изготовленного из шлакового щебня производства силикомарганца.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, сварочный флюс, шлак производства силикомарганца, техногенные отходы, микроструктура, неметаллические включения, твердость, износ.

В развитых странах более 90 % всей выплавляемой стали разливается с применением технологии непрерывной разливки. Однако, эффективность работы МНЛЗ во многом зависит от стойкости роликов, эксплуатируемых в условиях длительных циклических и термомеханических нагрузок в присутствии агрессивной среды. Разрушение рабочей поверхности роликов проявляется в виде износа поверхностного слоя и образования трещин разгара. Восстановительная наплавка роликов МНЛЗ наиболее эффективна с применением, в качестве наплавочного материала, порошковых проволок. Эффективность выработанного решения определяется стоимостью порошковой проволоки, производительностью процесса, толщиной наплавленного слоя, энергоемкостью всех этапов технологии, стоимостью монтажных работ, простым оборудованием.

В настоящее время для восстановительной наплавки роликов МНЛЗ традиционно применяются сплошные и порошковые проволоки таких марок как: 12Х13, 20Х17 в сочетании с флюсами АН20С и АН26П, обеспечивающие хромистый наплавленный металл с мартенситно-ферритной структурой, для которой характерно формирование больших полей δ -феррита, являющихся причиной образования трещин разгара и повышенного износа. Кроме этого процесс наплавки характеризуется затруднительным отделением шлаковой корки, что является причиной появления дефектов в виде протяженных шлаковых включений и усложнения условий труда оператора наплавочной установки. Ресурс таких роликов составляет 300–400 тыс. тонн, что не отвечает современным требованиям. Причиной этого является неудовлетворительное структурное состояние наплавленного металла [1].

Для устранения приведенных недостатков в РФ широко используется наплавка под флюсом порошковыми проволоками типа 25Х5ФМС. Ряд тех-

нологий наплавки в сочетании с флюсами на основе шлака производства силикомарганца, разработан в условиях СибГИУ [2,3].

С целью обеспечения высокой работоспособности наплавленного металла проведены лабораторные исследования по совершенствованию шихтовки порошковой проволоки марки 25ХФМС путем введения в состав дополнительно порошка титана.

Материалы и методы исследования

Совершенствование состава порошковой проволоки типа 25ХФМС проводилось на лабораторном станке по изготовлению порошковых проволок с использованием порошкообразных материалов:; железного порошка ПЖВ-1 по ГОСТ 9849-86, порошка марганца МР-0 по ГОСТ 6008-82, порошка кремния КР-1 по ГОСТ 2169-69, порошка хрома ПХА-1М по ТУ 14-1-1474-75, порошка никеля ПНК 1Л5 по ГОСТ 9722-97, порошка феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, молибденового порошка МПЧ по ТУ 48-19-69-9, порошка титана ПТС по ТУ 15-1958, и пыли газоочистки алюминиевого производства в качестве углеродфторсодержащего материала взамен графита аморфного.

С целью изучения влияния введения порошка титана в порошковые проволоки типа 25ХФМС при наплавке под марганецсодержащим флюсом изготовлены четыре порошковые проволоки с различным содержанием порошка титана. При этом изучался полученный с использованием данных порошковых проволок наплавленный металл (соответственно образцы: Т1; Т2; Т3; Т4).

Наплавка образцов осуществлялась с использованием разработанного в условиях СибГИУ [4] сварочного флюса, изготовленного из шлака производства силикомарганца с химическим составом, масс. %: 0,52 FeO; 29,13 CaO; 16,15 MnO; 42,40 SiO₂; 1,39 MgO; 6,80 Al₂O₃; 0,17 TiO₂; 0,59 K₂O; 0,18 Na₂O; 0,024 C; 0,23 S; 0,022 P; 0,32 F; 0,004 ZnO; 0,033 Cr₂O₃. Наплавка исследуемых образцов осуществлялась с использованием режима наплавки, рекомендованного по ГОСТ 26101-84: сила тока 620А, напряжение 32В, скорость наплавки 20 см/мин.

Результаты исследования и их обсуждение.

Химический состав наплавленного металла представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав наплавленного слоя

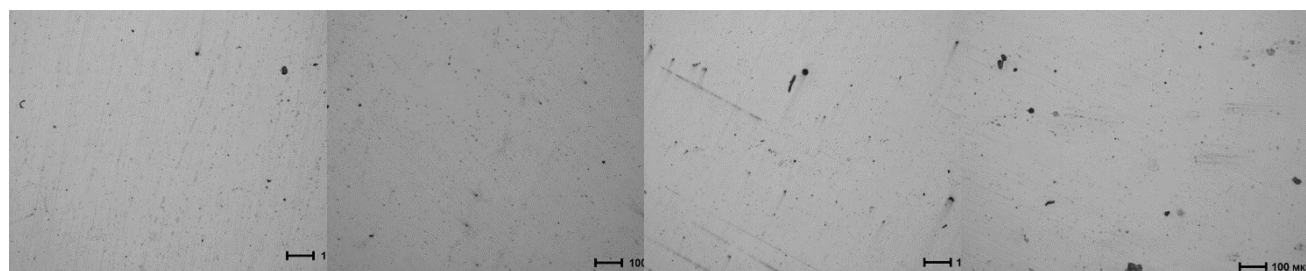
Маркировка образца	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
T1	0,36	0,96	1,21	5,57	0,7	0,08	0,001	0,31	1,29	0,024	0,002	0,057	0,023
T2	0,42	0,9	1,18	5,63	0,72	0,08	0,021	0,38	1,37	0,027	0,004	0,055	0,024
T3	0,41	1,34	1,65	5,89	0,7	0,07	0,064	0,34	1,32	0,038	0,003	0,044	0,028
T4	0,39	0,98	1,24	5,45	0,71	0,05	0,067	0,32	1,25	0,038	0,002	0,051	0,029

Исследование образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений (таблица 2, рисунок 1) проводили по ГОСТ 1778-70. Полированную поверхность изучали при увеличении $\times 100$.

Металлографические исследования полированных микрошлифов проводились с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений от $\times 100$ до $\times 1000$. Микроструктуру наплавленных образцов изучали при увеличении $\times 500$ (рисунок 2) после травления образцов в 4% растворе HNO_3 в этиловом спирте.

Таблица 2 – Неметаллические включения наплавленных образцов

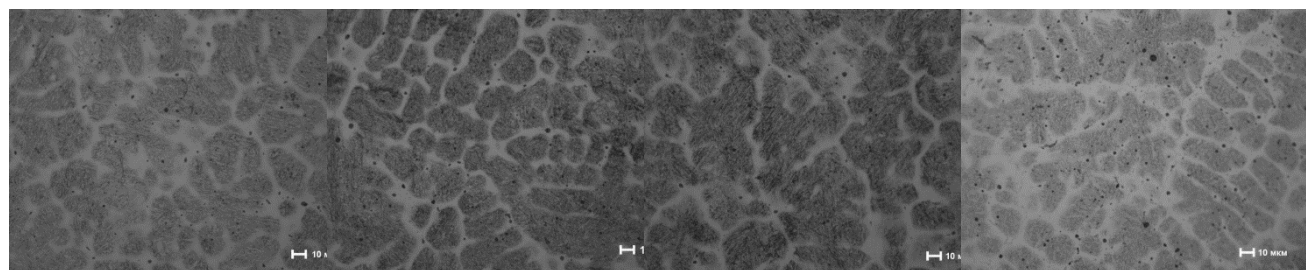
№ Образца	Типы неметаллических включений	
	Оксиды точечные	Силикаты недеформирующиеся
Т1	2а	4а, 2б
Т2	2а	4а, 1б
Т3	2а	4а, 5б
Т4	2а	4а5б



а) б) в) г)

а - образец Т1, б - образец Т2, в - образец Т3, г - образец Т4

Рисунок 1 – Неметаллические включения исследуемых образцов, $\times 100$



а) б) в) г)

а - образец Т1, б - образец Т2, в - образец Т3, г - образец Т4

Рисунок 2 – Микроструктура наплавленных образцов

Измерение твердости наплавленного слоя (таблица 3) исследуемых образцов выполняли по методу Бринелля с помощью ультразвукового твердомера УЗИТ-3 в соответствии с требованиями ГОСТ 9012-59.

Таблица 3 – Степень износа и твердость исследуемых образцов

№ образца	Пределы твердости по НВ	Пределы твердости по HRC	Средняя твердость НВ	Средняя твердость HRC	Степень износ (г/оборот·10 ⁻⁵)
T1	402-573	40-46	473	43	2,94
T2	456-510	45-48	484	45	2,76
T3	475-561	45-50	507	48	2,37
T4	445-526	45-48	487	46	2,61

Износостойкость наплавленного слоя исследуемых образцов определяли по схеме диск-колодка путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1. Результаты износостойкости исследуемых образцов представлены в таблице 3.

