

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

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

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЫПУСК 28

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
15 – 16 мая 2024 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк
2024**

ББК 74.48.288
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,
д-р техн. наук, профессор Кулаков С.М.,
канд. техн. наук Шевченко Р.А.,
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.,
канд. техн. наук, доцент Темлянцева Е.Н.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 15–16 мая 2024 г. Выпуск 28. Часть I. Естественные и технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2024. – 450 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук; металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования; перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; экологии, безопасности, рационального использования природных ресурсов; информационных технологий и систем автоматизации управления.

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

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2024

УДК 546.666'141(546.05+543.57)

КОНСТАНТЫ ПЛАВЛЕНИЯ БРОМИДА ЭРБИЯ (III) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДВУХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ: ДСК и ДТА

Чумачкова Е.Г., Маринич В.С., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф.

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

В статье представлены две серии измерений температуры и энтальпии плавления ErBr_3 : первую – методом ДТА на дериватографе Паулик, Паулик, Эрдей, а вторую – на приборе TG-DSC-1600 °C Labsys Evo-gas option (SETARAM instrumentation) с ДСК-сенсором в форме пластины. На первом этапе выполняли градуировку и калибровку приборов, а затем исследовали охарактеризованные образцы ErBr_3 . Полученные с применением статистической обработки результаты сравнивали между собой и имеющимися литературными данными.

Ключевые слова: метод ДСК, метод ДТА, бромид эрбия (III), температура плавления, энтальпия плавления, энтропия плавления.

Предварительные результаты, по исследованию методами ДТА и ДСК образцов безводного ErBr_3 , чистотой $99,70 \pm 0,23$ ($P = 0,95$; $f=4$); имеющего кристаллическое строение (сингония – гексагональная, пространственная группа $S.G. R3(148)$, структурный тип – FeCl_3); синтезированного в вакуумированном двухсекционном кварцевом реакторе в результате прямого взаимодействия между бромом (хч) и металлическим эрбием (ЭрМ-1) в течение 5 суток при 800 К и очищенного вакуумной дистилляцией при 1450К в течение 3-4ч приведены в [1-3]. В настоящей работе предварительные результаты дополнены новыми экспериментальными данными с увеличением числа опытов как по эталонным веществам NaCl (хч), KCl (ос.ч), NaF (ос.ч), так и по ErBr_3 , заново обработаны с учётом рекомендаций [4-5], комплексного подхода и обсуждены.

Экспериментальная часть

ДСК с пластиной-сенсором. Серию измерений проводили на приборе TG-DSC-1600 °C Labsys Evo-gas option (SETARAM instrumentation) с ДСК-сенсором в форме пластины¹, на которой размещают два тигля. Порошки солей в сухом боксе помещали в алундовый тигель, диаметром 5 мм и высотой 11 мм и закрывали крышкой. В тигель-эталон не добавляли никакого вещества. Тигли подбирали «парами», чтобы их массы были приблизительно

¹ Измерения проведены в Центре коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ ведущим инженером А.В. Федосеевым

одинаковыми. В печное пространство во время опыта подавался Ar со скоростью 20 мл/мин. Нагревание и охлаждение проводили со скоростью 15 К/мин. Все образцы использовали в опытах только один раз. Платинородий-платиновую термопару в области наших измерений ≈ 1200 К отградуировали по температуре плавления серебра – одной из основных реперных точек МПТШ-68 [6]; для этого записывали 3 ДСК-кривых образца Ag (99,99).

ДСК измеряет энергию, необходимую для поддержания эталона и образца при одной и той же температуре во время превращения в образце. Типичная ДСК-кривая образца ErBr_3 приведена на рисунке 1.

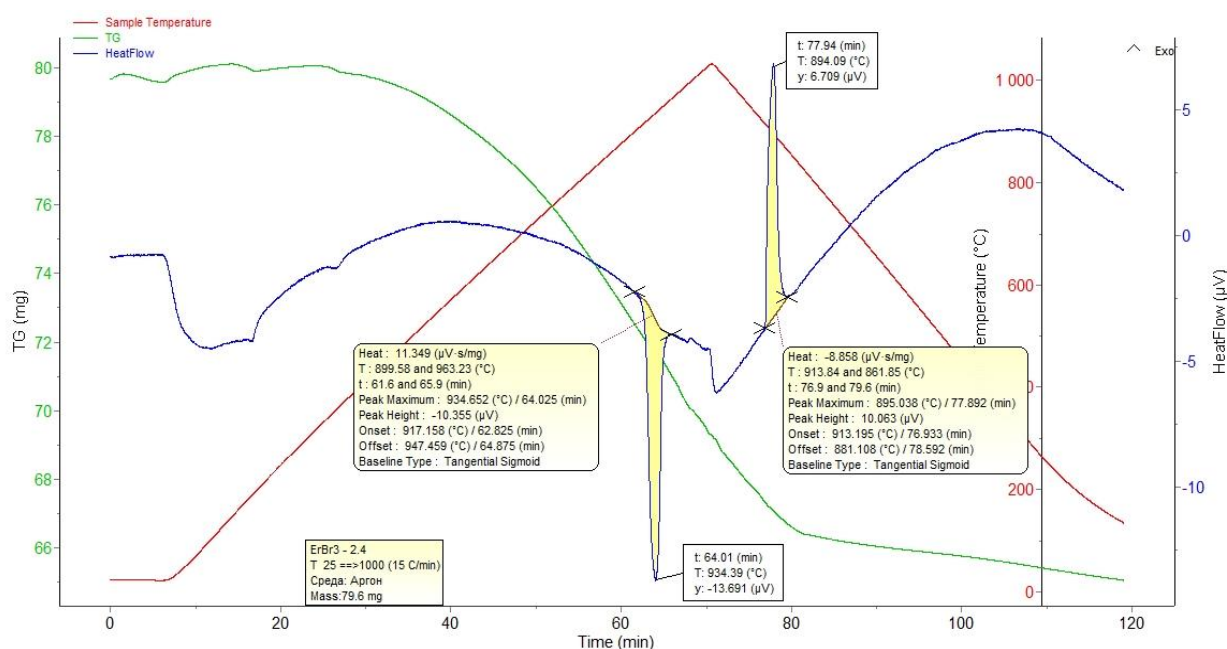


Рисунок 1 – ДСК-кривая образца $\text{ErBr}_3 - 2.4$

В программе управления прибором предусмотрено автоматическое интегрирование пика превращения с определением величины «Heat» ($\mu\text{В}\cdot\text{с}/\text{мг}$) как площади пика на графике зависимости теплового потока «Heat flow» ($\mu\text{В}$) от времени (с) и отнесённой к массе образца (мг). Острая треугольная форма пика кристаллизации (рисунок 1) и отсутствие дополнительных эффектов при кристаллизации открывают возможность использовать для дальнейших расчётов не только данные нагревания, но и данные охлаждения. От величины Heat можно перейти к энтальпии фазового перехода, в частности к молярной энтальпии плавления вещества $\Delta_m H^\circ$ (кДж/моль), но для этого необходима калибровка сенсора по теплоте:

$$\Delta_m H^\circ = K \cdot \text{Heat} \cdot M, \quad (1)$$

где K – калибровочный коэффициент, Вт/В;

M – молярная масса вещества, г/моль.

Калибровку по теплоте проводили по веществам NaCl (х.ч), NaF (ос.ч), KCl (ос.ч), поскольку их температуры плавления 1074 К, 1269 К и 1044 К со-

ответственно, близки известной из предварительных результатов температуре плавления ErBr_3 (1200K) [1], а энтальпии плавления определены с высокой точностью [7-8]. В настоящей работе число записанных для калибровки по теплоте ДСК-кривых увеличилось: 10 – NaCl, 4 – NaF и 7 – KCl. Для построения новых градуировочных линий из автоматически отмечаемых на ДСК-кривых при фазовом превращении в образце температур (рисунок 1) брали температуры T_{onset} , в соответствии с рекомендациями [4]. Использовали 10 ДСК-кривых NaCl, 4 – NaF и 7 – KCl. При этом обрабатывали как пики нагревания, так и пики охлаждения. Было установлено статистически-значимое увеличение калибровочного коэффициента K с ростом температуры при охлаждении; при нагревании калибровочный коэффициент в интервале измеряемых температур остаётся практически постоянным:

$$K_{\text{нагр}} \cdot 10^3 = 3,34 + 3,0 \cdot 10^{-3} T_m, \text{ Вт/В}, R^2 = 0,30; \quad (2)$$

$$K_{\text{охлажд}} \cdot 10^3 = - 12,38 + 19,1 \cdot 10^{-3} T_m, \text{ Вт/В}, R^2 = 0,73. \quad (3)$$

Результаты ДСК-измерений образцов ErBr_3 приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты ДСК-измерений образцов ErBr_3

№* ДСК- кривой	Масса образца, м, мг	Нагревание		Охлаждение	
		$T_m, \text{K};$ МПТШ 68	$\Delta_m H^\circ,$ кДж/моль	$T_m, \text{K};$ МПТШ 68	$\Delta_m H^\circ,$ кДж/моль
1-1	94,40	1191,9 max	35,43	1191,1 max	53,07
1-2	94,40	1190,6	42,90	1190,0	53,27
2-1	107,81	1189,7	33,90	1183,2	47,85
2-2	78,06	1190,4	31,23	1185,0	35,05
2-3	94,38	1190,5	34,42	1185,8	37,98
2-4	79,60	1190,3	31,94	1186,3	37,04
3-1	81,30	1191,1	34,61	1186,5	36,66
3-2	68,70	1190,9	33,56	1186,4	37,77
3-3	116,06	1190,9	38,76	1182,7	56,41 max
3-4	71,23	1190,2	33,35	1186,5	34,39
4-1	87,76	1186,1	37,16	1183,3	44,10
4-2	88,44	1185,5	30,54	1179,5	31,46
3-5	82,32	1187,8	38,93	1185,5	49,12
3-6	74,82	1185,7	33,06	1184,4	36,97
4-3	73,67	1186,7	28,41	1183,2	29,60
2-5	55,80	1175,4 min	25,00 min	1176,0 min	26,30 min
2-6	86,00	1186,9	43,10 max	1185,3	52,76
3-7	85,11	1186,7	31,96	1186,1	32,36
Ср.зн. $P=0,95; f=18$		$1188,2 \pm 1,9$	$34,4 \pm 2,3$	$1184,8 \pm 5,8$	$40,7 \pm 4,6$
<i>Примечание:</i> * Первая цифра в номере ДСК-кривой обозначает номер ампулы с возгоном при синтезе вещества ErBr_3 , а вторая – номер образца в серии опытов.					

ДТА. ДТА-кривые ErBr_3 записывали на дериватографе Паулик, Паулик, Эрдей² со скоростью нагревания и охлаждения 10 К/мин при чувствительности ДТА 1/5. На спаи термопар устанавливали вакуумированные с коническим вогнутым дном кварцевые сосуды с веществом ErBr_3 (образец) и Al_2O_3 (эталон). Кварцевые сосуды изготавливались по графитовому шаблону для обеспечения их одинаковых размеров при выдувке. Вакуумированный кварцевый сосуд предохраняет испытуемое вещество от воздействия внешней среды, а также снижает термодинамическую вероятность разложения вещества при нагревании с выделением газа. В этой серии опытов циклы нагревания-охлаждения с одним и тем же образцом повторяли до трёх раз.

При проведении ДТА-измерений и ограничении площадей пиков на ДТА-кривых (рисунок 2) учитывали рекомендации Комиссии по стандартизации Международной конференции по термическому анализу (ИСТА) [6].

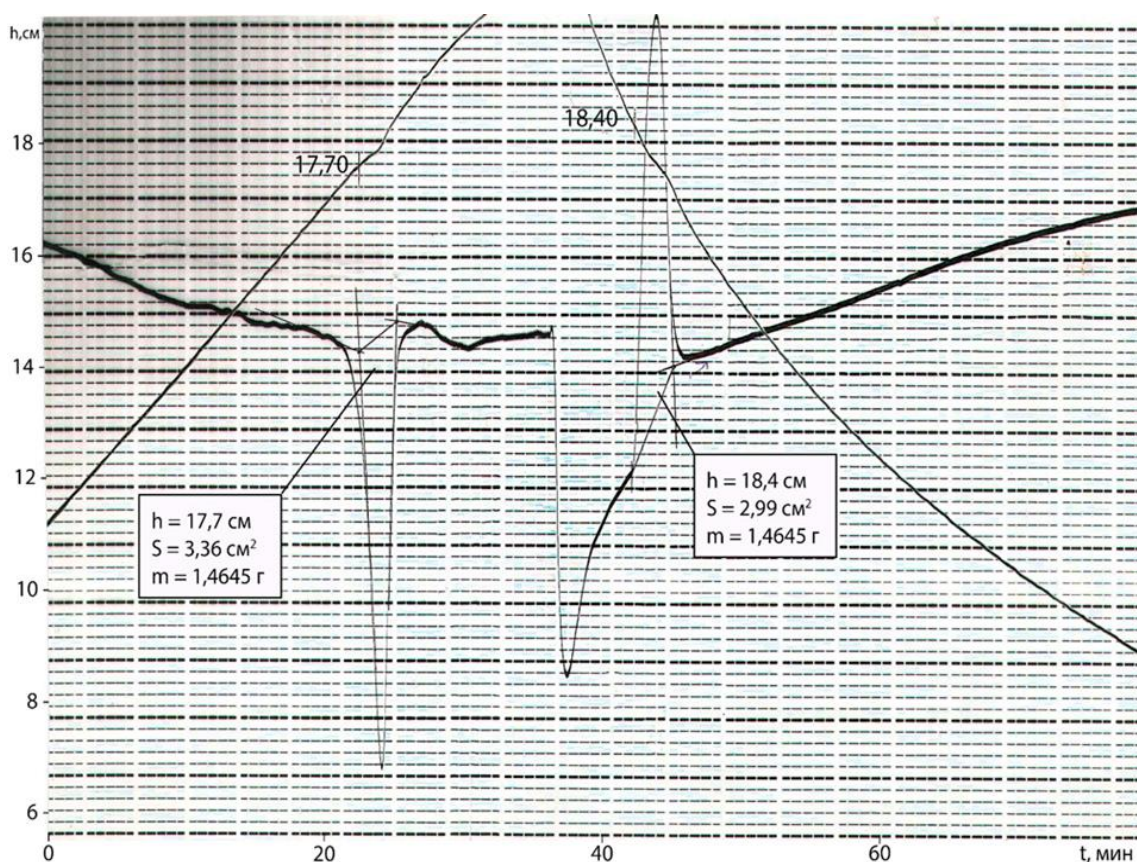


Рисунок 2 - ДТА-кривая образца ErBr_3 – 1-1-2

Энтальпию превращения рассчитывали по уравнению:

$$\Delta_m H^\circ = \frac{S}{s \cdot n}, \quad (4)$$

где S – площадь пика ДТА, см^2 ;

s – инструментальная постоянная, равная площади термического эффекта, соответствующего изменению энтальпии в образце на

² Измерения проведены в Центре коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ ведущим инженером Тираковым Г.М.

1 кДж в условиях опыта, см²/кДж;
 n – количество испытуемого вещества, моль.

Способ калибровки прибора по теплоте (определение инструментальной постоянной s) и градуировки термодпары описан нами в работе [9]. Отметим, что температуру превращения при нагревании всегда определяли по точке пересечения экстраполированной в область пика базовой линии и касательной, проведённой через точку перегиба в левой части пика, что фактически соответствует температуре T_{onset} в методе ДСК. Уравнения линий калибровки для инструментальной постоянной s включают не только температуру превращения, но и массу испытуемых образцов:

$$S_{\text{нагрев}} = -17,7 + 0,0408T_m + 5,0m, \text{ см}^2/\text{кДж}, \quad (5)$$

$$S_{\text{охлажд}} = 9,2 + 0,0211T_m + 4,9m, \text{ см}^2/\text{кДж}. \quad (6)$$

Градуировочное уравнение:

$$T, \text{K} = 580 + 34,0h, \quad (7)$$

где h – расстояние от нулевой линии до точки на ТА-кривой, получаемой вертикальной проекцией точки пересечения экстраполированной в область пика ДТА базовой линии и касательной, проведённой через точку перегиба в левой части пика ДТА.

Результаты ДТА-измерений образцов ErBr₃ приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты ДТА-измерений образцов ErBr₃

№** ДТА- кривой	Масса образца, m, г	Нагревание		Охлаждение	
		T _m , К; МПТШ 68	Δ _m H°, кДж/моль	T _m , К; МПТШ 68	Δ _m H°, кДж/моль
1-1-1	1,4645	1185,2	41,37	1203,9 min	22,16
1-1-2	1,4645	1181,8 min	24,54	1205,6	19,91
2-1-1	0,8931	1202,2	39,3	1210,7	31,68
2-1-2	0,8931	1195,4	35,62	1210,7	35,96
2-1-3	0,8931	1195,4	35,10	1203,9	34,60
3-1-1	1,2005	1188,6	19,81	1205,6	16,10
3-1-2	1,2005	1185,2	17,62	1205,6	15,03
3-1-3	1,2005	1195,4	17,61 min	1205,6	14,73min
4-1-1	1,1241	1205,6	33,72	1217,5 max	24,18
4-1-2	1,1241	1205,6	30,79	1215,8	27,25
4-1-3	1,1241	1214,1	29,74	1217,5	27,23
4-2-1	0,8494	1212,4 max	43,46	1212,4	35,67 max
4-2-2	0,8494	1207,3	36,50	1209,0	34,90
4-2-3	0,8494	1212,4	44,26 max	1209,0	34,31
Ср. зн. P=0,95; f =14		1199,0±6,4	32,1±5,3	1209,5±2,8	26,7±4,6
Примечание: ** Первая цифра в номере ДТА-кривой обозначает номер ампулы с возгоном при синтезе вещества ErBr ₃ , вторая – номер образца в серии опытов, а третья – какой по счёту раз нагревается данный образец.					

Обработка данных и обсуждение результатов

Во всех четырёх группах данных (ДСК-нагрев., ДСК-охлажд., ДТА-нагрев., ДТА-охлажд.) крайние результаты, которые в таблицах 1,2 отмечены как «max» и «min» были проверены на наличие грубого промаха методом максимального относительного отклонения для случая малой выборки ($n \leq 25$) [10]. Для всех проверяемых значений модуль максимального относительного отклонения $|\tau_{\max}|$ оказался меньше табличных значений $\tau_{\text{табл}}$ ($P=0,95$; $f = n$). Поэтому при расчёте средних значений и доверительных интервалов использовали все результаты в каждой группе данных (таблицы 1 и 2).

Сравнение всех средних результатов по группам данных для энтальпий плавления показывает, что в методе ДСК данные нагревания заметно выше, а в методе ДТА – заметно ниже, хотя в обоих методах данные нагревания и охлаждения совпадают между собой в области доверительных интервалов. Для температуры превращения отмечается прямо противоположная зависимость.

То есть, можно говорить об инверсии результатов охлаждения, получаемых в методе ДСК с пластиной-сенсором, по отношению к аналогичным результатам, получаемых в методе ДТА. По нашему мнению, это может быть связано с инверсией направления тепловых потоков в двух этих методах при превращении в образце. ДСК измеряет энергию, необходимую для поддержания эталона и образца при одной и той же температуре, тогда как ДТА измеряет разницу температур между образцом и эталоном, при одинаковом количестве подводимой к ним энергии.

Из-за явления инверсии возникает тезис о том, что совместная обработка результатов нагревания и охлаждения в методах ДТА и ДСК неприемлема, потому что она будет приводить к большему расхождению средних результатов, получаемых в обоих этих методах между собой. Это касается как энтальпий превращений, так и температур превращений.

Данные нагревания в обоих методах находятся в лучшем взаимном соответствии. В качестве рекомендуемых для использования значений мы выбираем: $\Delta_m H(\text{ErBr}_3) = 34,4 \pm 2,3$ кДж/моль ($P=0,95$; $f=18$), $T_m(\text{ErBr}_3) = 1188,2 \pm 1,9$ К ($P=0,95$; $f=18$) как результаты ДСК, полученные с наименьшей относительной ошибкой (6,7 % и 0,16 % соответственно). По энтальпии и температуре плавления рассчитывали энтропию плавления: $\Delta_m S^\circ(\text{ErBr}_3) = 29,0 \pm 2,0$ Дж/моль·К.

Эти значения подтверждены результатами метода ДТА: $\Delta_m H^\circ(\text{ErBr}_3) = 32,1 \pm 5,3$ кДж/моль ($P=0,95$; $f=14$), $T_m(\text{ErBr}_3) = 1199,0 \pm 6,4$ К ($P=0,95$; $f=14$), полученными с относительной ошибкой (16,5 % и 0,53 % соответственно), $\Delta_m S(\text{ErBr}_3) = 26,8 \pm 4,4$ Дж/моль·К.

Справочных данных по энтальпии плавления ErBr_3 нет, а температура плавления, измеренная нами, подтверждает данные [11] (1196К) и не совпадает с оценкой [12] (1223±10К).

Библиографический список

1. Ю.В. Горюшкина, С.В. Зенцова, Г.М. Тираков, Г.Л. Борщевская. В.Ф. Горюшкин. Синтез и термические константы плавления бромида эрбия (III) // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отдел металлургии: Сб.науч.тр. Вып.25/ Редколл.: Л.П. Мышляев (главн. ред.) [и др.]: Сибирск. государств.индустр. университет. – Новокузнецк, 2010. - С.9 - 14.
2. Химия и химическая технология в XXI веке : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера, посвящённой 85 - летию со дня рождения профессора А.В. Кравцова, 15 - 19 мая 2023г. - Томск : Издательство ТПУ, 2023. - Том 1. - С. 466 - 467.
3. Константы плавления бромида эрбия (III) . Наука и молодёжь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 16-17мая 2023г./ Сиб. Гос. индустр. ун – т; под общ. ред. профессора С.В. Коновалова. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2023. – Вып. 27. - Ч.1. Естественные и технические науки. – С. 3–7.
4. Емелина А. Л. Дифференциальная сканирующая калориметрия. Москва: Лаборатория химического факультета МГУ. 2009. 42 с.
5. Шестак Я. Теория термического анализа. М.: Мир, 1987. – С.318.
6. Термические константы веществ: Справ. Вып.9/ Под ред.В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1979. 574с.
7. Термические константы веществ: Справ. Вып.10, ч.1/ Под ред.В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1981. 297с.
8. Термические константы веществ: Справ. Вып.10, ч.II/ Под ред.В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1981. 441с.
9. Горюшкин В.Ф., Пошевнева А.И., Винокурова Н.Г. Термические константы плавления иодида гольмия // Журн. неорганич. химии, 1996. Т.41. №9. – С.1534 – 1536.
10. *Боровиков, В.П.* Statistika. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. – М. : Информационно-издательский дом «Филинь», 1998. – 608с.
11. Spedding F.H., Daane A.H. The Rare-Earth Metals// Metallurgical Reviews, 1960. V.5, No. 19. – P. 297 – 341.
12. Электронный ресурс.- Режим доступа.: <https://xumuk.ru/tdsv/15792.html> Дата обращения 27.02.24.

**ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
«ПРОЧНОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ»**

**Громов В.Е., Юрьев А.Б., Коновалов С.В., Невский С.А., Загуляев Д.В.,
Крюков Р.Е., Романов Д.А., Семин А.П., Малушин Н.Н., Панченко И.А.**

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

Подведены итоги более чем 30-ти летней научной деятельности авторов по изучению влияния различных видов энергетических воздействий (электромагнитные поля, токи, электронно-пучковая обработка, электро-взрывное легирование, механическое воздействие) на структуру и свойства стали и сплавов.

Ключевые слова: структура, свойства, металлы, сплавы, внешние поля.

Авторами выполнены фундаментальные исследования физических механизмов упрочнения металлов, сталей и сплавов при внешних электромагнитных и механических воздействиях:

Проанализированы физические процессы формирования структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры, перераспределения карбидной фазы и углерода в дифференцированно термоупрочненных рельсах в реальных условиях эксплуатации. Выявлен градиентный характер изменения структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры рельсовой стали, характеризующийся определенными закономерными изменениями скалярной и избыточной плотности дислокаций, относительного содержания типов структуры, карбидной фазы и атомов углерода в сечении головки рельсов. Это позволило выявить физическую природу и количественно оценить механизмы упрочнения на разных расстояниях от поверхности катания. Результаты были использованы для сравнительного анализа и корректировки режимов термомеханического упрочнения, мониторинга дефектоскопии рельсов, обоснования сроков регламентных работ по проверке состояния рельсов, разработке методик неразрушающего контроля.

Установлена физическая природа и закономерности формирования структуры, тонкой структуры и свойств высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) при облучении низкоэнергетическими сильноточными пучками. Создан банк данных по влиянию электронно-пучковой обработки на эволюцию структурно-фазовых состояний и свойств ВЭС Co-Cr-Fe-Ni-Mn и Co-Cr-Fe-Ni-Al, сформированных на подложках из нержавеющей стали и Al сплава. Эти результаты имеют фундаментальную ценность для развития области физики конденсированного состояния, связанной с разработкой нового класса материалов и методов их поверхностной обработки.

Установлены режимы электровзрывного легирования титановых спла-

вов и последующей обработки поверхности легирования низкоэнергетическими сильноточными импульсно-периодическими электронными пучками, обеспечивающие повышение износостойкости и микротвердости модифицированной поверхности, увеличение глубины зоны упрочнения и уменьшение параметра шероховатости поверхности.

Выявлена физическая природа упрочнения поверхности стали Хардокс 450 электродуговой наплавкой порошковыми (Fe-C-Nb-Cr-W) и (Fe-C-Ni-B) проволоками с последующей электронно-пучковой обработкой на основе сравнительного анализа структуры, фазового состава, дефектной субструктуры, трибологических и механических свойств покрытий.

Выявлена физическая природа формирования и эволюции структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры силумина, подвергнутого электронно-пучковой обработке и многоциклового усталостному нагружению до разрушения.

Установлены физические механизмы и закономерности влияния электронно-пучковой и токовой импульсной обработок титана на повышение его усталостного ресурса, структуру и фазовый состав.

Установлена физическая природа и закономерности формирования структурно-фазовых состояний, модификации свойств Al и доэвтектических силуминов, подвергнутых электронно-ионно-плазменным и магнитно-полевым воздействиям.

Выявлены физические механизмы формирования макро-, микроструктуры, структурно-фазовых состояний и свойств стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, работающих в особых условиях, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов.

Созданы физико-математические модели формирования градиентных микро- и наноструктурных состояний металлических материалов при воздействии электрических, механических полей и концентрированных потоков энергии на основе комбинированных сдвиговых неустойчивостей на границах раздела сред.

Определена физическая природа формирования структуры и свойств износо- и электроэрозионностойких электровзрывных покрытий в процессе напыления и последующей электронно-пучковой обработки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-19-00186.

Библиографический список

1. Yu.F.Ivanov, V.E.Gromov, A.A.Yuriev, V.E.Kormyshev, Yu.A.Rubannikova, A.P.Semin. Deformation strengthening mechanisms of rails in extremely long-term operation. Doi:10.1016/j.jmrt.2020.12.107. Journal of materials research and technology, 2021, vol.11, pp.710-718.
2. V. E. Gromov, M. A. Porfiryev, R. E. Kryukov, V. V. Shlyarov. Formation of microscopic internal stresses in rails during long-term operation. CIS Iron and Steel Review – Vol. 26 (2023), pp. 4–11.
3. D.A.Romanov, K.V.Sosnin, S.Yu.Pronin, S.V.Konovalov,

S.V.Moskovskii, V.E.Gromov, Yu.F.Ivanov, V.A.Bataev, A.P.Semin. Electroexplosive hafnium coating on titanium implant modified by hydrogen ions and electron beam processing. Doi:10.1016/j.surfcoat.2021.126895. Surface and coatings technology 409 (2021) 126895.

4. Romanov D.A., Pochetukha V.V., Sosnin K.V., Moskovskii S.V., Gromov V.E., Bataev V.A. Structure and properties of composite coatings of the SnO₂-InO₃-Ag-N system intended for strengthening the copper contacts of powerful electric network switches. Journal of materials and technology 2022:17:3013-3032.

5. V.E.Gromov, Yu.F.Ivanov, S.V.Konovalov, K.A.Osintsev, Yu.A.Rubannikova, A.P.Semin. Modification of high-entropy alloy AlCoCrFeNi by electron beam treatment. Journal of materials research and technology 2021, 13, 787-797.

6. Osintsev K.A., Konovalov S.V., Zaguliaev D.V., Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Panchenko I.A. Investigation of Co-Cr-Fe-Mn-Ni non-equiatomic high-entropy alloy fabricated by wire arc additive manufacturing. Doi.10.3390/met12020197. Metals 2022, 12, 197.

7. Gromov V.E., Konovalov S.V., Ivanov Yu.F., Shliarova Yu.A., Vorobyov S.V., Semin A.P. Structure and properties of the CrMnFeCoNi high entropy alloy irradiated with a pulsed electron beam. Journal of materials research and technology, 2022,19, p. 4258-4269.

8. D.V.Zagulyaev, V.E.Gromov, Yu.A.Rubannikova, S.V.Konovalov, Yu.F.Ivanov, D.A.Romanov, A.P.Semin. Structure and phase states modification of Al-11Si-2Cu alloy processed by ion-plasma jet and pulsed electron beam. Doi:10.1016/j.surfcoat.2019.125246 Surface & coatings technology 383 (2020) 125246.

9. S.V.Konovalov, I.A.Komissarova, Yu.F.Ivanov, V.E.Gromov, D.A.Kosinov. Structural and phase changes under electropulse treatment of fatigue-loaded titanium alloy VT1-0. Journal of materials research and technology, 2019, vol.8, issue 1, p.1300-1307.

10. Gromov V.E., Yuriev A.B., Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Ivanov Yu.F., Shliarova Yu.A., Semin A.P. Effect of carbon-fluorine additive to flux on the structure, defective substructure and fracture surface of electric arc surfacing of low-carbon wire. Journal of materials research and technology. 2022, 18, pp. 2104-2111.

11. V.E.Kormyshev, V.E.Gromov, Yu.F.Ivanov, A.M.Glezer, A.B.Yuriev, A.P.Semin. Structural phase states and properties of rails after long-term operation. Doi:10.1016/j.matlet.2020.127499. Materials letters 268 (2020) 127499.

12. V.E.Gromov, Yu.F.Ivanov, V.E.Kormyshev, A.A.Yuriev, A.P.Semin, Yu.A.Rubannikova. Change in structural-phase states and properties of lengthy rails. Doi: 10.15407/ufm.21.04.527. Progress in physics of metals, 21, №4, 527-553 (2020).

13. D.A.Romanov, S.V.Moskovskii, K.V.Sosnin, V.E.Gromov, V.A.Bataev. Structure and electrical erosion resistance of an electro-explosive coating of the

CuO-Ag system. Doi:10.1088/2053-1591/ab0672 Materials research express 6 (2019) 055042.

14. D.A.Romanov, K.V.Sosnin, V.E.Gromov, V.A.Bataev, Yu.F.Ivanov, A.M.Glezer, R.V.Sundeev. Titanium-zirconium coating formed on the titanium implant surface by the electroexplosive method. Doi:10.1016/j.matlet.2019.01.088. Materials letters 242 (2019) 79-82.

15. Osintsev K.A., Konovalov S.V., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Panchenko I.A. Microstructure and mechanical properties of non-equiatomic $\text{Co}_{25.4}\text{Cr}_{15.9}\text{Mn}_{3.5}\text{Ni}_{16.8}\text{Si}_{1.4}$ high-entropy alloy produced by wire-arc additive manufacturing. Doi.10.1016/j.matlet.2022.131675. Materials Letters 312 (2022) 131675.

16. K.A.Osintsev, S.V.Konovalov, A.M.Glezer, V.E.Gromov, Yu.F.Ivanov, I.A.Panchenko. Research on the structure of $\text{Al}_{2.1}\text{Co}_{0.3}\text{Cr}_{0.5}\text{FeNi}_{2.1}$ high-entropy alloy at submicro- and nano-scale levels. Doi:10.1016/j.matlet.2021.129717. Materials letters 294 (2021) 129717, c. 32-39.

17. Yu.F.Ivanov, V.E.Gromov, D.V.Zagulyaev, A.M.Glezer, R.A.Sundeev, Yu.A.Rubannikova, A.P.Semin. Modification of surface layer of hypoeutectic silumin by electroexplosion alloying followed by electron beam processing. Materials letters 253, 2019, pp.55-58.

18. D.V.Zagulyaev, S.V.Konovalov, Yu.F.Ivanov, V.E.Gromov. Microstructure and micro-hardness behavior of Ti- Y_2O_3 -Al-Si composite coatings prepared in electron-plasma alloying. Doi:10.1016/j.matchar.2019.109934. Materials Characterization 158 (2019) 109934

19. Yu.F.Ivanov, D.V.Zagulyaev, A.M.Glezer, V.E.Gromov, A.Abaturova, A.A.Leonov, A.P.Semin, R.V.Sundeev. Changes in structure and mechanical characteristics of Al-5 wt%Si alloy after irradiation by electron beam. Doi: 10.1016/j.matlet.2020.128105. Materials letters 275 (2020) 128105.

20. D.V.Zagulyaev, Yu.F.Ivanov, S.V.Konovalov, V.E.Gromov, A.Abaturova, Yu.A.Rubannikova, A.P.Semin. Effect of electron-plasma treatment on the microstructure of Al-11wt%Si alloy. Doi: 101590/1980-5373-БК-2020-0057. Materials research, 2020, 23(2):e20200057.

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ТИТАНОВЫХ ФОЛЬГ НА ПРОЦЕСС РАЗРУШЕНИЯ КЕРАМОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

**Кузнецова А.Е., Гоморова Ю.Ф., Буякова С.П., Карпов С.М.,
Шмаков В.В., Буякова С.П.**

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
г. Томск, e-mail: aekuznetsova@ispms.ru*

В докладе представлены результаты исследований отклика на ударное воздействие многослойных керамометаллических композитов $ZrO_2/Ti/ZrO_2/Ti$, с нежестким закреплением плоскопараллельных слоев. Показано, что по мере диссипации энергии от слоя к слою, идёт увеличение дисперсности структуры металлических фольг и пластин керамики. Рассмотрены особенности деформации и разрушения каждого слоя композитов, а также проведен сравнительный анализ структурных характеристик материалов композитов до и после ударного нагружения.

Ключевые слова: слоистые композиты, ударный изгиб, титановая фольга, диоксид циркония

Для большинства конструкционных материалов, например, инструментальных сталей и керамики, необходимо подходящее соотношение прочности и вязкости. Керамические материалы имеют большую прочность и высокую температуру плавления, но их ударная вязкость мала, что ограничивает возможность их применения. Возможным решением этой проблемы является создание керамометаллических композиционных материалов с пластичными металлическими включениями [1], которые увеличивают ударную вязкость и позволяют достичь сочетание свойств, не характерных материалам по отдельности.

С практической точки зрения керамометаллические композиты со слоистой структурой представляют интерес для авиастроения [2]. Однако литературы, посвящённой исследованиям керамометаллических слоистых композитов и их отклика на механическое воздействие не так много. В частности, представляет интерес изменения структуры и свойств керамических и металлических фаз после механических испытаний.

В настоящей работе были изготовлены слоистые керамометаллические композиты, которые представляли собой чередование пластин керамики толщиной 2000 мкм и металлических фольг толщиной 100, 200 и 500 мкм, соединённых между собой ацетонорастворимым клеем (рисунок 1, а). При изготовлении композитов использовалась керамика на основе оксида циркония ZrO_2 , стабилизированного иттрием. Керамические образцы получены формованием порошка, их отжигом при 1100° 1 час и спеканием 1600° 1 час. Далее керамические пластинки полировали на алмазных пастах разной зер-

нистости. Относительная плотность ZrO_2 составила $97,8 \pm 0,2 \%$.

Металлические слои представлены фольгами титана марки ВТ1-0. Металлические фольги получены прокаткой до толщины 300 и 700 мкм с последующим отжигом при температуре 800° в течение 1 часа. Утонение полученных фольг до 100, 200 и 500 мкм достигалось посредством электролитической полировки в растворе: плавиковая (30 %), азотная (10 %) и серная (60 %) кислоты при комнатной температуре.

Механические испытания проводились на маятниковом копре консольно-закрепленного образца на испытательной машине Gotech GT-7045 НМН при комнатной температуре (рисунок 1, б). Удар производился со стороны керамического слоя (далее обозначается как «фронтальная поверхность»). Энергия ударника составляла 15 Дж, скорость движения ударника 3,46 м/с. После ударного нагружения композитов слои освобождались от клеявого соединения. Высвобожденные слои исследовали в зонах разрушения (зона А).

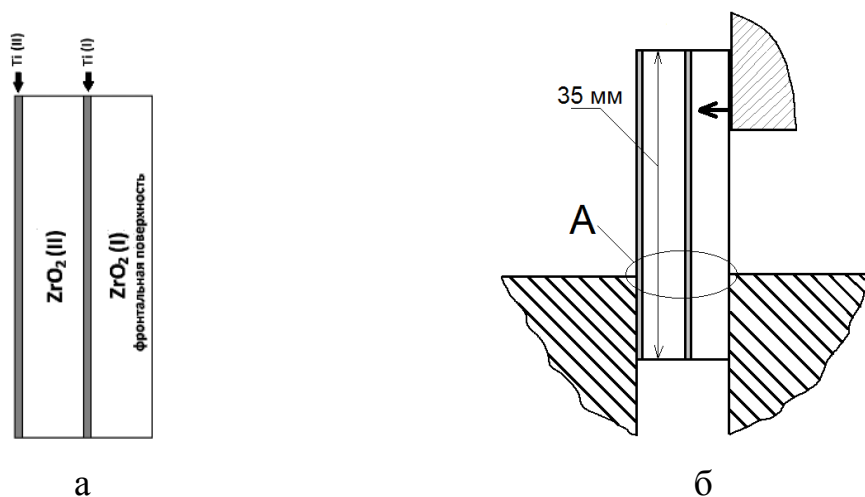


Рисунок 1 — Схема слоистых керамометаллических композитов (а) и схема испытания композита на ударный изгиб (б)

Исследования выполнены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-8Н (ИЦ Буревестник, Санкт-Петербург, Россия) с фильтрованным $CuK\alpha$ излучением. Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) фаз были определены по уравнению Шеррера [3]. Расчет количества моноклинной фазы оксида циркония рассчитывали по методу Ритвельда [4]. Исследования структуры композитов проведены посредством растровой электронной микроскопии (Vega Tescan).

Рентгенофазовый анализ керамических слоев композитов показал, что изначально представленный исключительно тетрагональной модификацией диоксид циркония на поверхности разрушения содержит моноклинную фазу, что объясняется проявлением эффекта трансформационного упрочнения. Необходимо подчеркнуть, что на поверхности разрушения $ZrO_2 (I)$ количество моноклинной фазы больше, чем в последующем слое $ZrO_2 (II)$ (табл. 1), что говорит о диссипации энергии предыдущими слоями.

Таблица 1 - Доля моноклинной фазы и величина области когерентного рассеяния в керамических слоях композитов

Композит	Керамический слой	Доля моноклинной фазы (X_m), %
ZrO ₂	Исходное состояние	0
ZrO ₂ /Ti (100)	ZrO ₂ (I)	36,7
	ZrO ₂ (II)	33,7
ZrO ₂ /Ti (200)	ZrO ₂ (I)	30,98
	ZrO ₂ (II)	28,91
ZrO ₂ /Ti (500)	ZrO ₂ (I)	30,78
	ZrO ₂ (II)	25,8

В таблице 2 представлена величина области когерентного рассеяния рентгеновских лучей в титановых слоях. При всех значениях толщины металлического слоя значение ОКР во вторых фольгах больше, чем в первых. Это показывает, что процесс диспергирования структуры и формирование новых субграниц зерен происходит интенсивнее в фронтальных (I) керамических слоях.

Таблица 2 - Величина ОКР в металлических слоях

Ti		Композиты с ZrO ₂	
		ОКР, нм	
100 нм	I	46,81	
	II	50,10	
200 нм	I	84,69	
	II	92,28	
500 нм	I	89,37	
	II	98,56	

Во всех композитах керамические слои подверглись разрушению. При этом титановые фольги претерпели значительную деформацию в области удара, но сохранили целостность. На рисунках 2 (а-е) представлены РЭМ-изображения поверхностей титановых фольг Ti (I) и Ti (II) в зоне локализации деформации. На фольгах Ti (I), расположенной ближе к фронту удара (рисунки 2, а-в), в месте изгиба образовалась шейка, зерна сильно деформированы. В фольге Ti (II), удаленной от фронта удара, шейка отсутствует, деформация зерен представлена одиночным скольжением. В вытянутых зернах наблюдаются полосы сдвига. Подобный характер деформации полностью соответствует теории многоуровневого пластического течения в шейке деформируемого твердого тела [5]. Как видно из рисунка 2, вся деформация в фольге Ti (II) сосредоточена в зоне изгиба и осуществляется внутризеренными процессами. Деформационный рельеф фольг Ti (II) (рисунки 2, г-е) демонстрирует меньшую развитость, чем рельеф фольги Ti (I), что явилось результатом диссипации энергии удара при разрушении второго керамического слоя. В композитах, содержащих пластины титана толщиной 500 мкм (рисунки 2 в, е), имеются следы скольжения, при этом зёрна слабо деформированы.