Выводы:

1. Проведенные исследования указывают высокую степень угара титана в наплавленном слое и высокое содержание марганца.
2. Увеличение содержания титана в наплавленном металле способствует повышению твердости и износостойкости.
3. Математические модели степени износа и твердости от химического состава наплавленного слоя могут быть использованы при разработке новых порошковых проволок для наплавки.

Библиографический список:

1. Сварочные и наплавочные материалы [Электронный ресурс] : учебник / С.В. Михайлицын, И.Н. Зверева, М.А. Шекшеев. - М. : Инфра-Инженерия, 2020. Режим доступа: [https://www.studentlibrary.ru /book/ISBN9785972904020.html](https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972904020.html).
2. Влияние никеля и углеродфторсодержащей добавки на структуру и свойства наплавляемой стали 25X5ФМС/ Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А. // Актуальные проблемы в машиностроении – 2016. - № 3. – С. 54-59.
3. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования С-Si-Mn-Cr-V-Mo и С-Si-Mn-Cr-W-V/ Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А.// Бюллетень «Черная металлургия» -2016.- № 4. -С. 74-78.
4. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Бащенко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 6 (1422). – С. 55–66.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ В АО ЕВРАЗ ЗСМК В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Чумачков И.И., Арсентьева Е.Г.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А

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

Для количественной оценки свойств рельсов рассмотрен метод множественной регрессии, позволяющий предсказывать их характеристики, выводить на экран оператора информацию с рецептами и рекомендациями.

Ключевые слова: математическая модель, статистика, твердость, цифровая трансформация, рельсы.

Исходя из роста производительности вычислительных машин значительно снижается скорость обработки больших баз данных, однако на данный момент предприятия используют полученную информацию лишь в незначительной мере [1].

Внедрение концепции цифровой трансформации на металлургическом предприятии АО ЕВРАЗ ЗСМК и применение на практике метода регрессионного анализа может повысить его производительность путем выведения рецептов и рекомендаций на экран оператора, что позволит значительно снизить процент брака, повысить долю качественной продукции и снизить время реагирования на изменения свойств продукции.

Для оценки перспектив использования множественного регрессионного анализа рассматривалась твердость на поверхности катания головки рельсов, в качестве зависимых переменных учитывался химический состав стали, влажность и давление воздуха, а также режим термоупрочнения [2-4].

Условия выборки для анализа включают в себя характеристики 100 рельсов категории ДТ350 стали марки Э76ХФ, произведенных в разное время года с отличающимися режимами закалки (таблица 1), где НВ – фактическая твердость на поверхности катания головки, Т – температура окружающего воздуха, (К), φ – относительная влажность, Р – атмосферное давление, С-Nb – химические элементы в соответствии с таблицей Менделеева.

Вычислительная задача метода множественной регрессии состоит в построении линии через точки, являющимися независимыми переменными [5]:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + e \quad (1)$$

где y – зависимая переменная,

x_1, x_2, \dots, x_p – независимые переменные;

a и b_1, b_2, \dots, b_p – параметры (коэффициенты) модели,
 e – независимые случайные ошибки.

Таблица 1 – Включённые в модель параметры

№	HB	T, K	φ	P	C	Mn	Si	V	P	S	Al	Cr	Ni	Cu	Ti	N	H	Mo	Sb	Sn	Nb
1	380	254	60,25	747	0,73	0,8	0,55	0,06	0,009	0,009	0,002	0,41	0,16	0,09	0,003	0,011	1,1	0,04	0,001	0,005	0,001
2	381	269,5	68	739	0,76	0,77	0,55	0,04	0,01	0,005	0,003	0,42	0,08	0,1	0,003	0,008	1,1	0,08	0,002	0,005	0,002
3	381	269,5	68	739	0,76	0,77	0,55	0,04	0,01	0,005	0,003	0,42	0,08	0,1	0,003	0,008	1,1	0,008	0,002	0,005	0,002
n+1																					
50	383	272	83,75	737	0,77	0,78	0,56	0,04	0,014	0,017	0,004	0,42	0,07	0,1	0,003	0,008	1	0,006	0,002	0,005	0,002
51	382	262,5	73,5	739	0,77	0,8	0,56	0,06	0,013	0,008	0,003	0,04	0,16	0,08	0,003	0,011	1,2	0,007	0,002	0,004	0,002
52	377	262,5	73,5	739	0,74	0,78	0,55	0,06	0,009	0,006	0,003	0,04	0,16	0,08	0,002	0,01	1,1	0,005	0,002	0,004	0,002
53	386	262,5	73,5	739	0,73	0,78	0,56	0,06	0,01	0,006	0,003	0,04	0,16	0,08	0,003	0,01	1,3	0,005	0,002	0,004	0,001
n+1																					
100	383	262,5	73,5	739	0,74	0,79	0,56	0,06	0,011	0,005	0,003	0,41	0,16	0,07	0,003	0,011	1,3	0,004	0,001	0,003	0,001
101	392	285,5	81,25	747	0,77	0,78	0,56	0,04	0,011	0,01	0,003	0,42	0,06	0,1	0,003	0,008	0,8	0,005	0,001	0,005	0,001
102	384	285,5	81,25	747	0,76	0,79	0,56	0,04	0,01	0,009	0,003	0,42	0,06	0,09	0,003	0,007	1	0,004	0,001	0,005	0,001
103	393	285,5	81,25	747	0,77	0,77	0,56	0,04	0,009	0,008	0,004	0,41	0,07	0,11	0,003	0,009	1	0,007	0,001	0,006	0,002
n+1																					
150	384	285,5	81,25	747	0,76	0,8	0,55	0,04	0,01	0,007	0,004	0,42	0,08	0,11	0,003	0,009	0,8	0,006	0,001	0,006	0,002

Режим закалки

С целью снижения ошибки абсолютных переменных [5], проведено логарифмирование данных (таблица 2).