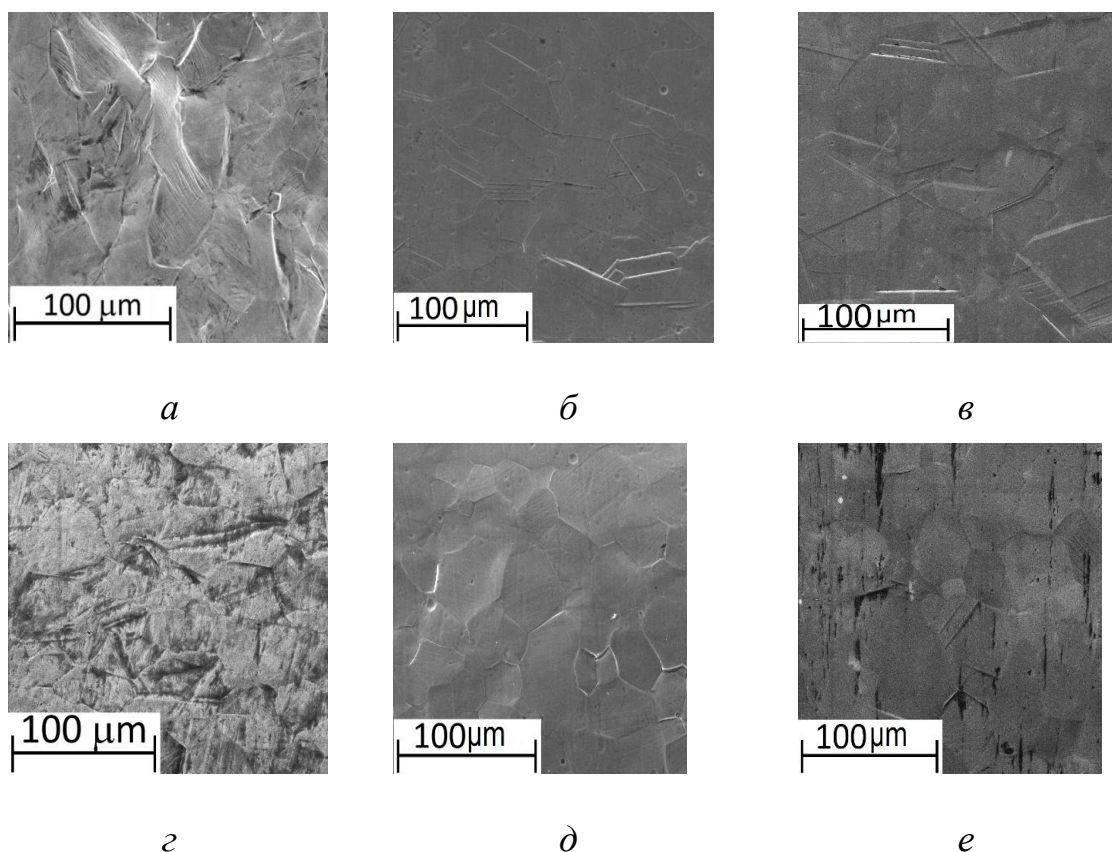


Рисунок 2 - РЭМ-изображения фольг в зоне локализации деформации, толщина фольги Ti (I): 100 мкм (а), 200 мкм (б), 500 мкм (в); толщина фольги Ti (II): 100 мкм (г), 200 мкм (д), 500 мкм (е)

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0009.

Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Нано-тех» ИФПМ СО РАН.

Библиографический список

1. Cai X., Xu Y., Zhong L., Liu M. Fracture toughness of WC-Fe cermet in W-WC-Fe composite by nanoindentation // Journal of Alloys and Compounds. - 2017. - Vol. 728. - pp. 788-796. - DOI:10.1016/j.jallcom.2017.09.070.
2. Kreculj D., Rasuo B. 7 - Impact damage modeling in laminated composite aircraft structures. Editor(s): Mohammad Jawaid, Mohamed Thariq // In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Sustainable Composites for Aerospace Applications, Woodhead Publishing - 2018. - pp.125-153. - DOI: 10.1016/B978-0-08-102131-6.00007-4.
3. P. Bestimmung der inneren Struktur und der Größe von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen // Kolloidchemie Ein Lehrbuch. - 1912. - pp. 387-409. DOI: 10.1007/978-3-662-33915-2_7.
4. Bish D.L., Howard S.A. Quantitative phase analysis using the Rietveld method // Journal of Applied Crystallography. - 1988. - Vol. 21 (2) - pp. 86-91. - DOI: 10.1107/S0021889887009415.

5. Panin V.E., Grinyaev Y.V., Panin A.V. Field theory of multilevel plastics flow in the neck of a deformed solid // Physical Mesomechanics. - 2007. - Vol. 10 (5-6). - pp. 225-234. - DOI: 10.1016/j.physme.2007.11.001.

УДК 538.911

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ В КРИСТАЛЛЕ ЖЕЛЕЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА

Гостевская А.Н., Кондратова О.А., Маркидонов А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lokon1296@mail.ru*

Проведены исследования методом молекулярной динамики, изменения строения структуры при лазерном воздействии на поверхностные слои ОЦК с различной плотностью энергии, и сопровождающихся образованием дислокаций.

Ключевые слова: модель, температура, дислокации, релаксация, погруженного атома,

Введение

Некоторые исследователи указывают на образование дислокаций не после релаксации остаточных термоупругих напряжений, а непосредственно в момент воздействия импульса, и которое обусловлено лазерно-индуцированной волной напряжений [1]. Таким образом, можно сделать вывод о разнообразии механизмов генерации дислокаций, которые в том числе зависят и от длительности воздействия лазерного импульса.

Ранее авторами в работах [2-4] методом молекулярной динамики были рассмотрены структурные изменения, происходящие в поверхностном слое монокристалла железа при импульсном лазерном воздействии. Было обнаружено, что в жидкой фазе формируются пустоты, которые могут сохраняться в материале и после кристаллизации. Этот процесс можно рассматривать как начальную стадию структурных изменений, происходящих в кристалле в процессе релаксации после воздействия лазерного импульса на поверхность. Целью данной работы является исследование изменений, происходящих на более поздней стадии релаксации.

Методика исследования

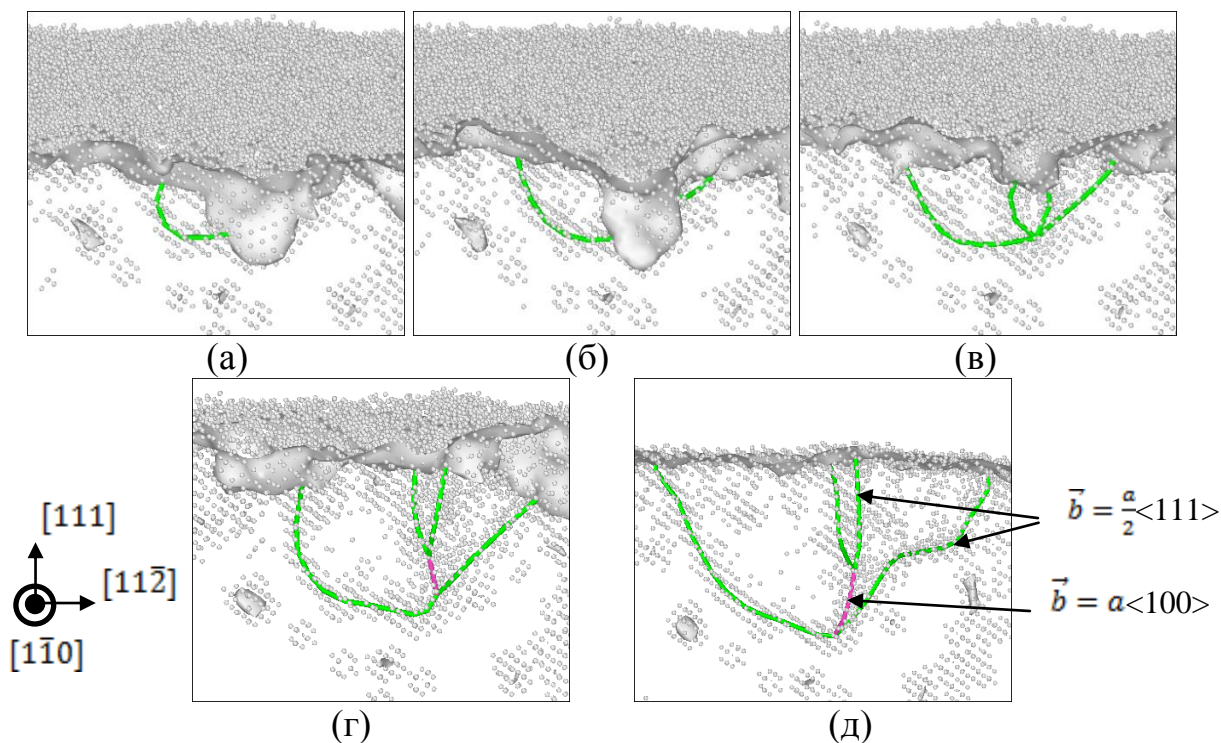
Молекулярно-динамическая модель представляет собой прямоугольную расчетную ячейку, имитирующую монокристалл железа, и в которой оси координат соответствуют ортогональным кристаллографическим направлениям $[111]$, $[11\bar{0}]$ и $[11\bar{2}]$. Параметры потенциала межчастичного взаимодействия, определенного в рамках модели ЕАМ, были заимствованы из работы [5]. Для решения дифференциальных уравнений движения применялся скоростной алгоритм Верле с временным шагом 1 фс. Вычисления

проводились с применением свободно распространяемого пакета молекулярно-динамического моделирования XMD [6].

Методика проведения вычислительного эксперимента изложена в работе [3] и на первом этапе заключается в неравномерном нагреве расчетной ячейки в течение 10 пс в соответствии с заданным теоретическим распределением, при котором температура убывает в направлении, перпендикулярном свободной поверхности. Для создания поверхности применялись свободные граничные условия вдоль одной из осей расчетной ячейки, в то время как вдоль остальных осей использовались периодические граничные условия. Основным варьируемым параметром имитируемого лазерного излучения, который в итоге влияет на величину температуры, в данном вычислительном эксперименте является плотность энергии q . На втором этапе в течение 90 пс температура кристалла понижается также в соответствии с заданным распределением. В ходе данных этапов проводится анализ структуры кристалла при помощи различных алгоритмов, которые будут указаны ниже. Визуализация исследуемой структуры осуществлялась при помощи пакета OVITO [7].

Результаты исследования

При моделировании кристалла, имеющего поверхность вдоль направления $[111]$, в расчетной ячейке было идентифицировано две полные дислокации $a/2 \langle 111 \rangle$ с последующим их объединением и образованием дислокации $a \langle 100 \rangle$, что энергетически выгодно (рисунок 1).



Представлены фрагменты расчетной ячейки в моменты времени 40 (а), 43 (б), 45 (в), 56 (г) и 80 (д) пс

Рисунок 1 – Визуализация образования дислокаций при моделируемой плотности энергии $q = 3,5 \text{ МВт/см}^2$

При создании поверхности вдоль направления $[11\bar{2}]$ образование дислокаций зафиксировано не было.

В обоих рассмотренных случаях дислокации $a/2 \langle 111 \rangle$ зарождаются на межфазной границе и скользят в плоскостях $\{112\}$ и $\{110\}$. Но в численном эксперименте, вектор Бюргерса дислокации коллинеарен вектору, соответствующему одному из ребер расчетной ячейки, что в рамках модели упрощает последующие оценки условий, необходимых для зарождения дислокации.

Общая протяженность формирующихся дислокационных линий увеличивается при возрастании плотности энергии имитируемого лазерного импульса, и, следовательно, увеличении температуры расчетной ячейки.

Возможность образования дислокации обусловлено имеющимся недостатком атомов для выстраивания идеального атомного ряда в процессе кристаллизации, так как часть частиц была эжектирована со свободной поверхности на этапе нагревания. Этим объясняется увеличение длины дислокационной линии при возрастании плотности энергии q , так как при этом увеличивается и число оторванных частиц. Тем не менее, для создания необходимых условий к образованию дислокации необходимо наличие механических напряжений. В расчетной ячейке при проведении численного эксперимента присутствуют как температурные напряжения, обусловленные применением периодических граничных условий, так и межфазные напряжения, девиаторный компонент тензора которых создает поверхностное натяжение межфазной границы. Образование дислокаций, по-видимому, возникает из-за неравномерности распределения касательных напряжений в межфазном слое, обусловленной его кривизной.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного численного эксперимента продемонстрировано образование дислокаций, при этом на данный процесс оказывает влияние как выбор кристаллографической плоскости, используемой в качестве свободной поверхности для моделируемого кристалла, так и величина плотности энергии имитируемого лазерного импульса, что оказывает влияние на температуру расчетной ячейки.

Исследование проводилось в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00087-2401.

Библиографический список

1. Yang Z., Watanabe S. Dislocation loop formation under various irradiations of laser and/or electron beams // Acta Materialia. – 2013. – V.61, №.8. – P.2966 – 2972.

2. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Гостевская А.Н., Лубяной Д.А., Захаров П.В. Моделирование структурных изменений поверхностного слоя ОЦК-металла при кратковременном высокоэнергетическом воздействии методом молекулярной динамики // Металловедение и термическая обработка металлов. 2022. №5 (803). С.16-21.

3. Маркидонов А.В., Гостевская А.Н., Громов В.Е., Старостенков М.Д., Зыков П.А. Моделирование структурных изменений в поверхностном слое деформированного ОЦК-кристалла при кратковременном внешнем высокоинтенсивном воздействии // Деформация и разрушение материалов. 2022. №8. С.2-8.

4. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Гостевская А.Н., Лубяной Д.А., Захаров П.В. Молекулярно-динамическое моделирование уменьшения пористости поверхностного слоя ОЦК-кристалла, вызванной воздействием лазерных импульсов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2023. Т.20. №2. С.168-175.

5. Mendeleev M.I., Han S., Srolovitz D.J., Ackland G.J., Sun D.Y., Asta M. Development of new interatomic potentials appropriate for crystalline and liquid iron // Philosophical Magazine. 2003. V.83. №35. Pp.3977-3994.

6. Kuo J.-K., Huang P.-H., Chien S.-K., Huang K.-Y., Chen K.-T. Molecular Dynamics Simulations of Crater Formation Induced by Laser Ablation on the Surface of α -Fe Substrate – Matec Web of Conferences, 2018. – V.167. – 03011.

7. XMD – Molecular Dynamics Program. URL: <https://xmd.sourceforge.net>.

8. Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO – the Open Visualization Tool // Modelling and Simulation Materials Science and Engineering. 2010. V.18. 015012.

УДК 538.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЁМКОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ НА ПРИМЕРЕ AL-SC

Чинов В.Ю., Арышенский Е.В., Сарычев В.Д., Клепов Д.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, chinov_vy@sibsiu.ru, evgenii@yandex.ru,
sarychev_vd@mail.ru, klepov_dn@sibsiu.ru*

Алюминиевые сплавы, микролегированные переходными металлами, являются перспективными материалами для использования в космической, авиационной промышленности. Однако, количественный расчёт кинетики выпадения дисперсных частиц и последующего роста мелкодисперсных частиц затруднён. Крайне важным параметром для дальнейшего моделирования является зависимость теплоёмкости от концентрации переходного металла в алюминии. На основании которой, в дальнейшем, будет получена зависимость энергии Гиббса от концентрации переходных элементов в алюминии.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, переходные металлы, теплоёмкость, энергия Гиббса.

Алюминий и сплавы на его основе крайне востребованы за счёт своего

низкого веса, высокой коррозионной стойкости и перерабатываемости [1,2]. Из-за недостаточной прочности и жаропрочности, алюминий в чистом виде почти не используется. Значительного улучшения механических свойств, а также коррозионных, жаропрочных свойств, можно добиться за счёт легирования алюминия микродобавками переходных металлов, например: Sc, Zr, Hf, Er. За счёт образования наноразмерных частиц второй фазы повышается прочность, с сохранением высокого уровня пластичности и проводимости чистого Al. Из-за этого редкоземельные металлы являются подходящим кандидатами для повышения механических свойств алюминиевых сплавов [3-6]. Однако, количественно описать кинетику выпадения этих наноразмерных включений крайне тяжело. Для оценки этих величин используются методы математического моделирования, будь то метод фазового поля или метод среднего поля [7,8]. Все эти методы требуют определения свободной энергии (энергии Гиббса) для моделирования выпадения этих частиц. В свою очередь, свободную энергию можно выразить из теплоёмкости. А теплоёмкость любого сплава можно получить по закону охлаждения Ньютона–Рихмана (формула 1) [9,10].

$$dQ = \alpha(T - T_0)dSd\tau \quad (1)$$

где T_0 - температура окружающей среды,

T – температура образца;

dQ – количество потерянной теплоты;

α – коэффициент теплоотдачи;

dS – изменение площади;

$d\tau$ – изменение времени.

Количество тепла также можно рассчитать по формуле 2:

$$dQ = C_p^0 \rho \frac{dT}{d\tau} dVd\tau \quad (2)$$

где C_p^0 – удельная теплоемкость металла;

ρ – плотность металла, преобразуя, получим формулу 3:

$$C_p^0 m \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0)S \quad (3)$$

где S - площадь поверхности всего образца;

m – масса материала. На основании получившегося соотношения можно вывести формулу для получения теплоёмкости одного образца из теплоёмкости другого образца (Эталона) Формула 1.4.

$$C_{p1}^0 = C_{p0}^0 \frac{m_0 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_0}{m_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1} = C_{p0}^0 \frac{m_0 \left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_0}{m_1 \left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_1} \quad (4)$$

где m_0 и m_1 - масса эталонного и изучаемого образца.

Экспериментальная реализация планируется следующим образом, в термогравиметрический анализатор (дериватограф) Setaram будут помещены образцы с различным содержанием Sc 0,2, 0,4, 0,7 % Sc и 0 % (в качестве

эталона). На основании кривых охлаждения и теплоёмкости чистого алюминия будет рассчитана зависимость теплоёмкости от концентрации Sc.

Таким образом, сравнивая теплоёмкость эталона, например, чистого алюминия с теплоёмкостью образцов с разным содержанием Sc, можно получить зависимость теплоёмкости от концентрации переходного металла. На основании неё планируется вывести зависимость энергии Гиббса от содержания Sc. После апробации данного способа с результатами, которые будут получены моделированием в Thermocalc, выбранный метод может быть использован для нахождения зависимости энергии Гиббса от других переходных элементов.

Библиографический список

1. Goncalves M., Monteiro H., Iten M. Life Cycle Assessment studies on lightweight materials for automotive applications-An overview //Energy Reports. – 2022. – Т. 8. – С. 338-345.

2. Hashimoto N. Application of Aluminum extrusions to automotive parts //Kobelco Technology Review. – 2017. – Т. 35. – С. 69-75. Zhang J. Y. et al. Microalloying Al alloys with Sc: a review //Rare Metals. – 2020. – Т. 39. – С. 636-650.

3. Влияние режимов термической обработки на механические свойства алюминиевых сплавов 1570, 1580 и 1590 / Е. В. Арышенский, В. Ю. Арышенский, А. М. Дриц [и др.] // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 76-87. – DOI 10.18287/2541-7533-2022-21-3-76-87. – EDN PZDKOV.

4. Yuryev P. O. et al. Investigation the structure in cast and deformed states of aluminum alloy, economically alloyed with scandium and zirconium //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2021. – Т. 115. – №. 1-2. – С. 263-274.

5. Филатов, Ю.А. Исследование и разработка новых высокопрочных свариваемых сплавов на основе системы Al-Mg-Sc и технологических параметров производства из них деформированных полуфабрикатов: автореферат дисс. ... д-ра техн. наук / Ю.А. Филатов. – Москва, 2000. - 180 с.

6. Zhang H. M. et al. Influences of the Al₃Sc particle content on the evolution of bimodal grain structure and mechanical properties of Al–Mg–Sc alloys processed by hard-plate rolling //Materials Science and Engineering: A. – 2021. – Т. 802. – С. 140451.

7. Deschamps A., Hutchinson C. R. Precipitation kinetics in metallic alloys: Experiments and modeling //Acta Materialia. – 2021. – Т. 220. – С. 117338. Leach L. et al.

8. Diffusion-controlled lengthening rates of bainitic ferrite a part of the steel genome //Metallurgical and Materials Transactions A. – 2019. – Т. 50. – С. 2613-2618.

9. Ганиев И. Н. и др. Влияние добавок скандия на температурную зависимость теплоемкости и термодинамических функций алюминиево-

магниевого сплава //Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121. – №. 1. – С. 25-31.

10. Джайлоев Д. Х. и др. влияние бария на температурную зависимость удельную теплоемкость и на изменение термодинамических функций сплава АЖ2. 18 //Бахши илмъои табиӣ. – 2018. – С. 245.

УДК 621.791.92

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ НАПЛАВКИ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТПУСКА И ЭПО

Чапайкин А.С., Громов В.Е., Черепанова Г.И., Миненко С.С.

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

В статье обобщен метод световой, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, в ходе работы были исследованы структура и свойства многослойных покрытий, состоящих из быстрорежущей стали Р18Ю, полученных на подложке из стали 30ХГСА с применением технологии многослойной плазменной наплавки в смеси аргона и азота, за которым последовал высокотемпературный отпуск и обработка электронным пучком.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь, высокотемпературный отпуск, структура, порошковая проволока, микротвердость, плазменная наплавка, электронно-пучковая обработка.

В металлургической и горной промышленности широко используется плазменная наплавка для защиты от износа тяжело нагруженных поверхностей деталей машин [1]. Этот метод характеризуется большим выбором наплавочных материалов, включая быстрорежущие теплостойкие стали высокой твердости (например, Р18, Р6М5, Р2М9) и возможностью легирования металла различными химическими элементами, включая азот.

Сейчас в мире наблюдается тенденция применения азота для улучшения свойств литых металлических сплавов и покрытий. В результате этого повышается их прочность, ударная устойчивость и коррозионная стойкость [2]. К примеру, был разработан способ плазменной наплавки. Важной особенностью данного способа является проведение высокотемпературного отпуска наплавленных материалов. Из-за этого происходит повышение твердости и износостойкости наплавленного покрытия.

За последнее время были разработаны новые методы и технологии термической обработки металлических изделий с использованием концентрированных потоков энергии, позволяющих существенно повысить качество их поверхности и структурно-фазовые характеристики. Импульсно-периодическая электронно-пучковая обработка обладает большими возможностями в обработке сталей. В условиях высокоскоростного нагрева и охла-

ждения без плавления происходит изменение зеренно-субзеренной и дефектной структуры металлического основания, а также карбидных фаз [3].

Цель данного исследования заключается в выявлении особенностей формирования структуры и характеристик покрытий в процессе плазменной наплавки порошковой проволокой из стали P18Ю в азотной среде во время высокотемпературного отпуска, а также при последующей обработке электронным пучком.

Материалом исследования являлись образцы стали 30ХГСА с наплавленным слоем сплава P18Ю. Наплавленный слой получали плазменной наплавкой в среде азота нетоковедущей порошковой проволокой ПП-P18Ю диаметром 3,7 мм на сталь 30ХГСА.

Образцы наплавленного металла исследовались после наплавки и высокотемпературного отпуска при температуре нагрева 580 °С (время выдержки 1 ч, частота отпуска 4 раза) с последующим облучением импульсным электронным пучком. Облучение проводилось при плотности энергии электронного пучка 30 Дж/см², длительности импульса 50 мкс, числе импульсов облучения 5 и частоте следования импульсов 0,3 с⁻¹. Структурные исследования проводились на оптическом микроскопе OLYMPUS GX-51 и сканирующем электронном микроскопе КУКУ-ЕМ6900, оснащенный термоэмиссионным вольфрамовым катодом с микрозондовой приставкой. Испытания на микротвердость проводили по методу Виккерса на приборе HVS-1000. Индентором служила четырехгранная алмазная пирамида с нагрузкой 1 Н. Исследование дефектной субструктуры и фазового состава наплавленного слоя, осуществляли методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (прибор JEM 2100, JEOL).

На рисунке 1 изображено сканирующее электронно-микроскопическое изображение структуры наплавки. Отличительным признаком структуры быстрорежущих сталей после наплавки является ярко выраженная карбидная неоднородность.

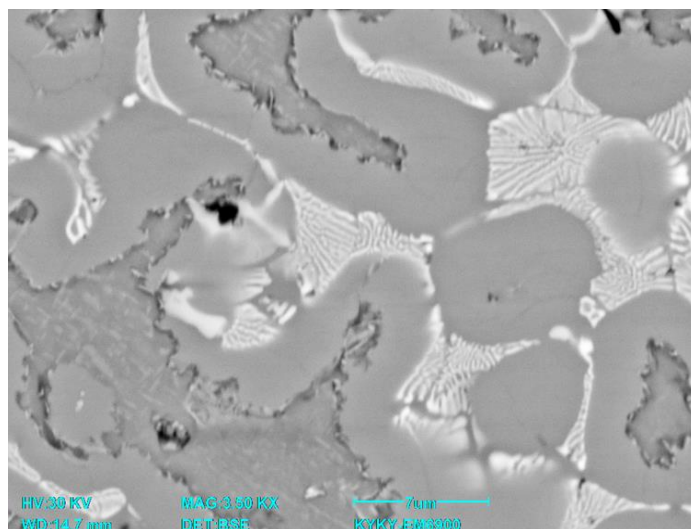


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения наплавленного слоя на глубине 2 мм, увеличение $\times 3500$

Исследования с использованием просвечивающей электронной микроскопии показали, что при наплавке образуется слой, состоящий в основном из фаз α -Fe (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки железа) и карбида M_6C (Fe_3W_3C - Fe_4W_2C). Карбид формирует каркасную сетку и является основной упрочняющей фазой в наплавленном слое. Основным элементом структуры наплавленного слоя являются зерна α -фазы, размеры которых варьируют от 7 до 22 мкм.

После отпуска (рисунок 2) отчетливо видны структурные изменения в наплавленном слое. Во внутренних областях с аустенитно-мартенситной структурой наблюдается образование мартенсита, отпущенного с повышенной травимостью и выделением дисперсных карбидов типа MeC , Me_6C с размерами 2–6 мкм.

Высокотемпературный отпуск сопровождается увеличением на 13 % (относительно состояния наплавленного слоя перед отпуском) микротвердости наплавленного слоя Р18Ю и достигает значения 5,3 ГПа. Высокотемпературный отпуск сопровождается снижением износостойкости наплавленного слоя на 12,3 % и коэффициента трения (на 7,7 %) относительно состояния наплавленного слоя перед отпуском.

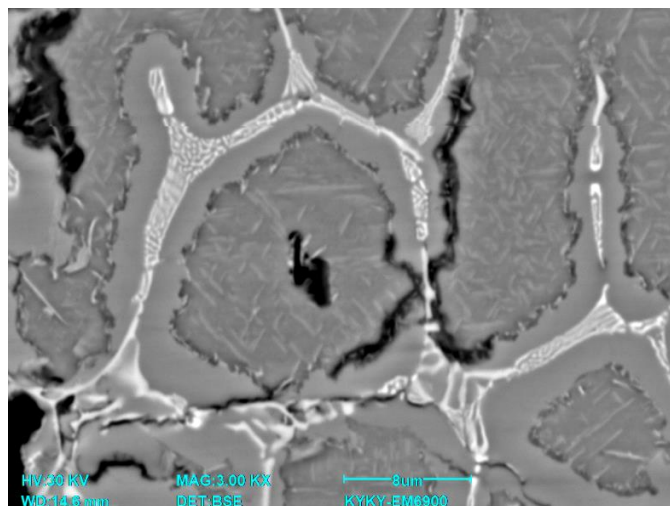


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения наплавленного слоя на глубине 2 мм после отпуска, увеличение $\times 3000$

Доказано, что после дополнительной электронно-пучковой обработки карбидная сетка сохраняется. Установлено, что структура модифицированного слоя имеет столбчатое (ячеистое) строение. Поперечные размеры столбиков варьируются от 100 нм до 250 нм. Вдоль границ столбиков расположены частицы второй фазы, размеры которых составляют от 10 нм до 15 нм. Трибологические испытания выявили кратное (в 3 и более раз) снижению параметра износа (повышение износостойкости материала) и величины коэффициента трения, относительно образцов после отпуска, но без дополнительного облучения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00186, <https://rscf.ru/project/23-19-00186>.

Библиографический список

1. Малушин Н.Н., Громов В.Е., Романов Д.А. и др. Структура быстрорежущего сплава после плазменной наплавки в среде азота и термообработки. Изв. вузов. Черная металлургия, 2020, т.63, №9, с.707-715.
2. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe-Cr-Mn-Si, дополнительно легированных азотом. Сварочное производство, 2011, №10, с.18-22.
3. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Электронно-пучковая модификация поверхности покрытий. Известия вузов. Физика, 2011, №11/3, с.103-111.

УДК 669.255

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА $\text{CoCrZr}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$ С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТА ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

**Панова В.С., Кузнецова В.А., Осинцев К.А.,
Коновалов С.В., Панченко И.А.**

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

В работе представлены результаты исследования по прогнозированию фазового состава высокоэнтропийного сплава $\text{CoCrZr}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$ с использованием расчета концентрации валентных электронов. Полученные данные показывают, что образование двухфазной структуры с кристаллическими решетками ГЦК и ОЦК прогнозируется при $5 \leq x \leq 31$ ат. %. При $32 \leq x \leq 35$ ат. % прогнозируется образование однофазного твердого раствора на основе ОЦК фазы. Следовательно, при увеличении содержания Zr от 5 до 35 ат. % и одновременном снижении содержания Mn структура сплава изменяется из двухфазной ОЦК+ГЦК в однофазную ОЦК.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, Co-Cr-Zr-Mn-Ni, концентрация валентных электронов, фаза, кристаллическая решетка.

В современном мире в науке и промышленности возрастает спрос на экономичные и энергоэффективные материалы с высокими характеристиками качества. Одним из перспективных направлений является создание высокоэнтропийных сплавов с уникальными свойствами. В отличие от традиционных сплавов, которые содержат один-два основных компонента и небольшое количество легирующих добавок, в высокоэнтропийных сплавах присутствуют от пяти основных компонентов, содержание которых варьируется от 5 до 35 ат. % [1]. Важной задачей является прогнозирование фазового состава таких сплавов, поэтому цель данной работы – анализ зависимости феноменологического критерия образования ОЦК и ГЦК фаз от концентрации

Zr и Mn в сплаве $\text{CoCrZr}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$.

Концентрации Zr и Mn в сплаве $\text{CoCrZr}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$ изменялись одновременно в диапазоне от $x = 5$ до $x = 35$ с шагом 1 ат. %. Концентрация валентных электронов (КВЭ) определяет фазовую стабильность для формирования ГЦК и ОЦК твердых растворов, поэтому данная характеристика была выбрана в качестве ключевого физического параметра. Концентрация валентных электронов (КВЭ) определяется как $\text{КВЭ} = \sum c_i (\text{КВЭ})_i$, где c_i – молярная доля i -го компонента и $(\text{КВЭ})_i$ – концентрация валентных электронов i -го компонента. Известно, что при $\text{КВЭ} < 6,87$ образуются стабильные ОЦК фазы, при $\text{КВЭ} \geq 8$ – ГЦК фазы, а ОЦК+ГЦК фазы при $6,87 \leq \text{КВЭ} < 8$.

На рисунке 1 изображен график зависимости концентрации валентных электронов от взаимного изменения Zr и Mn в составе сплава $\text{CoCrZr}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$. На основе проведенных расчетов можно сделать вывод, что механическая смесь на основе двух фаз ГЦК и ОЦК прогнозируется при $5 \leq x \leq 31$ ат. %. Образование однофазного твердого раствора на основе ОЦК фазы прогнозируется в сплаве при $32 \leq x \leq 35$ ат. %.

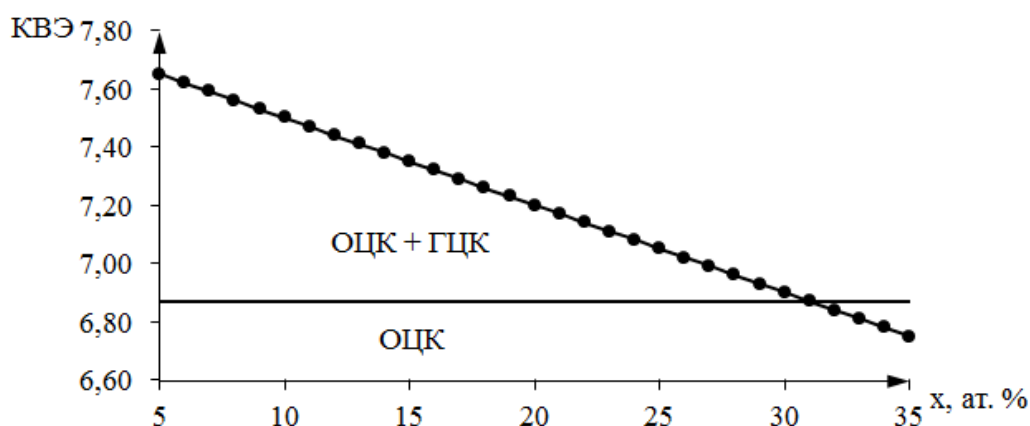


Рисунок 1 – График зависимости концентрации валентных электронов (КВЭ) от концентрации x (ат. %)

Полученные в настоящей работе данные показывают, что при увеличении концентрации Zr от 5 до 35 ат. % и взаимном уменьшении концентрации Mn структура сплава изменяется из двухфазной ОЦК+ГЦК в однофазную ОЦК. Изменение структуры сплава может быть объяснено влиянием электронной концентрации на стабилизацию ГЦК и ОЦК фаз. Известно, что концентрация электронов в ОЦК фазе ниже, чем в ГЦК фазе, и при уменьшении электронной концентрации в сплаве происходит расширение области существования ОЦК фазы [2]. Увеличение содержания Zr и снижение содержания Mn в сплаве приводит к уменьшению электронной концентрации, так как у Zr более низкая концентрация валентных электронов (4) по сравнению с Mn (7). Это приводит к образованию ОЦК фазы и исчезновению ГЦК фазы при достижении критического значения КВЭ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, № 23-49-00015, <https://rscf.ru/project/23-49-00015/>.

Библиографический список

1. Yeh, J. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes [Text] / J. Yeh, S. Chen, S. Lin, J. Gan, T. Chin, T. Shun, C. Tsau, S. Chang // *Adv. Eng. Mater.* – 2004. – № 5. – P. 299–303.

2. Guo, S. Effect of valence electron concentration on stability of fcc or bcc phase in high entropy alloys [Text] / S. Guo, C. Ng, J. Lu, C. Liu // *J. Appl. Phys.* – 2011. – № 10. – P. 103505.

УДК 620.179:621.791

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

**Клопотов А.А.¹, Абзаев Ю.А.¹, Громов В.Е.², Иванов Ю.Ф.³,
Шлярова Ю.А.², Селиванов И.Д.²**

¹*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, e-mail: klopotovaa@tsuab.ru*

²*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru*

³*Институт сильноточной электроники СО РАН,
г. Томск, e-mail: yufi55@mail.ru*

На основе литературных данных и предположения о возможности рассмотрения сложно легированных быстрорежущих сталей как высокоэнтروпийных сплавов неэквивалентного состава выполнен компьютерный расчет диаграммы фазового состава стали FeMoCoCrV, содержащей 1,94 вес.% С в температурном интервале 300-1400°C. Рассмотрены фазовые переходы в 7 температурных областях.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, быстрорежущая сталь, карбиды, феррит, аустенит.

Одной из фундаментальных и практически ориентированных задач физики конденсированного состояния и физического материаловедения является разработка физических основ создания новых металлических материалов и технологий их получения с комплексом необходимых физико-механических и эксплуатационных свойств. Как известно, механические свойства материалов существенно зависят от их химического состава и особенностей структурного состояния, таких как тип, размеры зерен, виды их границ, сорт, количество и распределение по размерам и объему включений избыточных фаз, плотность и тип дислокационной субструктуры и т.п. [1]. В начале 21 века появились работы по созданию и комплексному исследованию новых так называемых высокоэнтропийных полиметаллических сплавов, включающих 5–6 и более основных элементов [2-5].

Значительно раньше ВЭС были созданы быстрорежущие стали Р18 на основе Fe с содержанием W 18 %. Вольфрамовые стали оптимального состава Р18, Р12 и стали на их основе (Р18К5, Р12Ф3 и др.) постепенно вытеснялись сталями Р6М5, Р6М5К5, Р6М5Ф3, Р7М4К5 (М41 по американскому марочнику) и другими вольфрамомолибденовыми сталями также оптимального состава.

К оптимальным следует отнести составы сталей, которые обеспечивают наиболее высокий уровень их эксплуатационных и технологических свойств в сравнении с известными сталями при наименьшем содержании основных легирующих элементов. Естественно, что оптимальный состав стали изменяется в связи с изменениями свойств обрабатываемых материалов, конструкции и технологии производства инструмента, стоимости и дефицитности легирующих компонентов и т.п.

Основной упрочняющей фазой таких сплавов, обеспечивающей комплекс важных эксплуатационных свойств, являются карбиды. Установлено, что в быстрорежущих сталях оптимального состава после отжига карбидная фаза должна состоять из карбидов M_6C с высокой концентрацией вольфрама и (или) молибдена, а также небольшого количества карбидов ванадия MC . В этом случае упрочнение сталей дисперсионным твердением обеспечивается за счет выделения из мартенсита в процессе отпуска при $560^\circ C$ карбидов типа M_2C состава $(W, Mo, V, Cr)_2C$ и карбидов MC . Эти карбиды отличаются большой устойчивостью при нагреве против коагуляции и придают быстрорежущим сталям высокую теплостойкость. С повышением температуры отпуска и приближением структуры сталей к равновесному термодинамическому состоянию карбиды M_2C превращаются в стабильные карбиды M_6C состава $(Fe, Cr)_4(W, Mo, Cr)_2C$.

В карбидах отожженных быстрорежущих сталей сконцентрированы практически все содержащиеся в них легирующие компоненты и углерод. Часть этих карбидов растворяется в аустените при нагреве до закалочных температур, насыщая его углеродом и легирующими компонентами, а другая часть карбидов, которые не растворяются в аустените, препятствует росту его зерен. Таким образом, растворимые карбиды служат для получения в быстрорежущих сталях высокой твердости и теплостойкости, а нерастворимые – предела прочности при изгибе и ударной вязкости. Первая группа свойств обеспечивает достаточно большую скорость резания, т.е. все те параметры, от которых зависит производительность процесса обработки резанием.

Анализ литературных данных по ВЭС [1-6] позволяет предполагать, что быстрорежущие стали могут быть отнесены к ВЭС неэквивалентного состава. Комплекс программ термодинамических расчетов Calphad (Calculation Phase Diagram) позволяет спрогнозировать фазовый состав ВЭС, что было сделано в работах [7-10]. Однако сама по себе эта задача представляется достаточно сложной ввиду неполного описания, в частности, тройных систем [7].

Наиболее подробный анализ фазообразования в пятикомпонентных ВЭС, состоящих из кобальта, железа, никеля, марганца, алюминия, меди был

проведен в работе [9]. Было рассмотрено 2436 композиций, из которых Calphad выбрал 1761 вариант для надежного прогнозирования образования ОЦК/В2 и ГЦК фаз, исключая аморфную фазу и интерметаллиды. Было показано, что термодинамические расчеты и данные эксперимента практически совпадают. По мере увеличения разницы атомных размеров элементов образуется больше сплавов ОЦК/В2 по сравнению с ВЭС с ГЦК структурой. Было обнаружено, что концентрация валентных электронов является наиболее важным параметром для предсказания фаз ОЦВ/В2, ГЦК, ОЦК/В2+ГЦК. Эти результаты очень важны для дизайна ВЭС с определенной структурой и, соответственно, свойствами.

Количественное содержание фаз в ВЭС, их стабильность, термодинамические и механические параметры в неэквИАтомном соединении могут быть определены методом Ритвельда [11]. На основе расчетов из первых принципов и уточнения параметров методом Ритвельда определено структурное состояние $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Было показано, что это соединение является высокостабильным с энергией смешения порядка -16214 эВ [11]. Исследование стабильности методом выпуклых оболочек позволило определить вероятный список фаз распада соединения $\text{Al}_{34}\text{Co}_5\text{Fe}_{16}\text{Cr}_8\text{Ni}_{37}$. Было установлено, что в этот список входят стабильные двойные и тройные фазы. Детальный анализ показал, что соединения AlNi , $\text{Cr}_8\text{Fe}_{10}$, AlFeCo_2 стабильны не только при 0К, но также и при комнатной температуре. Определены удельная теплоемкость и температура Дебая, коэффициент термического расширения, колебательная часть свободной энергии, объемный модуль упругости и модуль сдвига.

Целью работы является изучение количественного фазового состава ВЭС на основе быстрорежущей стали типа М10 на основе расчета термодинамических и механических свойств посредством программы MatLab с использованием кристаллохимической базы данных стали общего назначения [12].

На рисунке 1 представлены результаты расчета образования соединений быстрорежущей стали в разных температурных областях. Анализ результатов, представленных на диаграмме, позволил выделить 7 температурных областей, которые характеризуются разными фазовыми составами:

Переход I \rightarrow II: Ferrite + M23C6 + M3C + M2C + MC \rightarrow Ferrite + M23C6 + M2C + MC;

Переход II \rightarrow III: Ferrite + M23C6 + M2C + MC \rightarrow Austenite + M23C6 + M3C + M2C;

Переход III \rightarrow IV: Austenite + M23C6 + M3C + M2C \rightarrow Austenite + M3C + M2C + MC;

Переход IV \rightarrow V: Austenite + M3C + M2C + MC \rightarrow Austenite + M2C + MC;

Переход V \rightarrow VI: Austenite + M2C + MC \rightarrow Austenite + M2C + MC + Liquid;

Переход VI \rightarrow VII: Austenite + M2C + MC + Liquid \rightarrow Austenite + Liquid.