Таблица 2 – Преобразованные параметры математической модели

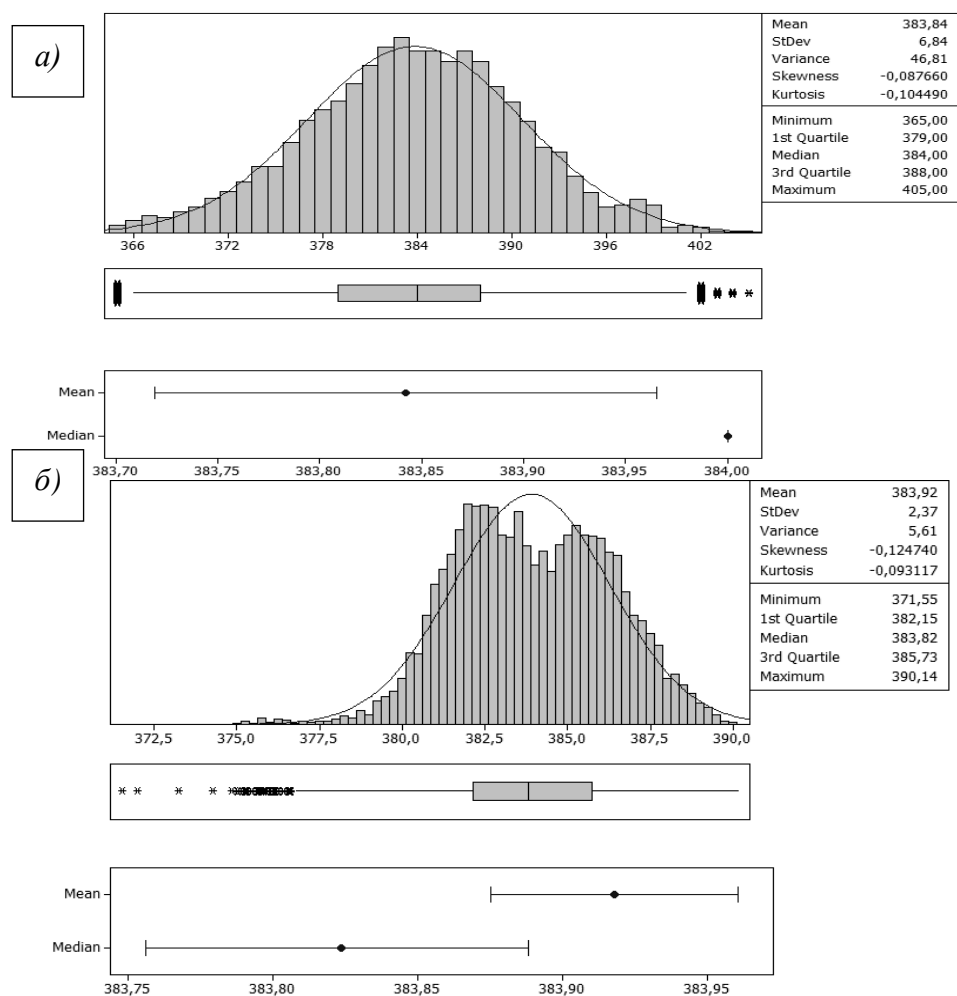
№	HB	T, K	φ	P	C	Mn	Si	V	P	S	Al	Cr	Ni	Cu	Ti	N	H	Mo	Sb	Sn	Nb
1	5,94	5,54	44,1	6,62	-0,31	-0,22	-0,6	-2,81	-4,71	-4,71	-6,21	-0,89	-1,83	-2,41	-5,81	-4,51	00,1	-3,22	-6,91	-5,3	-6,91
2	55,94	55,6	44,22	60,61	-0,27	-0,26	-0,6	-3,22	-4,61	-5,3	-5,81	-0,87	-2,53	-2,3	-5,81	-4,83	00,1	-2,53	-6,21	-5,3	-6,21
3	55,94	55,6	44,22	60,61	-0,27	-0,26	-0,6	-3,22	-4,61	-5,3	-5,81	-0,87	-2,53	-2,3	-5,81	-4,83	00,1	-4,83	-6,21	-5,3	-6,21
n+1																					
50	5,95	5,61	44,43	6,61	-0,26	-0,22	-0,58	-2,81	-4,34	-4,83	-5,81	-3,22	-1,83	-2,53	-5,81	-4,51	00,18	-4,96	-6,21	-5,52	-6,21
51	5,95	5,57	44,3	66,61	-0,3	-0,25	-0,6	-2,81	-4,71	-5,12	-5,81	-3,22	-1,83	-2,53	-6,21	-4,61	00,1	-5,3	-6,21	-5,52	-6,21
52	55,93	55,57	44,3	66,61	-0,31	-0,25	-0,58	-2,81	-4,61	-5,12	-5,81	-3,22	-1,83	-2,53	-5,81	-4,61	00,26	-5,3	-6,21	-5,52	-6,91
53	55,96	55,57	44,3	6,61	-0,3	-0,24	-0,58	-2,81	-4,51	-5,3	-5,81	-0,89	-1,83	-2,66	-5,81	-4,51	00,26	-5,52	-6,91	-5,81	-6,91
n+1																					
100	5,95	5,57	44,3	6,61	-0,3	-0,24	-0,58	-2,81	-4,51	-5,3	-5,81	-0,89	-1,83	-2,66	-5,81	-4,51	00,26	-5,52	-6,91	-5,81	-6,91
101	5,97	5,65	44,4	66,62	-0,26	-0,25	-0,58	-3,22	-4,51	-4,61	-5,81	-0,87	-2,81	-2,3	-5,81	-4,83	-0,22	-5,3	-6,91	-5,3	-6,91
102	5,95	55,65	44,4	66,62	-0,27	-0,24	-0,58	-3,22	-4,61	-4,71	-5,81	-0,87	-2,81	-2,41	-5,81	-4,96	00	-5,52	-6,91	-5,3	-6,91
103	5,97	55,65	44,4	66,62	-0,26	-0,26	-0,58	-3,22	-4,71	-4,83	-5,52	-0,89	-2,66	-2,21	-5,81	-4,71	00	-4,96	-6,91	-5,12	-6,21
n+1																					
150	5,95	55,65	44,4	66,62	-0,27	-0,22	-0,6	-3,22	-4,61	-4,96	-5,52	-0,87	-2,53	-2,21	-5,81	-4,71	-0,22	-5,12	-6,91	-5,12	-6,21

Режим закалки

В результате моделирования построены графики распределения теоретической и фактической твердости (рисунок 1 а). Видно, что фактическая твердость представляет собой нормальное распределение с отклонением

между средним и медианой 1 НВ, стандартное отклонение равно 6,84 НВ. Асимметрия распределения твердости, характеризующаяся параметром skewness равна -0,088 – что говорит о незначительном смещении распределения в левую сторону. Распределение остроты пика по коэффициенту эксцесса kurtosis равно -0,104 и характеризует плавность распределения (рисунок 1а).

В распределении теоретической твердости меньше стандартное отклонение (2,37 НВ), при практически нулевой разнице между средним и медианой. Асимметрия распределения равна -0,125 – значение незначительно ниже параметра в фактической твердости. Острота пика распределения равна -0,09 (рисунок 1б).



a – фактическая твердость на поверхности катания головки рельсов категории ДТ350,
б – теоретическая твердость

Рисунок 1 – Анализ распределения теоретической и фактической твердости

Большой разброс в значениях фактической твердости может быть связан погрешностью определения величин, а также участии других переменных, не учтенных при построении модели, к которым, к примеру, относятся температура и время в печи, скорость прокатки и др. (рисунок 2).

Применение метода множественной регрессии может увеличить процент годной продукции комбината при более полной проработке модели – добавлении дополнительных переменных, значительном расширении выборки и разработке программного обеспечения, способным выдавать рекомендации для оптимального рецепта.

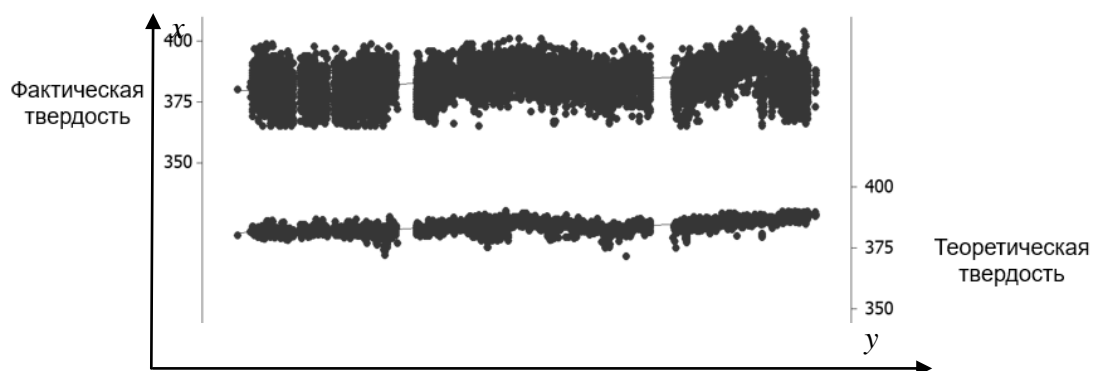


Рисунок 2 – Сравнение показателей твердости за одинаковые периоды времени

Библиографический список

1. Ghorbani Y., Nwaila G. T., Zhang S. E., Hay M. P. Repurposing legacy metallurgical data part II: Case studies of plant performance optimisation and process simulation [Text] / Y. Ghorbani, G. T.Nwaila, S. E. Zhang, M. P. Hay // Minerals Engineering. – 2021. – Vol. 160.
2. Sang In L. Microstructure-based prediction of yield ratio and uniform elongation in high-strength bainitic steels using multiple linear regression analysis [Text] / In L Sang-, L. Joonho, H. Byoungchul // Materials Science and Engineering: A. – 2019. – Vol.758. – P.56-59.
3. Wei X. High cycle fatigue characterization of a nickel-based superalloy based on a novel temperature-dependent regression method [Text] / X Wei [et. al.] // International Journal of Fatigue. – 2021. – Vol.142.
4. Pan L. Constitutive equations of 1060 pure aluminum based on modified double multiple nonlinear regression model [Text] / L. Pan [et. al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – Vol. 26. Issue 4. – P.1079-1095.
5. Канаев А. Т. Использование множественного регрессионного анализа для количественной оценки механических свойств упрочненных арматурных профилей [Текст] / А. Т. Канаев, И. П. Мазур., А. У. Ахмедьянов, М. А. Джаксымбетова // Наука и техника Казахстана. – № 3., – 2019., С. – 75-85.

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ
ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ
СВАРНЫХ СТЫКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ
МАРКИ 76ХСФ, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ КОНТАКТНОЙ
СТЫКОВОЙ СВАРКИ**

Шевченко Р.А., Косаченко К.К., Боровикова А.Г.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
д-р техн. наук, профессор Попова М.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: ksenia8191@mail.ru*

В работе было изучено влияние дифференцированной термической обработки на микроструктуру и микротвердость сварных рельсовых соединений из стали марки 76ХСФ, полученных методом контактной стыковой сварки пульсирующим оплавлением. При исследовании микроструктуры были выявлены различные зоны сварного соединения, основные структурные составляющие, а также установлены средние значения микротвердости каждой зоны.

Ключевые слова: сварное соединение, рельсы, зона термического влияния, контактно стыковая сварка, дифференцированная термообработка.