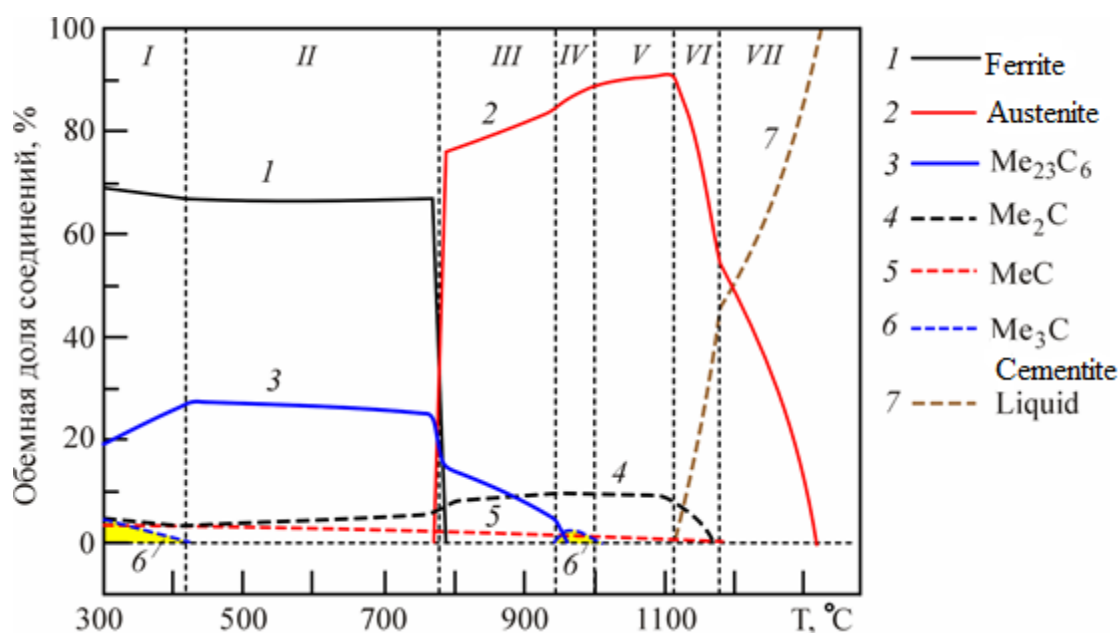


Рисунок 1 - Диаграмма фазового состава быстрорежущей стали

Таблица. Химический состав стали (вес.%)

Элементы	Fe	Mo	Co	Cr	V	Si	Mn	C
вес. %	81,72	9,23	2,99	2,25	0,88	0,58	0,41	1,94

Библиографический список

1. Gromov V.E., Konovalov S.V., Ivanov Yu. F., Osintsev K.A. Structure and Properties of High-Entropy Alloys / Springer Nature Switzerland AG. 2021
2. Zhang Y. et al. Microstructures and properties of high-entropy alloys // Prog. Mater. Sci. 2014. Vol. 61. P. 1–93.
3. Cantor B. Multicomponent and High Entropy Alloys // Entropy. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2014. Vol. 16, № 9. P. 4749–4768.
4. Miracle D.B., Senkov O.N. A critical review of high entropy alloys and related concepts // Acta Mater. 2017. Vol. 122. P. 448–511.
5. Zhang W., Zhang Y. Science and technology in high-entropy alloys // Sci. China Earth Sci. 2018. P. 2–22.
6. George E.P., Curtin W.A., Tasan C.C. High entropy alloys: a focused review of mechanical properties and deformation mechanisms. // Acta Mater., 2020. V. 188. PP. 435-474
7. Do H-S., Choi W., Byeong-Joo L. A thermodynamic description for the Co-Cr-Fe-Mn-Ni system. // Journal of Materials Science. 2022. V. 57. PP. 1373-1389
8. Otto F., Dlouhý A., Pradeep K.G., Kuběnová M., Raabe D., Eggeler G., George E.P. Decomposition of the single-phase high-entropy alloy CrMnFeCoNi after prolonged anneals at intermediate temperatures. Acta Materialia. 2016, vol. 112, pp. 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.04.005>
9. Stepanov N.D., Shaysultanov D.G., Ozerov M.S., Zhrebtsov S.V., Salsishchev G.A. Second phase formation in the CoCrFeNiMn high entropy alloy af-

ter recrystallization annealing. *Materials Letters*. 2016, vol. 185, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.08.088>

10. Shafiei A. Design of eutectic high entropy alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2022, vol. 53, pp. 4329–4361. <https://doi.org/10.1007/s11661-022-06831-x>

11. Abzaev Yu., Sarkisov Yu., Afanasev D., Klopotov A. et al. Structural-Phase State Analysis of Calcium Mono-Aluminate // *Advanced Materials Research*. 1013 (2014) PP. 102-107

12. Saunders N., Guo Z., Aij A.P. and et al. Using JmatPro to model materials properties and behavior // *JOM: the journal of the Minerals, Metal and Materials Society*, December, 2003. P. 60-63

УДК 623.746.4-519

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Гусаров К.О., Ващук Е.С.

*Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, Политехнический лицей,
г.Прокопьевск, e-mail: vaschuk@bk.ru*

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны, имеют большое разнообразие различных применений, таких как военные, строительные, фото- и видеокартографирование, медицина, поисково-спасательные работы, доставка посылок, исследование скрытых территорий, мониторинг нефтяных вышек и линий электропередач, точное земледелие, беспроводная связь и воздушное наблюдение. Индустрия беспилотных летательных аппаратов привлекает значительное внимание как модель конвергенции производства, обслуживания и доставки, внося синергию с сосуществованием различных развивающихся областей.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, зондирование Земли.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны, получили важное значение в различных дисциплинах военных и гражданских служб из-за их повышенной стабильности и выносливости в некоторых операциях. За последнее десятилетие БПЛА использовались в различных областях, включая обнаружение и отслеживание объектов, общественную безопасность, наблюдение за дорожным движением, военные операции, исследование скрытых или опасных зон, навигацию внутри или снаружи помещений, зондирование атмосферы, операции после стихийных бедствий, здравоохранение, обмен данными, управление инфраструктурой, управление чрезвычайными ситуациями и кризисными ситуациями, грузовые перевозки, мониторинг лесных пожаров и логистику [1-4].

Беспилотный летательный аппарат обычно называют беспилотным ле-

тательным аппаратом, способным летать и оставаться в воздухе без необходимости присутствия человека на борту, обеспечивая более экономичные операции, чем эквивалентные пилотируемые системы, и выполняя экономически эффективные критически важные миссии без риска для человеческой жизни. БПЛА могут быть дистанционно пилотируемыми, при этом команды управления передаются с наземной базовой станции (БС) через пульт дистанционного управления. Беспилотные летательные аппараты также способны выполнять операции управления на борту с помощью автопилота и различных датчиков, включая систему глобального позиционирования (GPS) и инерциальные измерительные блоки (IMU).

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали многообещающими решениями в этом секторе, с быстрыми и инновационными конструкциями, которые обеспечивают доставку «последней мили» и при этом являются экологически чистыми. БПЛА легко и быстро разворачиваются, масштабируемы и гибки, обладают способностью к самоорганизации, экономичны и обладают высокой маневренностью. БПЛА сильно различаются по конфигурации, размеру, дальности, весу, типу двигателя и тактико-техническим характеристикам, чтобы нести несколько полезных нагрузок, включая коммуникационные гаджеты, навигационное оборудование, датчики и камеры. Существуют различные классификации БПЛА по различным параметрам, таким как конфигурация, тип двигателя, вес, дальность и размер.

Применение БПЛА. Безопасность, мониторинг и наблюдение

БПЛА играют неотъемлемую роль в военных миссиях по наблюдению. Несколько стран добавили БПЛА в свои оборонные стратегические планы. Страны используют эти летающие роботизированные машины для обнаружения врагов, борьбы с браконьерством, пограничного контроля и морского мониторинга критически важных морских путей. Недорогие, надежные и универсальные БПЛА в настоящее время играют значительный вклад в воздушное наблюдение, мониторинг и обследование любой конкретной территории для предотвращения любой незаконной деятельности. Например, наблюдение за любой угрозой может быть обнаружено с помощью беспилотных летательных аппаратов, и они могут быть использованы для мониторинга любой активности передвижения в любой запретной зоне. БПЛА может предоставлять эти услуги, обнаруживая автоматическое оповещение с минимальными ручными усилиями.

Ликвидация последствий стихийных бедствий

В случае техногенных или природных катастроф, таких как террористические атаки, цунами и наводнения, БПЛА могут получить доступ к местам расположения аварийных грузовиков, которые опасны для пилотируемой деятельности. Эти стихийные бедствия могут нанести серьезный ущерб телекоммуникационной инфраструктуре, транспорту, электро- и водоснабжению. БПЛА могут помочь в сборе информации, необходимости принятия быстрых решений и навигации по завалам. Радары, датчики и высококачественные камеры, встроенные в БПЛА, могут помочь спасательным коман-

дам выявлять повреждения и немедленно начинать восстановительные операции, а также отправлять ресурсы, такие как аптечки первой помощи и пилотируемые вертолеты. БПЛА могут помочь в своевременной оценке стихийных бедствий, обеспечении оповещений о стихийных бедствиях и помощи в поиске эффективных мер противодействия. В случае лесного пожара рой дронов, оснащенных огнетушителями, может контролировать, осматривать и отслеживать любую территорию, не подвергая опасности жизни людей. Таким образом, БПЛА могут помочь в охвате больших территорий в режиме реального времени, не подвергая риску безопасность задействованного персонала. Раннее предупреждение с помощью БПЛА может помочь спасти людей и диких животных, находящихся в опасности.

Дистанционное зондирование Земли

В настоящее время любительская технология беспилотных летательных аппаратов используется для получения данных изображений с высоким разрешением отдаленных районов, островов, горных вершин и береговых линий. Технология беспилотных летательных аппаратов устраняет разрыв между воздушными, космическими и наземными данными дистанционного зондирования. Низкая стоимость и малые характеристики БПЛА поддерживают качественное наблюдение с высоким временным и пространственным разрешением. Возможности дистанционного зондирования БПЛА могут помочь в обнаружении заболеваний, мониторинге качества воды, мониторинге засухи, нефти и газа, оценке урожайности, гидрологическом моделировании, сохранении биоразнообразия, геологических исследованиях стихийных бедствий, обследовании местности, картографировании лесов и мониторинге сельскохозяйственных культур. Эта технология также может быть использована для краудсорсингового картографирования и создания 3D-карт окружающей среды и стала активной частью археологии и картографии. Доступные беспилотные летательные аппараты могут помочь предоставить новейшие данные, которые могут соответствовать бюджету землеустройства, не полагаясь на устаревшие картографические источники.

Поисково-спасательные операции (SAR)

Считается, что беспилотные летательные аппараты имеют решающее значение в критических сценариях, таких как ликвидация последствий стихийных бедствий, спасательные операции и обеспечение общественной безопасности. БПЛА могут сэкономить много рабочей силы, ресурсов и времени, предлагая данные изображений предполагаемых мест в режиме реального времени. Следовательно, поисково-спасательная команда может своевременно определить и решить, где именно требуется помощь. Беспилотные летательные аппараты могут ускорить поисково-спасательные операции в катастрофических ситуациях, таких как пропавшие без вести, лавины, лесные пожары и проникновение ядовитых газов. Например, дроны могут быть использованы для отслеживания альпинистов, которые потерялись во время любой миссии, или для защиты человеческих жизней, потерянных в любой отдаленной пустыне или лесу. Таким образом, дроны могут помочь в отсле-

живании несчастных жертв или любых сложных ландшафтов или сложных атмосферных условий. Дроны могут обеспечить необходимые медицинские принадлежности до прибытия любой скорой помощи или медицинской бригады. Беспилотные летательные аппараты могут быть оснащены медицинскими аптечками, спасательными жилетами и запасами продовольствия в пострадавшие от стихийных бедствий районы и отдаленные районы. Такие дроны могут обеспечить тканью, водой и необходимыми предметами людей, оказавшихся в труднодоступных районах, до прибытия спасательных бригад.

Инспекция строительства и инфраструктуры

Картографирование исполнительной документации, мониторинг строительства и инспекция строительных площадок стали эффективными, простыми и быстрыми благодаря беспилотным летательным аппаратам. Мониторинг строительных проектов от начала до конца обеспечивает качественный ход работ на объекте. Он может предоставлять потенциальным заинтересованным сторонам отчеты, содержащие изображения, видео и 3D-карты. Эта технология может значительно помочь в инспектировании инфраструктуры и строительства. Стремительно растет интерес к беспилотным летательным аппаратам, используемым для обследования GSM-вышек, мониторинга газопроводов, линий электропередач и мониторинга строительных объектов.

Беспилотные летательные аппараты для обследования воздушных линий электропередачи

Обнаружение и предотвращение неисправностей на линиях электропередач имеет решающее значение для доступности и надежности электроснабжения. К недостаткам традиционных методов относятся высокая стоимость, громоздкость развертывания и опасные риски. Обследование линий электропередач также относится к безопасности сети электропередачи. БПЛА, оснащенный цифровой камерой для съемки коридоров линий электропередач, является удобным подходом для решения этих задач. БПЛА могут использоваться для отслеживания опор ЛЭП на предмет повреждения болтов, коррозии или ржавчины и ударов молнии. Короткое замыкание этих линий электропередач обычно происходит из-за суровых погодных условий, лесных пожаров и падения деревьев. В недавнем исследовании, ученый обсудил установку БПЛА на воздушных линиях электропередач для выявления неисправностей. Для обнаружения неисправностей могут использоваться как беспилотные летательные аппараты, так и альпинистские роботы. БПЛА могут выполнять эти инспекционные операции с меньшими затратами, чем вертолеты, и с меньшим риском, связанным с обычным пешим патрулированием. Среди различных БПЛА БПЛА с неподвижным крылом, которые могут летать быстрее и выше, в основном предпочтительны для грубого осмотра и мониторинга растительности. В отличие от них, мультироторные БПЛА используются для получения изображений, зависая в воздухе на более близком расстоянии от объектов. Мультироторные БПЛА подходят из-за высокой 3D-маневренности. Несмотря на эти возможности, использование мульт-

тироторного БПЛА в ограниченной или сложной среде является сложной задачей для автономного плана миссии и пилота. В будущем следует исследовать передовые алгоритмы сбора, обмена и обработки данных для совместной сети БПЛА, чтобы обеспечить надежные, эффективные и быстрые проверки.

Библиографический список

1. Логинов А.А., Хван А.А., Мусонов В.М. Актуальность использования беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ktualnostispolzovaniya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 10.10.2022).

2. Чуканов, К. П. Управляемые боеприпасы комплексов высокоточного оружия: новые решения и применение : учебное пособие / К. П. Чуканов, Н. С. Илюхина ; под редакцией К. П. Чуканова. – Тула : ТулГУ, 2021. – ISBN 978–5–7679–4973–1. – Текст : электронный // Лань : электронно– библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/226289> (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Головенчик, Г. Г. Цифровая экономика : учебно– методическое пособие / Г. Г. Головенчик. – Минск : БГУ, 2020. – ISBN 978– 985–566– 847– 4. – Текст : электронный // Лань : электронно– библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/180524> (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Геоскан [Электронный ресурс] / <https://www.geoscan.aero/ru> – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru>. Свободный. – Заглавие с экрана. (Дата обращения: 10.10.2022).

УДК 621.789:538.911

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Al-Si

Шлярова Ю.А., Шляров В.В., Загуляев Д.В.

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

В качестве трибологических свойств в работе оценивали изменение коэффициента трения при облучение импульсным электронным пучком.

Ключевые слова: сплав, Al-Si, трибологические свойства, коэффициент трения. ключевые слова.

В качестве материала исследований были использованы образцы доэвтектического сплава Al–11Si производства ОАО «РУСАЛ» (поставлялся в чушках). Образцы имели размеры 20×20×10 мм³. По результатам рентгено-спектрального анализа (прибором Shimadzu XRF-01800) был определен химический состав материалов (таблица 1).

Таблица 1. Химический состав сплава Al–11Si

Сплав	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Ni	Ti	Cr
Al–11Si	84,88	11,10	0,25	2,19	0,58	0,02	0,92	0,05	0,01

Модифицирование поверхности методами электронно-пучковой обработки (ЭПО) производили с помощью установки «СОЛЮ» (г. Томск). В данной работе облучение импульсным электронным пучком сплава системы Al–Si производили по режиму: плотность энергии пучка электронов - 35 Дж/см², энергия ускоренных электронов – 17 кэВ, длительность импульса пучка электронов - 150 мкс, количество импульсов тока – 3, частота следования импульсов – 0,3 с⁻¹.

Сопоставляя результаты трибоиспытаний сплава в исходном (рисунок 1, кривая а) и облученном (рисунок 1, кривая б) состояниях, можно отметить, что, во-первых, время выхода коэффициента трения на стационарный режим изменения в облученном образце существенно больше (не менее 100 сек.) и, во-вторых, амплитуда колебаний величины коэффициента трения исходного образца существенно выше ($\Delta\mu \geq 0,3$), что может быть связано с развитием процессов схватывания, выкрашивания упрочняющих частиц, а также переноса продуктов изнашивания из зоны трибоконтакта на контртело.

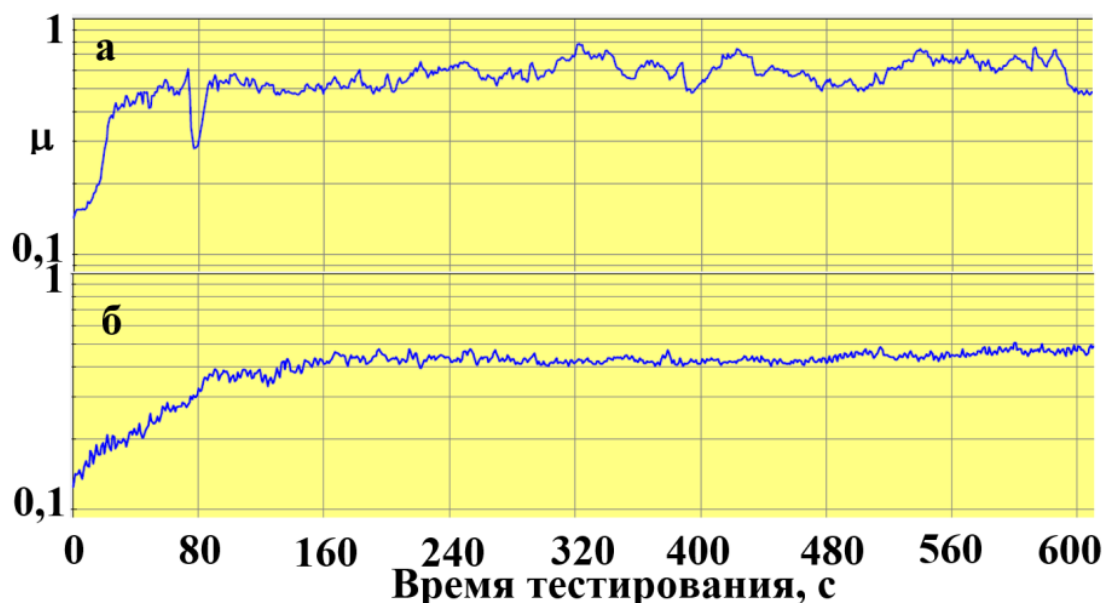


Рисунок 1– Зависимость коэффициента трения μ от времени трибологических испытаний сплава Al–11Si. а– исходное состояние, б – облучение импульсным электронным пучком

Построенные профили треков износа испытанных образцов внесли дополнительную информация в понимание причин наблюдаемых закономерностей. На рисунке 2 приведены профили треков износа. Видно (рисунок 2, а), что профиль дорожки трения является крайне изрезанным, что, по всей видимости, связано с развитием процессов схватывания и выкрашивания, со-

провожающимися вырывами материала с поверхности трения. Были определены количественные параметры триботрека. Максимальная глубина ямки износа в исходном состоянии составила 25,9 мкм, после облучения снизилась до 7,2 мкм, что в 3,6 раза меньше исходного. Площадь лунки (в локальном сечении) снизилась в 4,9 раза с 6,17 мм² до 1,27 мм². Снова следует заметить, что при использованных параметрах трибонагружения профиль лунки износа также выглядит весьма неоднородным и неплавным/изрезанным (рисунок 2, б).