Введение

Рельсы являются наиболее ответственным элементом верхнего строения пути, потому как они воспринимают удары и давление колес подвижного состава, а также направляют их движение, то есть они выполняют две значимые функции: направляющего элемента и несущей опоры. Высокая эксплуатационная стойкость и надежность рельсов, должна гарантироваться совершенствованием технологий сварки рельсов, которые обеспечивают получение качественного бесстыкового железнодорожного пути [1].

Сварной стык является самым опасным и повреждаемым местом рельсовой плети. Изъятия по дефектам сварного стыка от общего числа изъятых рельсов достигают 30%, при этом, суммарная протяженность зоны стыка составляет не более 2% от длины рельсовой плети [2].

Наибольшее распространение среди различных методов сварки приобрел метод контактно стыковой сварки пульсирующим оплавлением.

С целью увеличения эксплуатационной стойкости рельсов в условиях напряженной работы, необходимо увеличить их механические свойства, что возможно только путем термической обработки. Эксплуатационная стойкость термоупрочненных рельсов увеличивается в 1,5 раза, а затраты по текущему содержанию пути уменьшаются на 35 % относительно нетермоупрочненных рельсов [3].

Дифференцированная термообработка сварных соединений заключается в индукционном нагреве всего сечения стыка с последующей нормализацией подошвы и шейки рельса и закалке головки. Способствует повышению твердости головки и сопротивлению хрупкому разрушению всего сварного стыка. Правые и левые зоны пониженной твердости сохраняются, но при этом они смещаются по длине рельса в зависимости от ширины металла нагретом [4].

Материалы и методы исследования

Для исследований была выбрана рельсовая сталь марки 76ХСФ [5], химический состав которой представлен в таблице 1. Образцы сварного соединения были получены способом контактной стыковой сварки пульсирующим оплавлением с помощью сварочной машины МСР–63.01. Один из образцов в дальнейшем был подвергнут дифференцированной термообработке, заключающейся в индукционном нагреве всего сечения стыка. Технология основана на дифференцированной двухсторонней закалке головки и подошвы рельса сжатым воздухом с прокатного нагрева с последующим самоотпуском.

Таблица 1 – Химический состав рельсовой стали марки 76ХСФ по результатам спектрального анализа

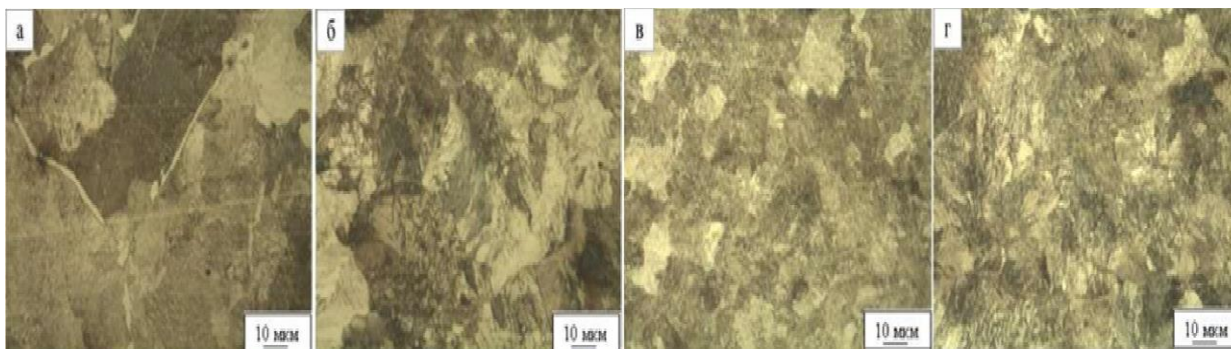
Массовая доля всех элементов, %									
Образец	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	S	P
Образец сварного соединения	0,73	0,56	0,81	0,42	0,081	0,127	0,035	0,014	0,009
Образец сварного соединения после термообработки	0,71	0,55	0,79	0,41	0,075	0,116	0,033	0,017	0,007

Металлографический анализ структуры сварного соединения рельсовой стали проводился при увеличении $\times 1000$ с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX–51. Для создания оптического контраста образцы были подвергнуты травлению в 4%-ом спиртовом растворе азотной кислоты (4%–HNO₃) в течение 8–9 с. Исследование микротвердости по Виккерсу проводилось с помощью микротвердомера HVS–1000А. Нагрузка во время испытаний составляла 10 МПа, время приложения и удержания нагрузки – 10 с.

Результаты исследования и их обсуждение

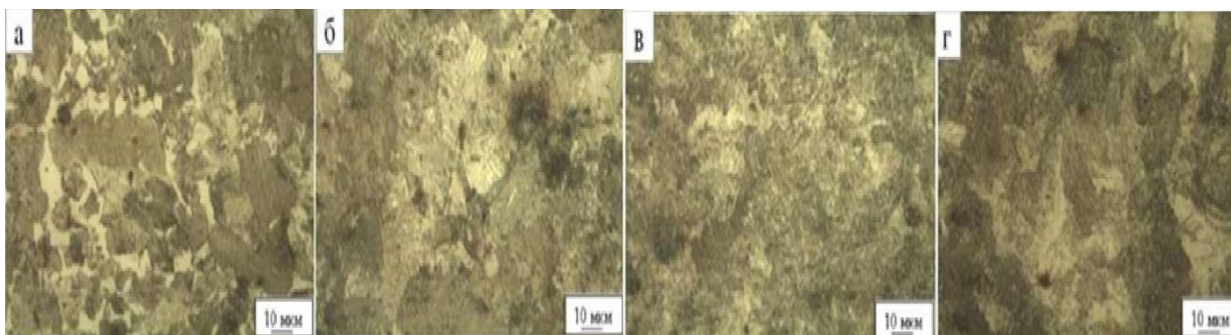
Исследование микроструктуры позволило разделить область сварного соединения на следующие зоны: зона сварного шва, зона термического влияния (ЗТВ), которая делится на зоны крупного и мелкого зерна, зона основного металла. Протяженность ЗТВ после сварки составляет 37 мм, а после дифференцированной термообработки – 114 мм.

На рисунках 1 и 2 представлены изображения микроструктуры исследуемых сварных соединений рельсовой стали марки 76ХСФ.



а – зона сварного шва; б – зона крупного зерна; в – зона мелкого зерна;
г – основной металл

Рисунок 1 – Микроструктура различных зон сварного соединения рельсовой стали 76ХСФ ($\times 1000$)



а – зона сварного шва; б – зона крупного зерна; в – зона мелкого зерна;
г – основной металл

Рисунок 2 – Микроструктура различных зон сварного соединения после дифференцированной термообработки ($\times 1000$)

Зона сварного шва представляет собой обезуглероженную зону, в которой феррит в виде сетки располагается по границам перлитных колоний (см. рисунок 1,а, 2,а). Микроструктура в зоне крупного зерна представлена крупными колониями пластинчатого перлита (см. рисунок 1,б, 2,б). В зоне мелкого зерна наблюдается более мелкодисперсная гетерогенная структура, состоящая из зернистого и сорбитообразного перлита (см. рисунок 1,в, 2,в). Микроструктура рельсовой стали после сварки, представляет собой колонии крупнозернистого пластинчатого перлита (сорбита) (см. рисунок 1,г, 2,г).

Результаты оценки микроструктуры образцов по баллам в различных зонах, согласно ГОСТ 8233–56 [6], представлены в таблице 2.

По результатам оценки микроструктуры, представленной в таблице 2 рельсовой стали марки 76ХСФ, можно установить, что преобладающей структурной составляющей во всех зонах образцов является перлит.

Значения микротвердости по зонам для исследуемых образцов представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Оценка микроструктуры образцов рельсовой стали марки 76ХСФ

Образец	Зона	Содержание, %		Балл
		Перлита	Феррита	
Образец сварного соединения после сварки	Зона сварного шва	75	25	4
	Зона крупного зерна	65	35	5
	Зона мелкого зерна	85	15	3
	Зона основного металла	75	25	4
Образец сварного соединения после дифференцированной термообработки	Зона сварного шва	65	35	5
	Зона крупного зерна	85	15	3
	Зона мелкого зерна	75	25	4
	Зона основного металла	75	25	4

Таблица 3 – Протяженность ЗТВ и значения микротвердости в различных зонах для исследуемых образцов

Состояние образцов	Протяженность ЗТВ, мм		Средние значения микротвердости, НВ			
	Зона крупного зерна	Зона мелкого зерна	Зона сварного шва	Зона крупного зерна	Зона мелкого зерна	Зона основного металла
после сварки	14	23	306,07	322,79	305,69	306,01
после термообработки	14	100	263,8	294,27	287,92	282,61

Из данных таблицы 3 следует, что дифференцированная термообработка снижает значения микротвердости во всех зонах. Максимальные значения наблюдаются в зоне крупного зерна в обоих образцах. Установлено, что дифференцированная термообработка способствует увеличению протяженности ЗТВ, а именно зоны с мелкозернистой структурой, которая обладает пониженными значениями микротвердости. Это, вероятнее всего, связано с образованием в данной зоне зернистого перлита.