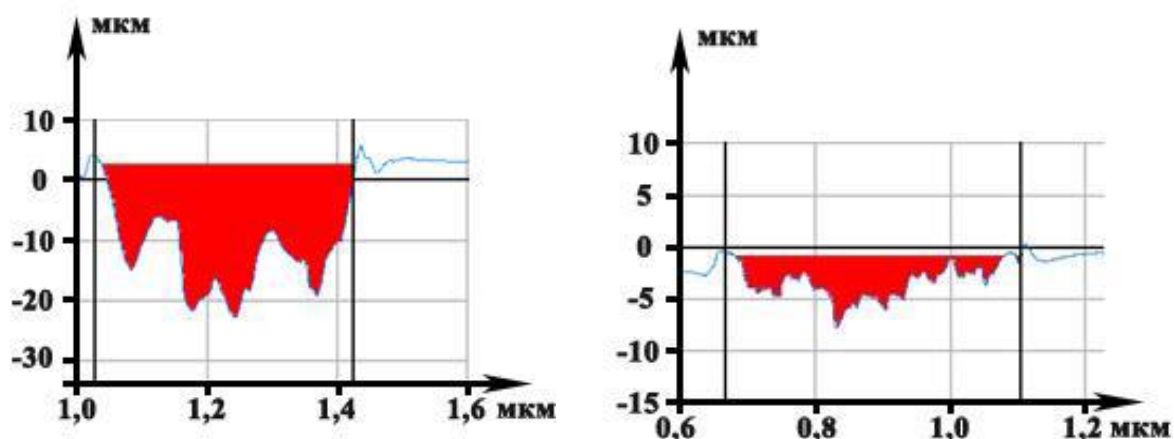


Рисунок 2 – Профили треков износа сплава Al–11Si. а – исходное состояние, б - после облучения импульсным электронным пучком

Подводя итог можно сказать, что при испытаниях исходного материала формируются треки износа, имеющие существенно большие размеры и обладающие большим перепадом глубины трека, одной из причин данного поведения может являться присутствием в исходном материале крупных включений кремния и интерметаллидов, выкрашивающихся при испытаниях. По-видимому, облучение импульсным электронным пучком приводит к измельчению дисперсных включений в поверхностном слое, что существенно снижает выкрашивание и схватывание и, как следствие, уменьшение геометрических параметров треков износа.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда No 24-29-00665, <https://rscf.ru/project/24-29-00665>.

Библиографический список

1. Модификация структуры и свойств эвтектического силумина электронно-ионно-плазменной обработкой / А.П. Ласковнев [и др.]; под ред. А.П. Ласковнева. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 287 с.
2. Шляров, В.В. Увеличение механических характеристик сплава АК5М2, упрочненного методом вакуумно-дугового нанесения металлических покрытий/ В.В. Шляров, А.А. Серебрякова, Д.В. Загуляев, Иванов Ю.Ф., Устинов А.М.// Инженерная физика. – 2023. - №4. - С. 38-47.

II МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 669

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СМЕСЕЙ

**Долгополов А.Е., Фейлер Д.Т., Числавлев В.В.,
Хомутильников В.А., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alexdolgor@yandex.com*

В работе приведены результаты исследований тепловых процессов в сталеразливочном ковше при нахождении в нем металла и выполнена комплексная оценка температурных полей методами компьютерного моделирования. Исследование проводилось при использовании разработанной трехмерной математической модели с применением программного комплекса, основанного на конечно-объемном методе решения уравнений.

Ключевые слова: теплоперенос, ковш, тепловые потери, температурные поля, математическое моделирование

В современной металлургии большое значение придается оптимизации, улучшению энергетической эффективности и уменьшению энергозатрат при производстве стали.

В целях энерго- и ресурсосбережения в современной черной металлургии применяются теплоизолирующие смеси для защиты поверхности металла от тепловых потерь, которые подаются на поверхность металла или шлака в ковше.

Для формирования требований к теплоизолирующим свойствам разрабатываемых смесей было проведено компьютерное моделирование тепловых процессов в сталеразливочном ковше без применения защитных материалов. Разработана трехмерная математическая модель 160-тонного сталеразливочного ковша с применением программного комплекса, основанного на конечно-объемном методе решения уравнений. Результатами моделирования являются поля температур в объеме футеровки ковша, объеме жидкой стали и поверхности контакта металла с атмосферой.

В качестве расчетной области в связи с наличием вертикальной плоскости симметрии принята половина сталеразливочного ковша, занимаемая жидким расплавом. Для построения конечно-элементной модели расчетная область была разделена на 500 000 конечных объемов (расчетных ячеек) тетраэдральной формы.

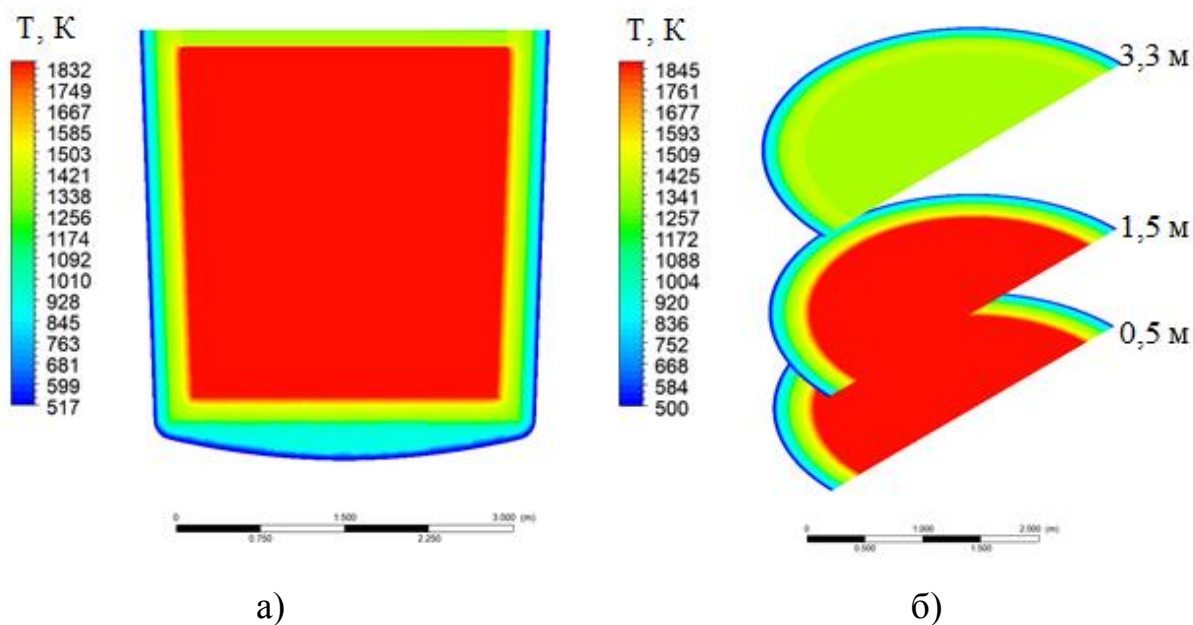
Математическая модель позволяет учесть такие свойства жидкой стали

и шлака, как плотность, вязкость, теплопроводность и теплоемкость, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры расплавов, принятые при моделировании

Параметр	Сталь	Шлак
Начальная температура, К	1873	1873
Плотность, кг/м ³	7030	3000
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	840	$(0,175 + 7 \cdot 10^{-5} t) \cdot 4,18$
Теплопроводность, Вт/(м·К)	27	0,93
Вязкость, кг/(м·с)	0,0064	0,2664

Из рисунка 1 видно, что средние по объему значения температуры стали и шлака составляют 1814 К (-59 К) и 1711 К (-162 К) соответственно, при этом скорости снижения температуры стали составляют 0,98 К/мин, шлака 2,69 К/мин. В пристеночной области температура металла достигает 1808 К, а температура поверхности шлака 1057 К.

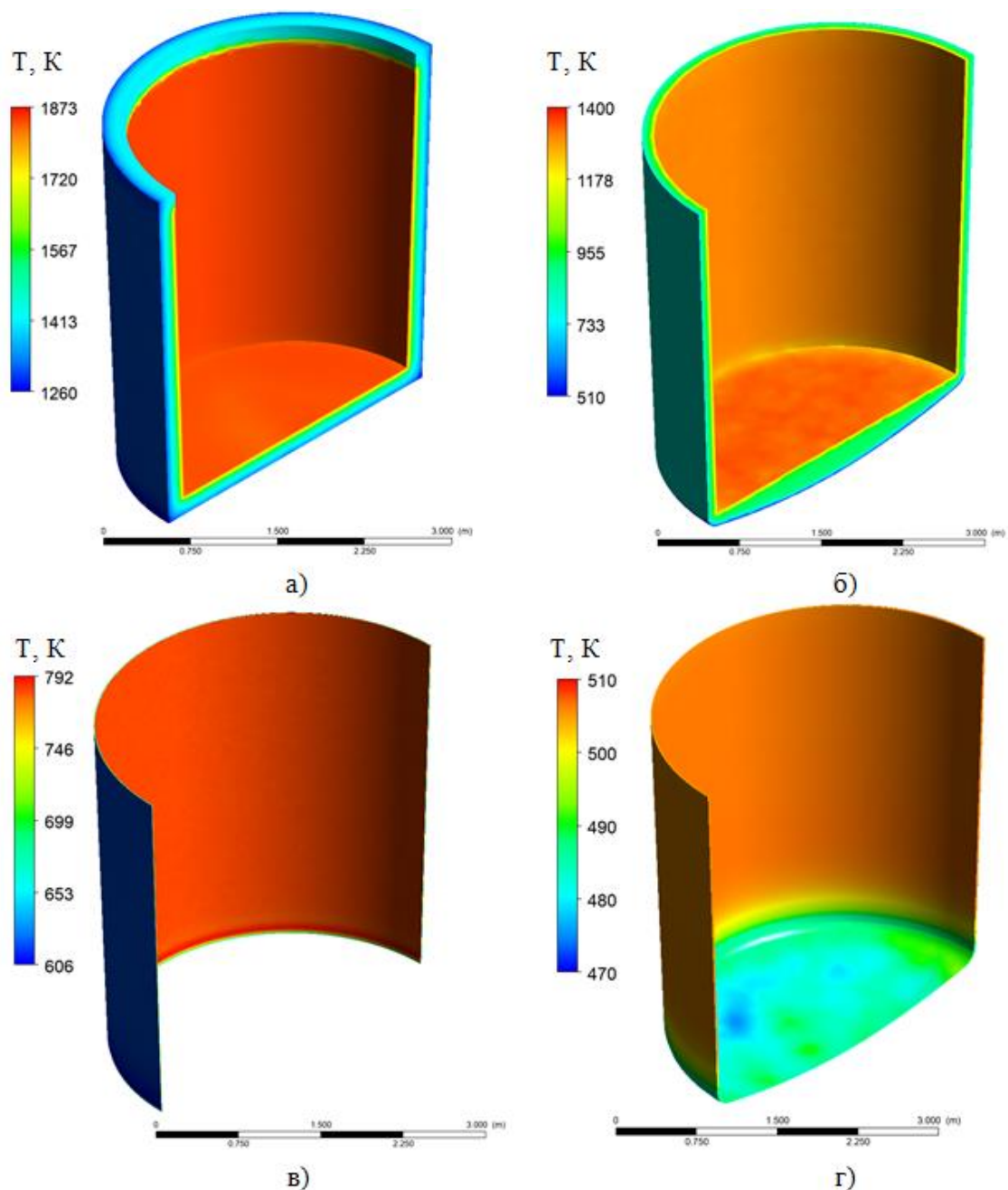


а) – продольное сечение; б) – поперечное сечение

Рисунок 1 – Контурная карта температурных полей параллельно плоскости ХОУ и в отдельных сечения сталеразливочного ковша относительно днища

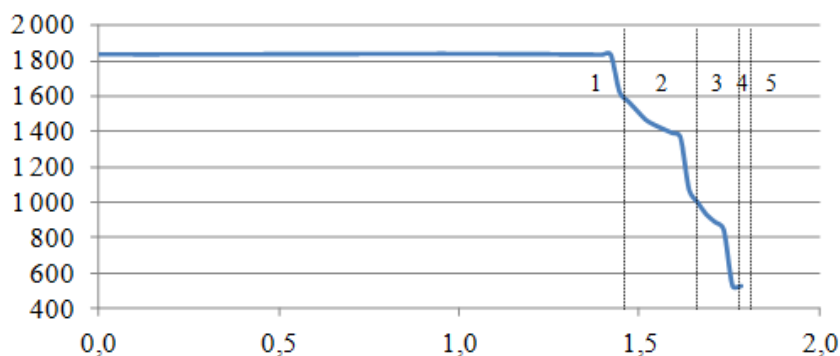
Средняя температура внешней поверхности рабочего слоя футеровки (рисунок 2) и соответственно внутренней поверхности арматурного слоя составляет 1374 К, при этом внешняя поверхность арматурного слоя достигает температуры 786 К. Средняя по объему температура теплоизоляционного слоя футеровки составляет 620 К. На внутренней поверхности, обращенной к арматурному слою достигает 786 К, снижаясь к днищу до 520 К. Средняя по объему температура кожуха ковша составляет 509 К. Максимальная температура (524 К) наблюдается в верхней области кожуха, постепенно снижаясь

к днищу до 471 К.



а – рабочий слой; б – арматурный слой; в – теплоизоляционный слой; г – кожух
Рисунок 2 – Контурная карта температурных полей слоев футеровки
и кожуха сталеразливочного ковша

Температура металла вдоль горизонтальной линии (рисунок 3), проведенной на расстоянии 2 м от днища находится в диапазоне 1833-1838 К. Температура на границе рабочего и арматурного слоев составляет 1374 К, на границе арматурный-теплоизоляционный слой 786 К. Температура внешней поверхности кожуха 520 К.



1 – сталь; 2 – рабочий слой; 3 – арматурный слой;
4 – теплоизоляционный слой; 5 – кожух

Рисунок 3 – Значения температуры вдоль горизонтальной оси (2 м от днища 160-т сталеразливочного ковша)

Исходя из полученных результатов (рисунок 4), на площадь поверхности шлака (12 %) в 160-т сталеразливочном ковше приходится 67 % всех тепловых потерь, поэтому целесообразно для снижения потерь тепла с поверхности металлического расплава через шлак необходимо использовать теплоизолирующие смеси. При использовании теплоизолирующих смесей с расходом 2 кг/т скорость снижения температуры стали уменьшается на $0,13^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (до $0,37^{\circ}\text{C}/\text{мин}$). Установлено, что при использовании теплоизолирующей смеси скорость охлаждения металлического расплава снижается на 30 %.

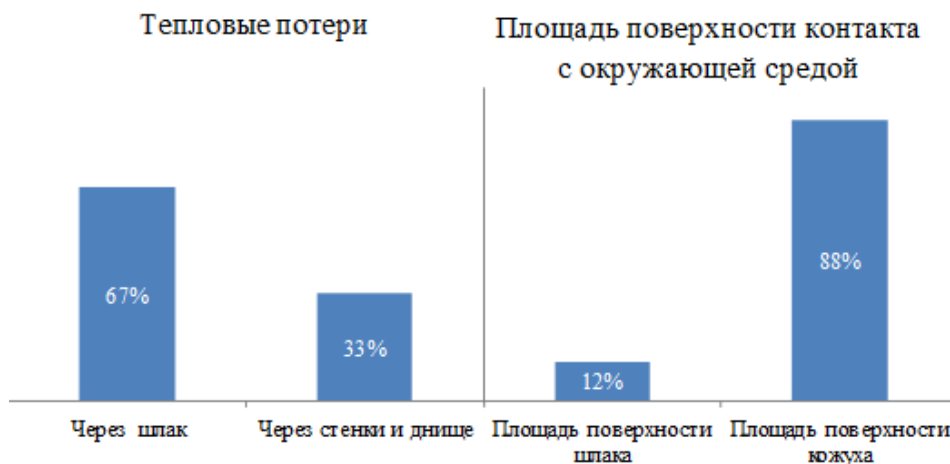


Рисунок 4 – Доля тепловых потерь в сталеразливочном ковше и площадь контакта с окружающей средой

Библиографический список

1. Неунывахина Д.Т. Разработка составов теплоизолирующих смесей для транспортировки жидкого чугуна / Д.Т. Неунывахина, С.В. Фейлер, А.С. Максимцов, Е.П. Чумов, В.В. Числавлев // XV Международный конгресс сталеплавильщиков. Сборник трудов. – 2018. – С. 344-349.

2. Фейлер Д.Т. Современное состояние производства и потребления

теплоизолирующих смесей для черной металлургии / Д.Т. Фейлер, В.А. Хомутильников, С.В. Фейлер // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк, 2023. – С. 73-77.

3. Неунывахина Д.Т. Разработка составов и опытно-промышленное апробирование теплоизолирующих смесей для жидкого чугуна / Д.Т. Неунывахина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. – С. 113-118.

4. Фомин А.А. Практическое применение методов математического моделирования на примере отрасли черной металлургии РФ / А. А. Фомин // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2018. – № 5-2. – С. 156-160.

УДК 351.777.61

ХАРАКТЕРИСТИКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС

Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Фейлер С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lina8082004@gmail.com*

В работе рассмотрены проблемы образования и утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) на ТЭЦ и отсутствие технологических решений переработки ЗШО и их вовлечения в промышленный оборот. Выполнен анализ отечественного и зарубежного опыта применения ЗШО. Рассмотрены характеристики и преимущества золошлаковых отходов для создания вторичного сырья.

Ключевые слова: металлургия, зола, золошлаки, отходы, ТЭЦ, сорбент, сырье.

В энергетической отрасли РФ ежегодно образуется около 30 млн. тонн золошлаковых отходов (ЗШО), большая часть которых складывается в отвалах и занимает значительные площади земли, но лишь небольшой процент золошлаков утилизируется.

В России объем накопленных ЗШО отходов составляет около 1,3 млрд. т, а площадь земельных участков, загрязненных золоотвалами – более 22 тысяч га.

Низкая степень утилизации ЗШО приводит к тому, что золошлаковые отвалы становятся потенциальными объектами загрязнения окружающей среды. Одновременно присутствие в составе ЗШО ценных компонентов создает несомненные предпосылки для их комплексной переработки, и в этом случае хранилища должны быть отнесены к категории техногенных сырьевых запасов отложенного спроса.

Первой проблемой является отсутствие технологии переработки зо-

лошлаковых отходов и их вовлечения в промышленный оборот. Также отходы представляют собой серьёзную угрозу для окружающей среды из-за высокого содержания вредных веществ. Второй проблемой является экономически нецелесообразное использование золошлаков как отходы, так как присутствует возможность их дальнейшего применения как сырья.

На данный момент рынок ЗШО представляет собой невысокий уровень переработки и использования ЗШО – около 15-20 %. Основными направлениями использования ЗШО являются строительство дорог и дамб, производство цемента, бетона, кирпича, щебня. Рынок переработки ЗШО развит слабо, нет крупных специализированных предприятий. Технологии утилизации ЗШО в основном простые – дробление, сепарация металла, фракционирование. Потенциал глубокой переработки ЗШО с извлечением ценных компонентов используется недостаточно.

Золошлаковые отходы – это минеральная несгорающая часть угля, образующаяся в топках ТЭЦ. Представляют собой смесь золы и шлака, угольного остатка в виде камней. Химический состав: 45-60 % – оксид кремния, от 10 до 30 % – оксид алюминия, также есть железо, кальций, магний, триоксид серы и другие элементы. ЗШО образуются в процессе сжигания угля, имеющего большую зольность на тепловых электростанциях.

В зависимости от вида сжигаемого угля, способа сжигания, температуры факела, способа золоудаления, сбора и хранения золы на ТЭЦ образуются следующие виды золошлаковых отходов: зола-уноса при сухом золоудалении с осаждением частиц золы в циклонах и электрофильтрах и накоплением в силосах, топливные шлаки при полном плавлении минеральной части топлива, осаждении расплава в нижней части топки котла и грануляции расплава водой аналогично придоменной грануляции доменных шлаков, золошлаковая смесь при совместном мокром удалении уловленной обеспыливающими устройствами золы уноса и топливных шлаков, образующихся в котле [1].

Золошлаки могут быть использованы для производства сорбентов. Сорбенты – это вещества, которые могут поглощать другие вещества из окружающей среды. Также ЗШО используются для производства гранулированного активированного угля, который используется в качестве сорбента для очистки воды и воздуха от загрязнений. Этот уголь имеет развитую пористую структуру и высокую сорбционную емкость, что позволяет эффективно удалять различные примеси из жидкостей и газов. Золошлаки играют важную роль в производстве сорбентов и способствуют снижению стоимости очистки, являются ценным и доступным сырьем для производства сорбентов, что позволяет снизить стоимость очистки и делает такие материалы более привлекательными для широкого спектра применений [2].

Золошлаки имеют несколько преимуществ в качестве сырья для производства сорбентов: доступность (золошлаки образуются в больших количествах при сжигании угля на тепловых электростанциях, поэтому они являются относительно дешевым и доступным сырьем), экологичность (использование золошлаков для производства сорбентов помогает снизить выбросы

зола и пыли в атмосферу, что способствует улучшению экологической ситуации), эффективность (активированный уголь на основе золошлаков обладает высокой адсорбционной способностью и может эффективно очищать воду и воздух от различных загрязнений), рециклинг.

Характеристиками золошлаков, позволяющими рассматривать их в качестве сырья для производства нового вида продукции – сорбента, являются: высокая адсорбционная способность (позволяет эффективно извлекать загрязняющие вещества из жидкостей и газов), развитая пористая структура (обеспечивает большую площадь поверхности для адсорбции), химическая стабильность (позволяет использовать сорбент в широком диапазоне условий), легкость регенерации (после насыщения сорбента загрязнениями его можно регенерировать и использовать повторно).

Использование золошлаков имеет широкие перспективы и открывает новые возможности для переработки отходов ТЭЦ и производства инновационной продукции. На протяжении последних двадцати лет прогрессивно расширяется зарубежный опыт использования ЗШО в производственных процессах. Известно большое количество высотных зданий были построены из бетона, в состав которого входили золошлаковые компоненты [3]. Анализ по странам с наибольшим объемом использования ЗШО и продукции на основе ЗШО был произведен на основе сопоставления объемов их образования и вовлечения в хозяйственный оборот:

- В Китае наибольшая доля перерабатываемых ЗШО (около 90 %) приходится на строительную отрасль. Темпы роста образования ЗШО не повлияли на способность китайских электростанций удерживать процент утилизации на уровне 70 %;

- На втором месте в мире по образованию ЗШО находится Индия, где за последние 6 лет объем формируемых золошлаков вырос почти вдвое. В 2018 году в этой стране было утилизировано 67 % образованных ЗШО. С 2006 года перерабатывается более 50 %;

- Более 100 млн. т ежегодно образуется на электростанциях в США, однако объемы угольной генерации в стране постепенно снижаются;

- Япония сумела достигнуть 100 % уровня переработки ЗШО. Более 85 % вовлекаемых в хозяйственный оборот золошлаков приходится на строительную отрасль.

Отечественный опыт применения золошлаковых отходов довольно обширен, направлен на большое количество отраслей, к примеру строительная, природоохранная, сельскохозяйственная и другие. Потенциал рынка золошлаковых материалов в год в России составляет 35 млн тонн, который приходится на: 17 млн. т цемента, 5 млн. т рынок рекультивации, 10 млн. т рынок дорожного строительства, 3 млн. т рынок раскисления почв.

Для производства вторичного сырья из золошлаков необходимо учитывать следующие факторы: технологию переработки ЗШО и качество угольного топлива, из которого формируются золошлаки. Строительная от-

расль подразделяется на три направления: строительство жилых и нежилых строений, возведение дорожных сооружений. Распространенным примером использования ЗШО является их применение вместо традиционных песчано-гравийных смесей и в качестве вяжущего компонента бетонной смеси. Во всем мире золошлаки электростанций используются при строительстве эстакад, мостов и путепроводов, а также при производстве железнодорожных шпал. Отечественными перспективами для их системного вовлечения в железнодорожное строительство являются сооружение насыпей для путей и производства железобетонных шпал. Адсорбционные и изоляционные свойства золошлаковых материалов позволяют использовать их при реализации различных природоохранных мероприятий. На данный момент проводятся исследования об использовании золошлаков в качестве фильтрующего материала при создании сорбента для очистки сточных вод. В рамках развития продовольственной безопасности в России широко развивается потенциал вовлечения золошлаков в сельское хозяйство. Наиболее простой технологией является их использование в качестве материала для стабилизации почвы. На основе ЗШО также можно получать неорганические цеолиты. Они представляют собой кристаллические алюмосиликаты на основе щелочей и считаются "умными" удобрениями благодаря своей ионообменной способности и высокой пористости. Согласно обновленной стратегии развития черной и цветной металлургии на период до 2030 года золошлаки можно считать «вторичными рудами» для получения металлов. Согласно исследованиям Объединенного института высоких температур, за счет извлечения металлов из золошлаков могут быть произведены следующие элементы: железный концентрат, глинозем, магний, редкие металлы (скандий, галлий, титан и др.) [3]. Большой потенциал имеет направление изъятия глинозема из продуктов сжигания твердого топлива теплоэлектростанций.

Влияние золошлаковых отходов на окружающую среду может быть, как положительным, так и отрицательным. С одной стороны, они могут использоваться в качестве строительного материала для создания насыпей, дамб и сооружений. Также их можно использовать для производства цемента, бетона и других строительных материалов. С другой стороны, ЗШО могут представлять опасность для окружающей среды, если они не утилизируются должным образом. Они могут содержать вредные вещества, такие как тяжелые металлы и диоксины, которые могут загрязнять почву, воду и воздух. Кроме того, большие объемы ЗШО могут привести к нарушению экосистем и снижению биоразнообразия. Для предотвращения негативного воздействия ЗШО на окружающую среду необходимо соблюдать правила их утилизации и переработки. Например, можно использовать их для создания искусственных водоемов или парков, где они будут служить в качестве декоративного элемента. Также можно использовать их для производства удобрений или топлива для электростанций.

В настоящее время острота проблемы утилизации золошлаковых материалов, образующихся при сжигании углей на тепловых электростанциях,

возрастает. Несмотря на множество возможных применений, утилизация золошлаковых отходов остается сложной задачей. Накопление этих материалов в постоянно увеличивающихся объемах приводит к быстрому росту экологических, социальных и экономических издержек из-за низкого уровня утилизации. Однако ЗШО тепловых электростанций являются многотоннажным и постоянно растущим источником твердых отходов. Их характеристики, такие как высокое содержание силикатов, алюмосиликатов и железа, делают их привлекательными для использования в различных отраслях промышленности. Для эффективного использования ЗШО необходимо разрабатывать и внедрять инновационные технологии и методы обработки, которые позволят снизить их влажность и повысить плотность, а также обеспечат экологическую безопасность при их применении.

Библиографический список

1. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №4. – С. 52.

2. Виды сорбентов и в каких случаях они используются – Текст: непосредственный // TZ Group.- 01.08.2018. – URL: <https://tze1.ru/articles/detail/vidy-sorbentov-i-v-kakikh-sluchayakh-oni-ispolzuyutsya/> (дата обращения: 10.03.2024).

3. Сниккарс П., Золотова И., Осокин Н. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача / Текст: непосредственный // Энергетическая политика. Общественно-деловой научный журнал - 21.07.2020. – URL: <https://energypolicy.ru/utilizacziya-zoloshlakov-tes-kak-novaya-k/energetika/2020/13/21/> (дата обращения: 10.03.2024).

УДК 669.184

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА

Хомутильников В.А, Фейлер Д.Т., Фейлер С.В.

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

В последние годы в кислородно-конвертерном переделе большое внимание уделяется сокращению длительности цикла плавки. Осуществление этого мероприятия возможно, как за счет сокращения времени подготовительных операций процесса, так и за счет продувочного периода операции конвертирования.

Сокращение времени подготовительных операций возможно за счет четкой организации производства. Уменьшение времени продувочного периода плавки влечет за собой решение ряда технических и технологических задач.

Ключевые слова: Выплавка стали, кислородный конвертер, кислородная фурма, цикл плавки, сталь.

Введение. Нет сомнений, что в большегрузных конвертерах, используя многосопловые фурмы и современную технологию продувки, возможно сократить время конвертирования до 12-15 мин. Снижение времени продувки до указанных пределов, однако, не привело в целом к резкому сокращению цикла операции из-за больших потерь времени на подготовительных операциях, а только создало ряд трудностей (возможное уменьшение выхода жидкой стали; низкая стойкость многосопловых фурм, не полное проплавление крупно-габаритного лома и усвоение извести).

Целью настоящей работы являлось уточнение и оптимизация некоторых параметров дутьевого, температурного и шлакового режимов плавки с продувкой металла кислородом через четырех и шестисопловые фурмы.

Также в связи с дефицитностью марганецсодержащих материалов, применяемых для раскисления стали, ставилась задача выявить путем статистической обработки паспортов плавки влияние некоторых технологических факторов на угар марганца и наметить возможное направление путей снижения потерь последнего в процессе раскисления.

Одним из решающих факторов, влияющих на ход рафинирования и шлакообразования, является конструкция дутьевых устройств, на которую в свою очередь оказывает большое влияние интенсивность продувки. Разработка удачной конструкции многосопловой фурмы является решающим показателем операции конвертирования стали (выход жидкой стали, стойкость фурмы и футеровки, скорость шлакообразования и растворение лома и т.п.).

Увеличение угла наклона сопел к вертикальной оси приводит к улучшению процессов шлакообразования, что в свою очередь уменьшает брызгоунос, вследствие фильтрующего действия шлака, приводит к некоторому увеличению выхода годного. Приближение реакционной зоны к футеровке значительно снижает её стойкость. С другой стороны, конструкция фурмы должна исключать возможность слияния струй, выходящих из различных сопел, так как это приближает её по работе к односопловой фурме.

В настоящее время продолжительность цикла в большегрузном конвертере практически такая же, как и в малотоннажном, при условии обеспечения одинаковой удельной интенсивности продувки ванной кислородом.

Анализ имеющегося опыта работы большегрузных конвертеров свидетельствует, в первую очередь, о некоторых затруднениях в обеспечении нормального шлакового режима плавки, особенно при интенсивности продувки 4-5 м³/т·мин. Указывается, что при такой интенсивности продувки с целью ускорения процесса формирования высокоосновного шлака следует применять исключительно мягко обожженную известь с низким содержанием серы.

Методика исследования. Исследования дутьевого и шлакового режимов проводили на контролируемых плавках текущего производства

АО «ЕВРАЗ ЗСМК», проведенных на конвертерах №4 и №5. На этих плавках продувку осуществляли через 4-х и 6-ти сопловую фурму.

С целью изучения характера изменения состава металла и шлака, температурного и дутьевого режимов была проведена одна плавка с четырьмя промежуточными повалками на 4, 8, 11 и 13 минутах.

Анализ проб металла и шлака, отобранных при проведении опытных плавок, выполнялся на АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Расход чугуна на рассматриваемой плавке составил 284 тонны, лома 60 тонн, извести 20 тонн, флюса 3 тонны. Мгновенный расход кислорода колебался в пределах 800-1100 м³/мин. (рисунок 1), при чистом времени продувки 16 мин. 53 сек. Общий расход кислорода составил за плавку 16980 м³.

Содержание СО и СО₂ в отходящих газах колебалось в широких пределах (рисунок 2).

Процессы окисления примесей и шлакообразования, температурный режим плавки контролировали с помощью отбора проб металла, шлака и замеров температуры ванны при повалках конвертера. При проведении плавки контролировался внешний характер продувки (выбросы, выносы).

По результатам анализа отобранных проб были построены диаграммы изменения состава металла и шлака, положения фурмы над уровнем ванны и интенсивности подачи кислорода. Давление кислорода перед фурмой составляло по ходу продувки 15,5-16,5 атм.

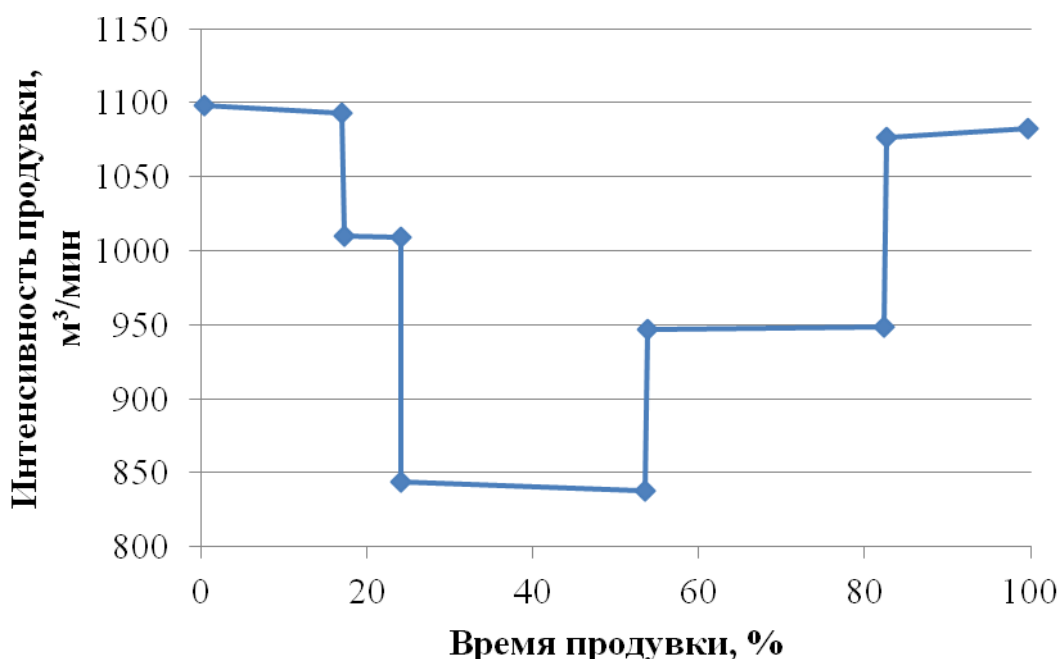


Рисунок 1 – Изменение интенсивности продувки по ходу процесса

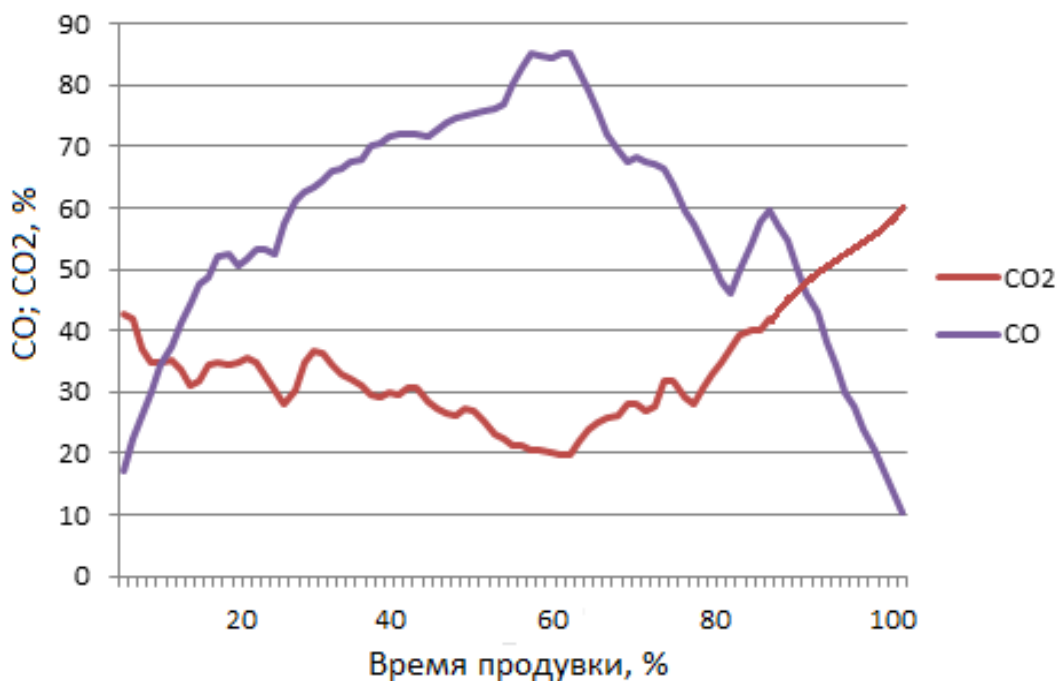


Рисунок 2 – Состав отходящих газов по ходу продувки

Как видно из рисунка 3 с самого начала продувки интенсивно окислялся кремний. К моменту первой повалки (24 % от общего времени продувки) кремний окислился до следов. В этот же период достаточно энергично окислялся марганец. Однако, начиная примерно с 25 % времени продувки, скорость окисления марганца резко снижалась, а с 48 по 67 % наблюдалась некоторая тенденция к восстановлению марганца из шлака в металл в связи с понижением окисленности и увеличением основности шлака при повышенной температуре. К концу операции марганец вновь окислялся.

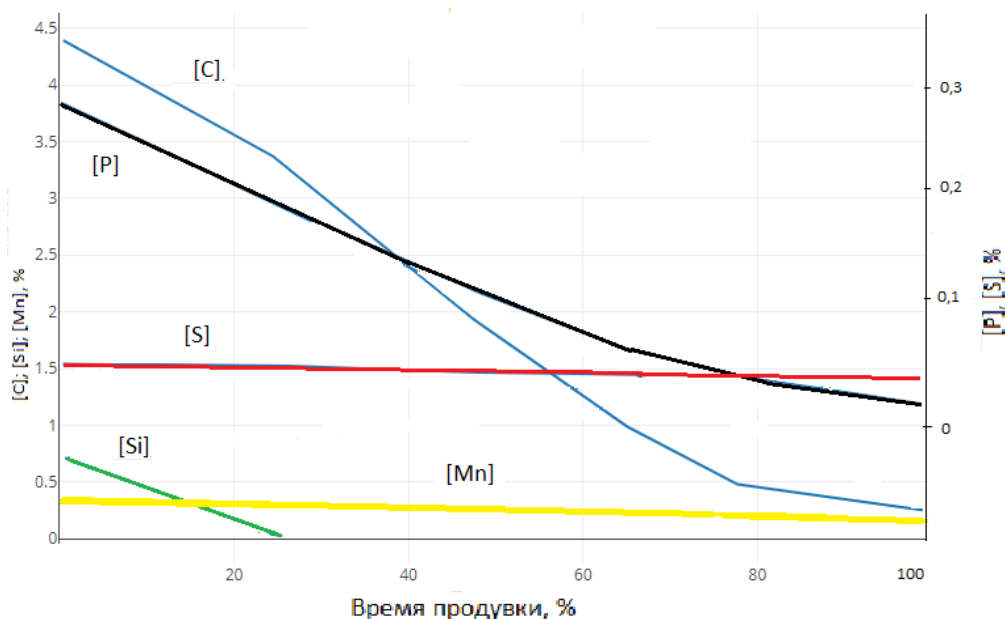


Рисунок 3 – Изменение химического состава металла по ходу продувки

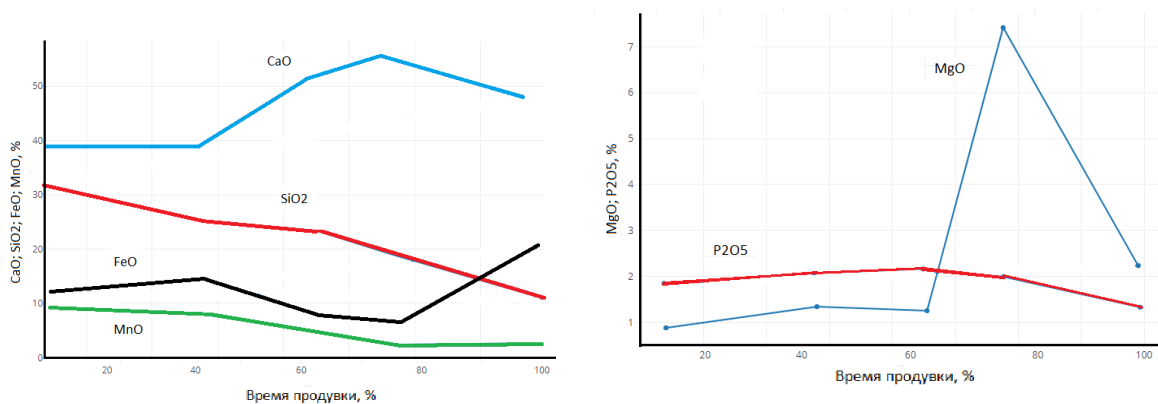
Окисление углерода начиналось с первых же минут продувки, о чем свидетельствуют изменения состава металла и заметные количества окиси и двуокиси углерода в составе отходящих газов.

К началу энергичного окисления углерода в металле оставалось 0,18 % марганца. В момент относительно постоянного расхода кислорода скорость окисления углерода колебалась также в узких пределах. Начиная примерно с 25 % времени продувки скорость окисления углерода была высокой и практически постоянной 0,22-0,31 % углерода в минуту.

В первые две трети периода продувки процесс удаления серы происходил сравнительно медленно и лишь к концу продувки скорость десульфурации значительно возросла. Это объясняется тем, что примерно до 60 % продолжительности продувки, пока основность шлака не превышала 2, процесс десульфурации определялся только увеличением количества шлака.

Наиболее интенсивное окисление фосфора наблюдалось в первой половине продувки, а наиболее медленное в конце операции. Так в первые 4 минуты продувки скорость окисления фосфора составляла 0,022 % P/мин. С пятой по восьмую минуты – 0,020 % P/мин. С десятой по одиннадцатую минуту – 0,012 % P/мин. и последние шесть минут продувки скорость окисления фосфора составляла лишь 0,007 % P/мин.

Процесс окисления примесей и технология продувки (дутьевой режим и режим присадок) определили процесс шлакообразования (рисунок 4 а, б).