Выводы

1. На основании проведенного металлографического анализа сварного соединения рельсовой стали марки 76ХСФ установлено, что зона термического влияния сварного соединения состоит из двух зон: крупного и мелкого зерна, которые различаются по микротвердости.

2. Установлено, что преобладающей структурной составляющей во всех зонах сварного соединения, как после сварки, так и после дифференцированного термического упрочнения, является перлит.

3. Выявлено, что дифференцированное термоупрочнение способствует увеличению протяженности зоны термического влияния с 37 мм до 114 мм, а именно зоны с мелкозернистой структурой. Максимальными значениями микротвердости обладает ЗТВ, а именно зона крупного зерна.

Библиографический список

1. Козырев, Н. А. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов / Н. А. Козырев, Р. А. Шевченко, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, С. В. Князев // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*, 2018. – С. 62 – 68.
2. Чернышов, Г. Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: учебное пособие / Г. Г. Чернышов, Д. М. Шашин, В. И. Гирш [и др.]; под редакцией Г. Г. Чернышова и Д. М. Шашина. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 464 с.
3. Полевой, Е. В. Разработка и промышленное освоение технологии дифференцированной термической обработки железнодорожных рельсов с использованием тепла прокатного нагрева / Е. В. Полевой, Г. Н. Юнин, М. В. Темлянцев // *Известия Высших Учебных Заведений. Черная Металлургия*. – 2016. – №59(10). – С. 704 – 714.
4. Борц, А. И., Дифференцированно-термоупрочненные рельсы: опыт применения и перспективы развития на российских железных дорогах / А. И. Борц, К. Л. Заграничек, Е. А. Шур // *Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД*. – 2017. – № 3. С. 40 – 45.
5. ГОСТ Р 51685–2013 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия». – Взамен ГОСТ Р 51685 – 2000; введен 2014-0-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 95с.
6. ГОСТ 8233 – 56 «Сталь. Эталоны микроструктуры». – Введен 1957-07-01. – Москва : ИПК Издательство Стандартов, 2004. – 12с.

УДК 669.18.017

АНАЛИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕТАЛЛА РЕЛЬСОВ МАРКИ 76ХСФ ПОСЛЕ СВАРКИ

Шевченко Р.А., Боровикова А.Г., Косаченко К.К.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
д-р техн. наук, профессор Попова М.В.**

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

В работе исследуется влияние параметров изотермической выдержки на неметаллические включения сварных соединений рельсов из стали марки 76ХСФ. При исследовании загрязненности неметаллическими включениями

было проведено анализ основного металла и сварного шва, произведена оценка неметаллических включений.

Ключевые слова: рельсовая сталь, неметаллические включения, электродуговая сварка, сварное соединение.

Введение

Чистота рельсов по неметаллическим включениям считается одним из факторов, которые определяют качество рельсовой стали, их время службы и возможность появления усталостных трещин. На сегодняшний день к рельсовым путям предъявляются высокие требования по безопасности передвижения, в связи с этим особо тщательно проверяется чистота рельсовой стали по неметаллическим включениям.

Качество рельсовой стали, с материаловедческой точки зрения, зависит от видов, размеров и количества частиц неметаллических включений [1-3].

Для исследований загрязненности рельсовой стали неметаллическими включениями использовали образцы стали марки 76ХСФ. Химический состав стали марки 76ХСФ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав рельсовой стали 76ХСФ по результатам спектрального анализа

Образец	Массовая доля всех элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	S	P
После сварки	0,7	0,5	0,8	0,4	0,08	0,12	0,03	0,01	0,00
	3	6	1	2	1	7	5	4	9
После сварки и дифференцированной термообработки	0,7	0,5	0,7	0,4	0,07	0,11	0,03	0,01	0,00
	1	5	9	1	5	6	3	7	7

Методика исследований. Исследование нетравленных шлифов стали марки 76ХСФ на неметаллические включения проводили при помощи металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51 с увеличением в 100 крат согласно ГОСТ 1778-70 [4].

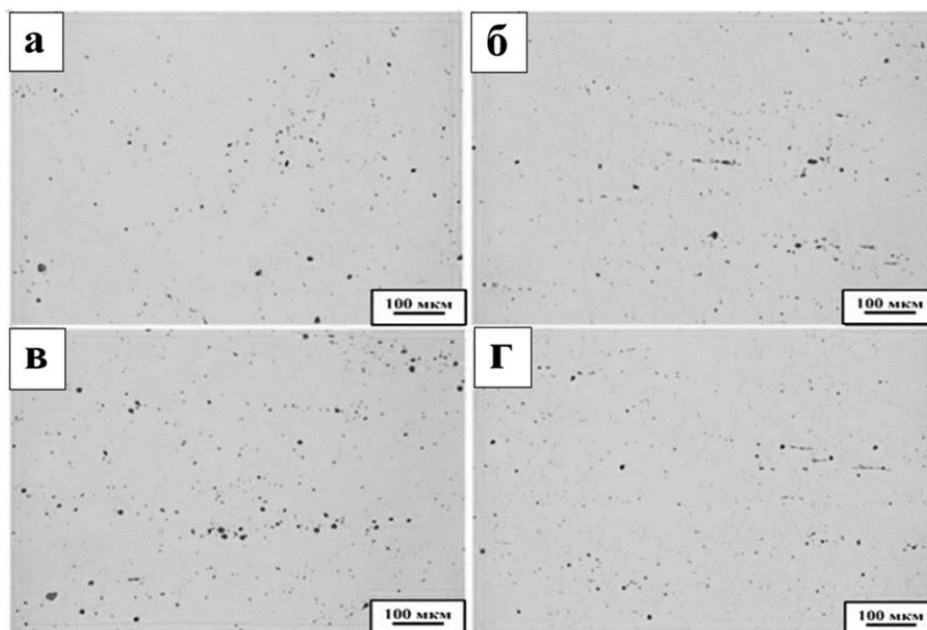
Результаты исследования и их обсуждения

Неметаллические включения в рельсовой стали определяли для образца №1 после контактной стыковой сварки без термообработки и образца №2 после контактной стыковой сварки и термической обработки.

Неметаллические включения, выявленные в исследуемых образцах, типичны для включений, образующихся при выплавке рельсовой стали. В соответствии ГОСТ 1778-70 в исследуемых образцах были выявлены следующие неметаллические включения: сульфиды, точечные оксиды и хрупкие силикаты.

В образце №1, подвергнутом контактной стыковой сварке без термообработки, преобладающим типом неметаллических включений являются точеч-

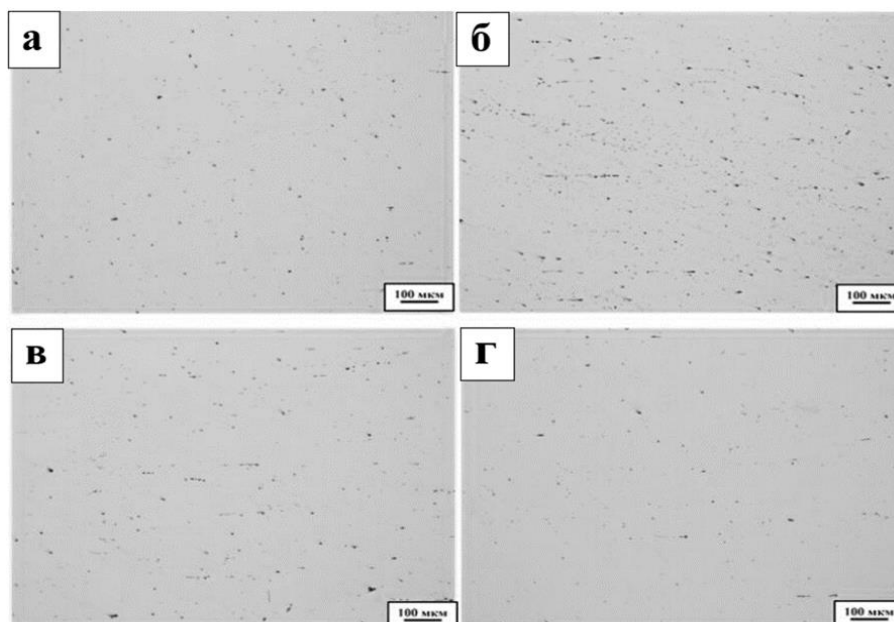
ные оксиды балл 2(а), также присутствуют строчечные балл 2(б) оксиды, сульфиды балл 1(б) и недеформирующиеся силикаты балл 1(б) (рисунок 1).



а – зона сварного шва; б, в – ЗТВ; г – основной металла

Рисунок 1 – Неметаллические включения в стали 76ХСФ после сварки

В образце №2, подвергнутом контактной стыковой сварке с термообработкой, наблюдались оксиды точечные балл 2(а), оксиды строчечные балл 1(б), сульфиды балл 1(а), недеформирующиеся силикаты балл 1(б). Как видно из рисунка 2, в образце №2 преобладают точечные оксиды.



а – зона сварного шва; б, в – ЗТВ; г – основной металла

Рисунок 2 – Неметаллические включения в рельсовой стали в стали 76ХСФ после сварки и термической обработки

Исходя из результатов исследования можно заключить, что в зоне сварного шва и основного металла присутствуют неметаллических включения в виде точечных и строчечных оксидов, сульфидов и недеформирующихся силикатов.

В результате исследований было установлено, что в основном металле выявлены неметаллические включения аналогичные включениям в зоне сварного шва. Металлографические исследования показали, что контактная стыковая сварка не оказала влияние на неметаллические включения в образцах.

Вывод: В соответствии с ГОСТ 1778-70 было установлено, что в образцах преобладающим типом неметаллических включений являются оксиды точечные.

Библиографический список

1. Симачев, А. С. Влияние неметаллических включений рельсовой стали на высокотемпературную пластичность / А. С. Симачев, Т. Н. Осколкова, М. В. Темлянцев // Известия вузов. Черная металлургия. – 2016. Том 59, № 2. – 134 – 137 с. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

2. Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ / А. Н. Гостевская, К. А. Бутакова, И. А. Азаренков, П. Э. Алимарданов ; науч. рук. Р. А. Шевченко. – Текст : непосредственный // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-21 мая 2020 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2020. – Вып. 24, ч. 1 : Естественные и технические науки. - С. 279 – 282.

3. Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ / Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, А. Н. Гостевская, К. А. Бутакова, А. А. Усольцев. – Текст : непосредственный // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сборник научных трудов. - Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2020. – Вып. 43. – С. 195 – 200.

4. ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79) Металлографические методы определения неметаллических включений. – Введ. 01.01.1972. – Москва : Стандартиформ – 2011, 34 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ГАЗООЧИСТКИ

Духанина Е.А., Михно А.Р.

Научный руководитель: канд. техн. наук Кибко Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mikno-mm131@mail.ru*

Приведены результаты исследования неметаллических включений металла наплавленного порошковой проволокой изготовленной на основе техногенных отходов газоочистки металлургического производства. Наплавка осуществлялась на подложку из стали 09Г2С с применением флюса, из шлака производства ферросиликомарганца.

Ключевые слова: Наплавка, порошковая проволока, сварочный флюс, износ, твердость, структура, неметаллические включения.

Разработке новых составов наплавочных материалов для ремонтно-восстановительных работ в СибГИУ уделяется большое внимание [1-3]. В представленной работе приведены результаты проведенных исследований наплавленного металла порошковой проволокой на основе техногенных отходов газоочистки.

Наплавка порошковой проволокой, изготовленной на основе пыли газоочистки алюминиевого производства (в качестве восстановителя) и пыли газоочистки производства феррохрома (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида хрома), производилась на образцах размером 100×100 мм толщиной 20 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводился с использованием сварочного трактора АSAW-1250. Химический состав компонентов исследуемой проволоки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав компонентов порошковой проволоки

Компонент	Химический состав, мас. %														
	C	S	P	F	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Ca O	Mg O	Al ₂ O ₃	FeO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn O	Na ₂ O	K ₂ O	
пыль газоочистки феррохрома	6,2	1,2	–	–	22,5	15, 5	0,4	31,1	5,4	6,0	–	–	–	–	
пыль газоочистки алюминиев ого производст ва	12,5 - 30,2	0,09 - 0,19	0,1 - 0,1 8	18 - 27	-	0,5 - 2,4 8	0,7 - 2,3	0,06 - -0,9	21- 46,2 3	-	2,1- 3,27	0,07 -0,9	8-15	0,4 -6	

После подготовки всех компонентов порошковой проволоки проводилось их смешение в различных соотношениях, представленных в таблице 2. Изготовление проволоки проводили на лабораторной машине по технологии с пропусканием через фильеры. Диаметр полученной проволоки составляет 5 мм, а ее оболочка выполнена из ленты СтЗ.

Таблица 2 – Компонентный состав порошковых проволок

№	Масса пыли газоочистки феррофрома, г	Концентрация пыли газоочистки феррофрома, %	Масса восстановителя, г	Концентрация восстановителя, %
1	100	79,2	26,3	20,8
2	100	72,0	39,4	28,0
3	100	65,6	52,6	34,4
4	100	56,0	78,9	44,0

Для проведения наплавки был использован флюс, изготовленный из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода. Химический состав используемого флюса представлен в таблице 3.

Опытным методом подобран оптимальный режим наплавки: сила тока 620А, напряжение 32В, скорость наплавки 28 см/мин.

Таблица 3 – Химический состав флюса

Химический состав, мас. %										
S	P	F	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
0,15-0,17	0,01	0,28-0,76	46,46-48,16	22,85-31,70	6,48-7,92	6,91-9,62	0,27-0,81	8,01-8,43	0,26-0,36	0,6-2

После проведения наплавочных работ изучался химический состав наплавленных образцов (таблица 5) проведены металлографические исследования.

Таблица 5 – Химический состав наплавленного слоя металла, %

№ образца	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	Co	Nb	Ti
1	0,13	0,42	1,110	0,012	0,05	0,42	0,065	0,058	0,005	0,006	0,006	0,015	0,009	0,005
2	0,16	0,56	1,350	0,010	0,09	0,49	0,071	0,050	0,010	0,003	0,004	0,020	0,003	0,004
3	0,21	0,50	1,010	0,014	0,08	0,42	0,070	0,051	0,011	0,004	0,010	0,020	0,004	0,004
4	0,27	0,60	1,170	0,016	0,10	0,38	0,072	0,060	0,009	0,009	0,010	0,020	0,003	0,004

Металлографическое исследование на наличие неметаллических включений проводилось согласно ГОСТ 1778-70 при увеличении $\times 100$, с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51. Полученные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Неметаллические включения в зоне сварных швов

Образец №	Неметаллические включения, балл		
	Оксиды точечные	Оксиды строчечные	Силикаты недеформирующиеся
1	3а, 4а	Не обнаружено	2а, 1б, 2б
2	1а	Не обнаружено	2а, 2б
3	3а, 4а	3б	1а, 2а, 3б, 4б
4	2а, 3а	4а, 5а	2а, 3а, 1б, 2б

В образце № 1 (рисунок 1) были выявлены оксиды точечные (балл № 3а, 4а), силикаты недеформирующиеся (балл 2а, 1б, 2б).

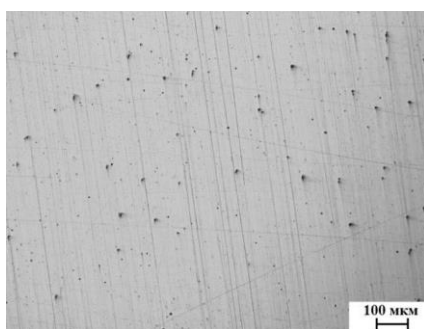


Рисунок 1 – Неметаллические включения наплавленного слоя образца № 50

Образец №2 является самым чистым по загрязнению неметаллическими включениями. Металл данного образца содержит небольшое количество точечных оксидов (балл 1а) и силикатов недеформирующихся (балл 2а, 2б) (рисунок 2).

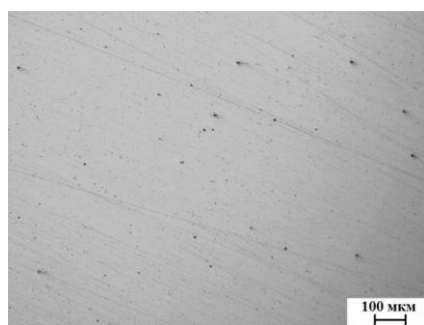


Рисунок 2 – Неметаллические включения наплавленного слоя образца № 51

Образец № 3 является одним из самых загрязненных образцов по количеству и видам неметаллических включений. Металл данного образца (рисунок 3) содержит следующие неметаллические включения: оксиды точечные (баллы № 3а, 4а) строчечные оксиды (балл № 3б), силикаты недеформирующиеся (балл № 1а, 2а, 3б, 4б).

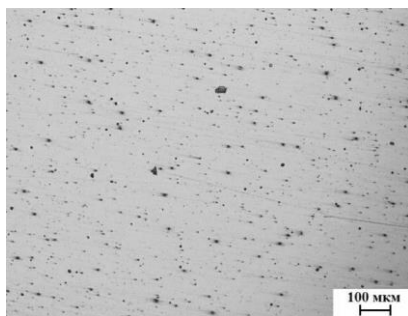


Рисунок 3 – Неметаллические включения наплавленного слоя образца № 52

В образце № 4 (рисунок 4) содержатся следующие неметаллические включения: оксиды точечные (балл № 2а, 3а), оксиды строчные (балл 4а,5а) силикаты недеформирующиеся (балл № 2а, 3а, 1б, 2б).

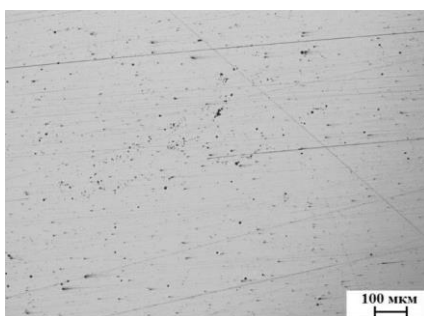


Рисунок 4 – Неметаллические включения наплавленного слоя образца № 53

Вывод:

В ходе проведения исследования данных образцов было установлено, что преобладающим типом неметаллических включений являются оксидные, а самыми загрязненными по количеству и видам неметаллических включений являются образцы с компонентным составом № 3 и 4, в которых концентрация восстановителя составляет 34,4 и 44,4 % соответственно (таблица 2).

Увеличение количества в металле наплавленного слоя мелкодисперсных оксидных включений повышают склонность металла к хрупкому разрушению, поскольку дисперсные частицы служат барьером для перемещения дислокации, поэтому могут стать причиной зарождения микротрещин, которые, в свое время, снижают пластичность и ударную вязкость металла.

Библиографический список

1. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е., Михно А.Р. Изучение свойств порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома // Черная металлургия. Бюллетень научной, технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 3. С. 365–372. Doi: 10.32339/0135-5910-2019-3-365-372
2. Прогнозирование свойств новой порошковой проволоки на основе

пыли газоочистки феррохрома / А. Н. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, Д. Е. Белов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2019. – Т. 15, № 3 (150). – С. 99–103. – Библиогр.: с. 102–103

3. Козырев Н.А., Прудников А.Н., Михно А.Р., Осетковский И.В., Комаров А.А. Влияние увеличения содержания хрома и углерода в порошковой проволоке системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V на физико-механические свойства наплавляемого металла // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 5. С. 488–495. Doi: 10.32339/0135-5910-2020-5-488-495

4. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, А. А. Усольцев, А. А. Уманский // Сварочное производство. – 2020. – № 2 (1023). – С. 16–21. – Библиогр.: с. 20–21 (26 назв.)

УДК 621.791.042.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО Порошковой проволокой, изготовленной на основе техногенных отходов газоочистки

Духанина Е.А., Михно А.Р.

Научный руководитель: канд. техн. наук Кибко Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mikno-mm131@mail.ru*

Приведены результаты исследования структуры наплавленного слоя порошковой проволокой изготовленной на основе техногенных отходов газоочистки металлургического производства. Наплавка порошковой проволокой осуществлялась на подложку из стали 09Г2С с применением флюса изготовленного из шлака производства ферросиликомарганца.

Ключевые слова: Наплавка, порошковая проволока, сварочный флюс, износ, твердость, структура, неметаллические включения.

Исследование влияния техногенных отходов газоочистки металлургического производства в составе порошковой проволоки на микроструктуру наплавленного слоя является одной из основных задач исследования [1,2]. В представленной работе приведены результаты изучения микроструктуры наплавленного порошковой проволокой металла.

Наплавка порошковой проволокой, изготовленной на основе пыли газоочистки алюминиевого производства и пыли газоочистки производства феррохрома [2,4] производилась на образцах размером 100×100 мм толщиной 20 мм из листовой стали марки 09Г2С с использованием наплавочного

флюса изготовленного из шлака от производства силикомарганца. Компонентный состав порошковых проволок представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав порошковых проволок

№	Масса пыли газоочистки феррофрома, г	Концентрация пыли газоочистки феррофрома, %	Масса восстановителя, г	Концентрация восстановителя, %
1	100	79,2	26,3	20,8
2	100	72,0	39,4	28,0
3	100	65,6	52,6	34,4
4	100	56,0	78,9	44,0

После проведения наплавочных работ изучался химический состав наплавленных образцов (таблица 2) проведены металлографические исследования наплавленной поверхности.

Исследование влияния техногенных отходов газоочистки металлургического производства в составе порошковой проволоки на микроструктуру проводили при помощи оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times 100$ согласно ГОСТ 5640-68. В качестве травления поверхности образцов использовали спиртовой 4 %-ный раствор азотной кислоты. Величину бывшего зерна аустенита определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$. Размер игл мартенсита определяли при увеличении $\times 1000$ согласно ГОСТ 8233-56.

Таблица 2 – Химический состав наплавленного слоя металла, %

№ образца	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	Co	Nb	Ti
1	0,13	0,42	1,110	0,012	0,05	0,42	0,065	0,058	0,005	0,006	0,006	0,015	0,009	0,005
2	0,16	0,56	1,350	0,010	0,09	0,49	0,071	0,050	0,010	0,003	0,004	0,020	0,003	0,004
3	0,21	0,50	1,010	0,014	0,08	0,42	0,070	0,051	0,011	0,004	0,010	0,020	0,004	0,004
4	0,27	0,60	1,170	0,016	0,10	0,38	0,072	0,060	0,009	0,009	0,010	0,020	0,003	0,004

На рисунке 1 изображена поверхность протравленного шлифа образца №1, структура которого состоит из крупноигльчатого мартенсита (балл 8-9), остаточного аустенита и δ -феррита. Бывшие зерна аустенита выражены неявно.

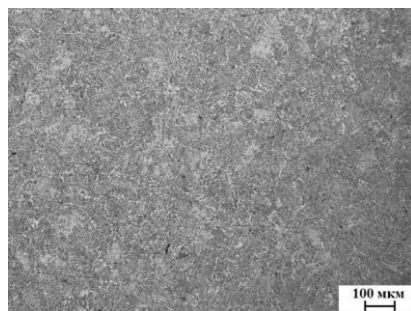


Рисунок 1 – Микроструктура наплавленного слоя образца №1

СОДЕРЖАНИЕ

I ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	2
СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ Герасимова Ю.В., Матвеев А.В., Курдюков М.О., Лобанова О.О.....	3
ПРИМЕР РАСЧЕТА СТОИМОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ Яфясов Д.А., Курдюков М.О., Матвеев А.В., Лобанова О.О.	7
ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ, ЗАНЯТОГО ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ Курдюков М.О., Матвеев А.В., Лобанова О.О.	11
ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУЛЬДОЗЕРА ПРИ ПРИЕМЕ ГОРНО МАССЫ НА АВТООТВАЛЕ Курдюков М.О., Матвеев А.В., Лобанова О.О.	15
ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОГРЕЙДЕРА НА ОБСЛУЖИВАНИИ ВНУТРИКАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ Курдюков М.О., Матвеев А.В., Наймушина С.А.	18
ОБЕССЕРИВАНИЕ УГЛЕЙ Карасев Б.Г.....	21
АНТРОПОГЕННЫЙ ТИП РЕЛЬЕФА ЗАПАДНОЙ (ПРИСАЛАИРСКОЙ) ЧАСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ Андропова В.С.	24
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ДЛЯ ЭКСКАВАТОРА БОЛЬШОЙ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА «ТАЛДИНСКИЙ» Зозуля М.Ю.	28
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОВРЕМЕННУЮ СЕЙСМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ АЛТАЯ Колпаков В.Е.....	31
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА ООО «РЕСУРС» УЧАСТОК «КЫРГАЙСКИЙ СРЕДНИЙ» Миллер Э.А.....	35
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ НА ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ ПЛАСТАХ ШАХТ КУЗБАССА Курдюков М.О.	41
РАСЧЁТНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ Мысак Е.А.	44

РЕГУЛЯТОРНАЯ ГИЛЬОТИНА И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНО ПРАВОВОЙ БАЗЫ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Папян Н.О.	49
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА Сухоплюев А.С., Фесенко А.Е.	52
ТРУБЧАТЫЕ КОНВЕЙЕРЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Мысак Е.А.	59
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ВВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АСУ БВР DILLMANAGER И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ГЕОМИКС БВР В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА «МЕЖДУРЕЧЕНСКИЙ» Шолохов В.Э.	62
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ГОРОДЕ НОВОКУЗНЕЦКЕ Агеев Д.А., Ворсина А.М.	68
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА Альвинский Я.А.	72
АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ НА ШАХТАХ КУЗБАССА И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ Белкина О.Е.	75
РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ДЕГАЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ООО «ШАХТА «АЛАРДИНСКАЯ» Болдецкий С.Ю., Никитина А.М., Риб С.В.	81
ЦИФРОВАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОСНОВНОГО ТРАНСПОРТА АО «БОЛЬШЕВИК» Братищева А.В., Курдюков М.О., Фурасов А.Н.	85
ПРИМЕНЕНИЕ НАБРЫЗГ-БЕТОНА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УТЕЧЕК ВОЗДУХА В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ Ворсина А.М., Агеев Дан А.	90
ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ Горбунова А.Р.	92
ОБЯЗАТЕЛЬСТВА ЭМИТЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИЦЕНЗИИ НА ШАХТЕ «СИБИРГИНСКАЯ» Елкина Д.И.	97
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ШАХТНОГО МЕТАНА В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ Лесных А.С., Никитина А.М., Риб С.В.	105

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Лесных А.С., Моисеев А.К.	109
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И ПОЛНОТОЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ ЗАПАСОВ НЕДР Мишин С.А.	114
БЛОЧНОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ РУДНИКА «УДАЧНЫЙ» Мысак Е.А., Павздерин К.А., Белкина О.Е., Агеев Д.А.	119
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАЗУПРОЧНЕНИЮ ТРУДНООБРУЩАЮЩЕЙСЯ КРОВЛИ В УСЛОВИЯХ ФИЛИАЛА «ШАХТА «ОСИННИКОВСКАЯ» Никитина А.М., Риб С.В., Володина А.В.	122
РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ В ПРЕДЕЛАХ ГОРНОГО ОТВОДА ШАХТЫ «ЕСАУЛЬСКАЯ» Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.	126
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М.	131
ПРИМЕНЕНИЕ ВСПЕНЕННЫХ ПЛАСТМАСС ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УТЕЧЕК ВОЗДУХА В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ РУДНЫХ И УГОЛЬНЫХ ШАХТ Мысак Е.А., Павздерин К.А., Белкина О.Е., Агеев Д.А.	135
РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК Пустовит А.В., Фурасов А.Н.	138
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА АО «РАЗРЕЗ «СТЕПАНОВСКИЙ» Агеев Д.А., Клишкин М.А., Пустовит А.В.	142
К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА Розум И.Г.	148
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ «БУРОВАЯ КАРЕТКА» Садов Д.В., Дубина Е.М.	150
ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БУРОВЫМИ РАБОТАМИ НА РУДНИКЕ Садов Д.В., Дубина Е.М.	153
РОЛЬ ПЕРСОНАЛА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Фурасов А.Н.	157

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА ОХРАНЯЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА РАЗРЕЗАХ Фурасов А.Н., Агеев Д.А.	162
НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО АГРЕГАТА ЭФФЕКТИВНОЙ ДОРАБОТКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ УГЛЯ НА ШАХТАХ Шмаков И.К., Крестьянинов А.В.	168
II МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	174
ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА Сафонов С.О.	174
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДУВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО РАСПЛАВА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ Сафонов С.О., Фадеев В.С., Люлякин А.	178
ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БРУСИТА В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ Люлякин А., Сафонов С.О.	182
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ Галич А.А., Продченко У.Т., Дида Н.И.	187
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ (ПОЛОЖЕНИЯ, ИНТЕНСИВНОСТИ) ФУРМЫ НА ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ Фадеев В.С. Сафонов С.О.	190
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА (VI) УГЛЕВОДОРОДАМИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ Шагиев Р.Р., Щербинина А.С., Гергель П.О., Бодичев Д.В., Карев К.С.	194
ФОРМИРОВАНИЕ ГАРНИСАЖНОЙ ФУТЕРОВКИ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ Шагиев Р.Р., Бодичев Д.В., Щербинина А.С., Гергель П.О., Карев К.С.	198
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ КОКСОВОГО ГАЗА ОТ АММИАКА Яковлева Д.Д.	203
КОКСОВЫЙ ГАЗ: СОСТАВ, СВОЙСТВА И ОЧИСТКА Яковлева Д.Д.	207
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РЕЛЬСОВ Буркова А.А., Буренин А.В., Киселев М.С.	210
ОЦЕНКА ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ 50 Ознобихина Н.В., Соколов Б.М., Фадеев В.С., Буркова А.А., Сычев А.А.	215

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА И ШЛАКА В ПРОЦЕССЕ ПЛАВКИ ЧУГУНА В ШАХТНОЙ ПЕЧИ В РЕЗУЛЬТАТЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВЫМ КАРБОНАТОМ БСК-2 Модзелевская О.Г.	220
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЧУГУНА, ПОЛУЧЕННОГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАВОК В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ РАСПЛАВА БАРИЙ-СТРОНЦИЕВЫМ КАРБОНАТОМ Модзелевская О.Г.	224
УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ МАРКИ 40Х СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Кашин С.С., Шевченко Р.А.	228
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЕМ Махрина Е.А.	232
РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЕМ Махрина Е.А.	235
ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Бердюгина М.А., Маркалин Ю.А.	239
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ВОЛОЧЕНИЯ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ Иванкина И.В., Бердюгина М.А.	242
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛЮЩИХ ШАРОВ Курбангалеев Д.К., Маркалин Ю.А.	246
ЗОННАЯ ПЛАВКА МЕТАЛЛОВ Михеева Д.В.	250
ВОЗДЕЙСТВИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЕВОГО МАЛОКРЕМНИСТОГО СИЛУМИНА Прудников В.А., Юркина М.С.	255
ВОЗДЕЙСТВИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ Прудников В.А., Зокирова Г.К., Закирова Ш.К.	260
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЛИТКОВ ИЗ СИЛУМИНОВ С 15 И 20 % Si Рексиус В.С.	264
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЕВОГО СИЛУМИНА АК5М7 Рексиус В.С.	268

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПИТАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОНАСОСА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ Коньшев Л.А.	272
ИНСТРУМЕНТЫ РАБОТНИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ Койчев Д.Н.	274
РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА Калягина Е. А.	277
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ ОКАЛИНЫ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА Куликов Д.А.	283
АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМОВ ГАЗООЧИСТОК СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА Гефлинг В.С.	288
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ Забродин И. С.	295
АНАЛИЗ МАКРОСТРУКТУРЫ НАПЫЛЕННОГО СЛОЯ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ Минаева У.Е.	301
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ БРИКЕТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА Домнин К.И.	308
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ ЕВРАЗ ЗСМК Азаренков И.А., Алимарданов П.Э.	313
ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПО МЕТОДУ БРИННЕЛЯ ПОСЛЕ СВАРКИ НА МАШИНЕ МСР 63.01 А Алимарданов П.Э., Азаренков И.А.	316
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ СИСТЕМЫ Fe—C—Si—Mn—Cr—W—V С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ТИТАНОМ Белов Д.Е., Михно А.Р., Киселев П.В.	318
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА Казарян Л.А., Полегешко С.А., Отабиев Х.А., Михно А.Р.	322
ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА НАПЛАВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V Осетковский И.В., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Комаров А.А.	325

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ Порошковой проволоки прокатных валков Полегешко С.А., Казарян Л.А., Ким В.Е.	329
ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ПОРОШКА ТИТАНА В ПОРОШКОВУЮ ПРОВОЛОКУ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ Сычев А.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Киселев П.В.	331
ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ТИТАНА В СОСТАВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ТИПА 25X5ФМС Тюрин А.А., Киселев П.В., Шевченко Р.А., Михно А.Р.	336
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ В АО ЕВРАЗ ЗСМК В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ Чумачков И.И., Арсентьева Е.Г.	340
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СВАРНЫХ СТЫКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ МАРКИ 76ХСФ, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ Шевченко Р.А., Косаченко К.К., Боровикова А.Г.	344
АНАЛИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕТАЛЛА РЕЛЬСОВ МАРКИ 76ХСФ ПОСЛЕ СВАРКИ Шевченко Р.А., Боровикова А.Г., Косаченко К.К.	348
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ГАЗООЧИСТКИ Духанина Е.А., Михно А.Р.	352
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ГАЗООЧИСТКИ Духанина Е.А., Михно А.Р.	356

Научное издание

НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Часть II

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых*

Выпуск 25

Под общей редакцией

Н.А. Козырева

Технический редактор

Г.А. Морина

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 11.05.2021 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 21,6 Уч.-изд. л. 24,0 Тираж 300 экз. Заказ № 102

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