а

б

Рисунок 4 – Изменение содержания оксидов в шлаке по ходу продувки

Прежде всего, обращает на себя внимание замедленное протекание этого процесса. В начале продувки кремнезем и закись марганца, образующиеся в результате окисления кремния и марганца металлошихты, активно участвовали в формировании шлака. Содержание окислов кремния и марганца на первой повалке достигло соответственно 31,5% и 9,5%, а затем постепенно уменьшалось с различными скоростями, зависевшими от режима присадок и скорости процесса растворения извести в шлаке. Сравнительно медленное увеличение содержания окиси кальция в шлаке в первой половине продувки сопровождалось и относительно медленным ростом основно-

сти шлака (несмотря на уменьшение концентрации кремнезема в шлаке в результате увеличения общего количества шлака). Так, к середине продувки основность шлака еще не достигла 2,0. Это указывает на относительно медленное растворение извести в шлаке.

Для составления материального баланса представляет интерес изменение температуры металла.

Температура заливаемого чугуна составляла 1240 °С. Большой расход тепла в первые минуты плавки на нагрев и растворение скрапа и извести, поданной непосредственно на него, привело к значительному охлаждению ванны. Однако окисление примесей и железа чугуна позволили в значительной степени компенсировать эти затраты тепла и обеспечить повышение температуры ванны. И все-таки, к последней трети операции продувки температура металла была лишь 1440 °С (рисунок 5).

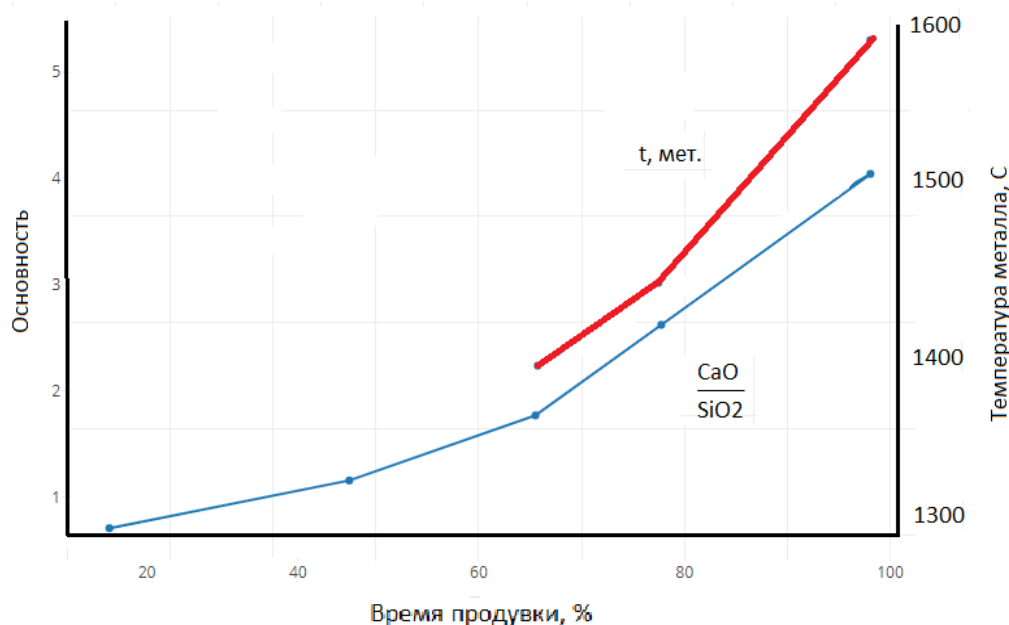


Рисунок 5 – Изменение основности шлака и температуры металла по ходу продувки

В последней четверти продувки температура возросла на 120 °С и достигла к моменту окончания продувки 1580 °С. Причем, судя по изменению состава шлака и металла, усвоение извести завершилось лишь к концу продувки. Это позволяет предположить, что первостепенное значение для подъема температуры ванны имеет реакция обезуглероживания. Однако, значительный рост температуры ванны после повалки на 13 минуте подтверждает также, что весомый вклад в нагрев ванны вносит и горение железа.

Выводы. В соответствии с программой исследования детально изучена существующая в ККЦ №2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» технология выплавки стали в 350-тонных конвертерах при ступенчатом режиме продувки через 4-х сопловую фурму с интенсивностью подачи кислорода 1000-1200 м³/мин.

Для обеспечения достаточной степени дефосфорации и десульфурации

ции, наведения активного шлака высокой основности при переработке чугунов необходима свежееобожженная известь с содержанием СаО более 82%.

Быстрая наводка высокоосновного активного шлака путем соответствующего изменения дутьевого режима (положение фурмы и интенсивности подачи кислорода) и применение шестисопловых фурм позволяет сохранить большее количество марганца в металле и провести достаточно полную и эффективную дефосфорацию.

С целью ознакомления с особенностями изменения состава металла и шлака, поведения элементов, изменения температуры ванны и некоторых других физико-химических параметров при интенсивности продувки 1000-1200 м³/мин. была проведена плавка с промежуточными повалками на 4, 8, 11, и 13 минутах, в процессе которых были произведены необходимые замеры и отобраны пробы металла и шлака для последующего анализа.

Плавка с повалками показала, что в первые четыре минуты продувки завершилось горение кремния и марганца. Однако, если кремний окислился окончательно и до следов, то с 8 по 11 минуту продувки, в связи с повышением основности шлака, температуры ванны и понижением окисленности шлака проявилась тенденция к восстановлению марганца. В последней четверти продувки марганец вновь окислялся.

Окисление углерода началось с первых минут продувки и происходило в соответствии с количеством подаваемого кислорода.

Содержание оксида кальция в шлаке уже на первой повалке достигло 39 %. Однако основность шлака в этот момент была относительно низкой и лишь к 11 минуте достигла 2,0. Достаточно энергичное удаление фосфора в первой половине периода продувки обеспечила высокая окисленность шлака. Вследствие недостаточно высокой основности шлака процесс десульфурации шел замедленно и лишь к концу продувки содержание серы начало снижаться.

Шестисопловые фурмы позволяют ускорить процесс шлакообразования, сократить общую продолжительность продувки и в целом цикл плавки на 5-6 минут, сократить расход шлакообразующих материалов и, прежде всего, разжижителей шлака, улучшить протекание процесса дефосфорации.

Библиографический список

1. Явойский В.И., Явойский А.В., Сизов А.М. Применение пульсирующего дутья в сталеплавильном производстве. – М.: Metallurgy, 1985.
2. Горохов В.Д. и др. Повышение экономичности рабочего процесса в современных и перспективных кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателях // Изобретательство. – 2006. – Т. VI. – № 12. – С.19-23.
3. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2006. – 454 с.
4. Бигеев А.М. Metallurgy стали. Теория и технология плавки стали:

учебник для вузов / А.М. Бигеев, В.А. Бигеев. – 3-е изд., перераб. и доп. Магнитогорск: МГТУ, 2000. – 544 с.

5. Обухова Т.Г. Обзор методов математического моделирования процессов в кислородном конвертере при решении задач управления / Т.Г. Обухова, М.Ю. Рябчиков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2013. – Т. 2. – № 71. – С. 146-148.

УДК 712.4

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ И ФИТОСТЕНЫ В ИНТЕРЬЕРЕ

Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Шевченко Р.А., Фейлер С.В.

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

Вертикальное озеленение является инновацией в ландшафтном дизайне и экологическом подходе. В работе рассмотрены различные аспекты вертикального озеленения, включая войлочную, модульную, контейнерную и другие виды конструкций. Рассматриваются преимущества этого метода, которыми являются снижение шума, улучшение воздуха, охлаждение воздуха. успешного применения в университетах для улучшения экологической обстановки, эстетической привлекательности и комфорта студентов и преподавателей.

Ключевые слова: вертикальное озеленение, фитостена, дизайн, экологическая обстановка, конструкция, система, растения.

Вертикальное озеленение является одним из наиболее перспективных и быстро развивающихся направлений в ландшафтном дизайне. Этот метод озеленения позволяет не только улучшить эстетический вид территории, но и создать комфортные условия для жизни и отдыха людей.

Целесообразность рассматриваемого направления заключается в ряде преимуществ, которые этот метод предоставляет по сравнению с традиционными способами озеленения. Во-первых, вертикальное озеленение позволяет экономить пространство, что особенно актуально для городских условий. Во-вторых, оно способствует улучшению микроклимата, снижению уровня шума и загрязненности воздуха. В-третьих, вертикальное озеленение придает зданиям и сооружениям эстетичный и современный вид. Кроме того, использование живых растений в вертикальном озеленении способствует повышению качества воздуха и улучшению экологической обстановки в целом.

В связи с урбанизацией в городах становится всё больше людей, уплотняется застройка. Остается все меньше пространства для новых парков и зеленых зон. Таковую проблему помогает решить вертикальное озеленение, которое занимает минимум пространства. Помимо улучшения экологической обстановки оно способствует экологическому воспитанию как у моло-

дежи, так и у взрослого населения.

Вертикальное озеленение – это приём ландшафтного дизайна, который используют для обустройства вертикальных поверхностей с помощью различных растений (могут быть как живыми, так и искусственными, а также часто встречается вариант из стабилизированных растений, в частности мха). Оно помогает украсить невзрачные стены, создать живописную ограду и улучшить микроклимат на участке. Вертикальное озеленение, имеющие второе название «фитостена», на данный момент является трендовым и вошло в моду довольно недавно. Выбор композиции, места и растений зависит от условий, стиля интерьера и цели создания живой стены [1].

Разновидностей конструкций для создания вертикального озеленения внутри помещений большое количество. Самыми распространенными являются:

– Контейнерная система с ампельными растениями. Устанавливаются несколько контейнеров по площади вертикальной рамы. Засаживаются вьющими растениями, листья которых скрывают горшки. Полив и уход как для обычных комнатных растений. Для этой системы могут подойти следующие растения: Эпипремнум, Маранта, Фиттония, Петуния, Плющ, Крестовник Роули и другие.

– Войлочная или карманная система. По вертикальной раме устанавливается полотно из синтетического войлока, которое по всей площади имеет много небольших карманов (в которые и помещаются растения). Чем больше и ближе карманы, тем проще перекрыть поверхность зеленью. Водоснабжение довольно непростое, к каждому карману необходимо провести трубки для полива, а снизу расположить поддон куда будет стекать лишняя вода. Как правило, внизу располагают раскидистые растения, в середине вьющиеся, а сверху ампельные. Для системы подойдут как цветы с широкой кустистостью (чтобы стена смотрелась единым массивом и ее конструкционные элементы были закрыты), так и с некрупными листьями (чтобы они не перекрывали соседние растения), также используют растения ампельного, вьющегося и лианного типа.

– Модульная система. Такие стены устанавливают организации, занимающиеся профессиональным устройством вертикального озеленения, так как такой способ довольно трудоемкий, сложный в установке и дорогостоящий. Для подобных систем создается специальный каркас для крепления растений, автополив, механизм аэрации корневой системы и освещения. Наполнением ячеистых емкостей, в которые высаживаются растения, является субстрат, обеспечивающий жизнедеятельность растений. Модульная система очень хорошо подвержена декоративным преобразованиям. Модули можно легко менять местами, заполнять другими растениями или вообще убирать с фасада. Для системы подойдут такие растения как: Хлорофитум, Традесканция, Папоротник Нефролепис, Спатифиллум, Циссус, Эпипремнум и многие другие [2].

– Фитокартины или фитопанно. Композиции из живых или искусственных растений, расположенные на плотной основе (картоне, холсте, дереве) и обрамлённые багетом. Растения выращиваются на основе гидропоники, то есть без использования почвы, а на основе подачи к корням питательных веществ и воды.

– Подставки и обрешетки. Многоярусные вертикальные настенные опоры в виде решетки или стеллажа с полками и держателями для кашпо. Подходят любые растения.

– Фитостена из стабилизированного мха. Создается каркас из любого материала (фанера, гипсокартон и т.д.) с отталкивающей от влаги и воды поверхностью. На основу наносит клей, на который прикрепляется сверху вниз очищенный кусковой мох. После фитомодуль оставляют на сутки в покое, чтобы клей подсох и конструкция стабилизировалась. Уход за живой стеной очень прост – полив мха из пульверизатора с водой комнатной температуры раз в 3-5 недель и удаление сухих и поврежденных участков. Для данной стены применяют стабилизированный мох, например, Ягель, Кочковой и Пластовой.

Это лишь некоторые из методов вертикального озеленения, которые можно использовать для создания зеленых насаждений на вертикальных поверхностях. Все эти разновидности имеют ряд своих преимуществ, недостатков и характеристик, и могут быть выбраны в зависимости от конкретных условий и предпочтений владельцев [3].

Фитостены увеличивают уровень кислорода в помещениях и естественным образом снижают концентрацию химических соединений в воздухе. Процесс очищения включает в себя участие микроорганизмов, проживающих в корнях и почве растений. Кроме того, они регулируют уровень влажности в помещении и на открытом воздухе в течение всего года. Растения выделяют необходимый водяной пар в окружающую среду, поддерживая здоровый уровень влажности воздуха.

Озеленение также способствует снижению уровня шума в зданиях и на улице. Листья растений преломляет, отражает и поглощает звуковую энергию, что делает зеленые стены идеальным решением для борьбы с экосигналами. Кроме того, зеленые стены могут успешно применяться для снижения шумового загрязнения, вызванного, например, городским движением.

Преимущества фитостен также включают экономию места, эстетичный внешний вид и способность очищать воздух, обогащая его кислородом. Зеленые стены способны снижать проникновение внешних звуков в помещение, а также создавать приятную прохладу в периоды жары. Особенно важно, что влажность воздуха может увеличиваться на 30% в зоне, находящейся на расстоянии 500 м от зеленого массива.

Зеленые насаждения оказывают большое влияние и на улучшение радиационного режима в городе [4].

Разнообразные конструкции и виды озеленения открывают широкие

возможности для оформления пространства. Современные фитоконструкции оснащены автополивом, что облегчает уход за растениями. И хотя есть некоторые недостатки, такие как возможное появление грибка или плесени на стенах, последующая необходимость в обрезке растений и стоимость оборудования, все же существуют доступные альтернативы для создания зеленых стен.

Подбирать местоположение для фитостен стоит тщательно, учитывая уровень освещения, влажности и циркуляцию воздуха. Оптимальным вариантом считается расположение стен напротив юго-западных и юго-восточных окон, где почти весь день бывает солнечно. На севере или северо-западе влага от растений будет испаряться медленнее, что может привести к появлению плесени и грибка на стенах.

Разделение напрямую зависит от типа конструкции фитостены. В первом случае конструкции называются модульными и состоят из каркаса с закрепленными на нем грунтовыми модулями, где размещаются растения. Во втором случае тип конструкции называется войлочным и включает в себя либо маты из пористого материала эковейб, в которых создаются отверстия для корней растений, либо слои войлока, в которых формируются карманы для растений. Примером такой конструкции являются стены Патрика Бланка.

Существуют основные технологии вертикального озеленения при создании фитостен: модульная система и войлочная (на основе гидропонике). Модульная система конструкции предполагает технологию выращивания растений методом «на грунте», с использованием нескольких подходов:

- на сыпучих средах, где корни растения размещаются в почвенном субстрате на несущей конструкции;
- на грунте, с использованием грунтовых модулей с растениями;
- на drobных средах, где используется специальный грунт с гранулами нужного размера.

Вертикальное озеленение является ярким примером тренда в использовании растений в интерьере, идеально вписываясь в концепцию устойчивого и экологичного дизайна. Фитостены создают вертикальную зелень, используя живые, искусственные или стабилизированные растения. Они могут быть различных видов: плетущиеся растения на опорах, стеллажи с цветочными горшками, профессиональные фитостены, пластиковые фитомодули и стены из мха. Уход за такими стенами может быть сложным, но они добавляют декоративности, экологичности и экономят пространство.

Библиографический список

1. Брагина В. И. Вертикальное озеленение зданий и сооружений [Текст] / [В. И. Брагина, З. П. Белова, В. М. Сидоренко]. – Киев : Будивельник, 1980. – 127 с.
2. Голованова Я., Рогова А. Вертикальное озеленение в квартире: способы, конструкции, нюансы/ Текст: непосредственный // dg-home.ru. Блог о дизайне-30.07.2021. – URL: https://dg-home.ru/blog/vertikalnoe-ozelenenie-v-kvartire_b591597 / (дата обращения: 20.04.2024).

3. Вертикальное озеленение: зеленые стены для уюта и экологии // Научные Статьи.Ру – портал для студентов и аспирантов. – Дата последнего обновления статьи: 13.09.2023. – URL <https://nauchniestati.ru/spravka/vertikalnoe-ozelenenie/> (дата обращения: 21.04.2024).

4. Корягина Н.В. Благоустройство и озеленение населенных мест: учебное пособие для вузов / Н.В. Корягина, А.Н. Поршакова. – 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 224 с.

УДК 669

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДОЛИ ЖИДКОГО ЧУГУНА В МЕТАЛЛОШИХТЕ ДО 100 %

Руди А.В., Фейлер С.В.

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

В работе рассмотрен кислородно-конвертерный процесс выплавки стали при повышенной доле жидкого чугуна. Проведен анализ особенностей выплавки стали в кислородном конвертере. Выполнена оценка преимуществ использования кислородного процесса для переработки чугуна в сталь.

Ключевые слова: сталь, кислородно-конвертерный процесс, металлическая шихта, жидкий чугун, примеси.

Сталь была и остается важнейшим материалом промышленности. Так, по данным Всемирной ассоциации стали (WSA) выплавка стали в России в 2023 году достигла уровня 75,8 млн. т., что на 5,6 % больше, чем в 2022 году. Тема выплавки стали в кислородном конвертере с применением до 100 % жидкого чугуна представляет собой важное направление исследований в области металлургии. Современные технологии производства стали требуют постоянного совершенствования и оптимизации процессов, что делает данную тему крайне актуальной.

Целью исследования является анализ особенностей выплавки стали в кислородном конвертере с применением до 100 % жидкого чугуна в металловалке.

Оценка преимуществ использования кислородного процесса для переработки чугуна в сталь позволит выявить экономическую эффективность данного метода, а также определить особенности окисления примесей чугуна под действием кислорода.

Кислородно-конвертерный процесс является доминирующим сталеплавильным процессом в мировом производстве качественных сталей в настоящее время. Его существенная модернизация объясняется, прежде всего, его весомыми технико-экономическими преимуществами в сравнении с другими сталеплавильными процессами.

Классический кислородно-конвертерный процесс представляет собой выплавку стали из жидкого чугуна с добавкой лома в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму.

Сущность классического кислородно-конвертерного процесса получения стали заключается в следующем: в агрегате (конвертере) проводят окислительное рафинирование металла, используя в качестве основного реагента газообразные окислители, и нагрев металла без подвода тепла из внешних источников за счет физического тепла жидкого чугуна и тепла экзотермических реакций, раскисление и легирование металла осуществляется в ковше. Известны три основных способа продувки металла кислородом в современных конвертерах: продувка сверху, снизу и комбинированная.

Так, одним из важнейших преимуществ кислородно-конвертерного процесса является его высокая эффективность. Благодаря использованию кислорода вместо воздуха для окисления примесей в чугуне, процесс происходит значительно быстрее, что позволяет сократить время плавки и повысить производительность. Быстрое протекание реакции кислорода с примесями также способствует улучшению качества стали за счет более полного удаления нежелательных элементов из металла.

Другим важным преимуществом кислородного процесса является возможность контроля химического состава стали на различных этапах плавки. Благодаря точному дозированию кислорода и других добавок, операторы могут легко регулировать содержание углерода, кремния, марганца и других элементов в стали, что позволяет получать продукцию с заданными характеристиками и улучшить ее качество.

Еще одним преимуществом кислородно-конвертерного процесса является его экономическая эффективность. За счет сокращения времени плавки, увеличения производительности и возможности использования более дешевого чугуна вместо чистого железа, процесс становится более выгодным с точки зрения затрат на производство стали. Кроме того, использование кислорода позволяет снизить расход энергии на процесс плавки, что также влияет на снижение общих затрат.

И стоит заметить, что не менее важным фактором применения кислородного процесса является его более низкий уровень загрязнения окружающей среды. По сравнению с традиционными методами выплавки стали, когда для окисления примесей используется воздух, использование кислорода позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, что способствует улучшению экологической безопасности производства.

Таким образом, кислородный процесс в переработке чугуна в сталь представляет собой эффективный и инновационный метод, который обладает рядом преимуществ, таких как высокая производительность, контроль химического состава, экономическая эффективность и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение данной технологии позволяет повысить качество и конкурентоспособность выплавленной стали, что делает кислородно-конвертерный процесс привлекательным выбором

для многих металлургических предприятий.

Традиционно основную часть металлической шихты при выплавке стали в кислородном конвертере составляет жидкий чугун, являющийся источником физического и химического тепла в рабочем объеме конвертера. В качестве основного материала-охлаждителя конвертерной плавки преимущественно используется стальной лом. Применяют и дополнительные охлаждающие добавки (твердые окислители) - железную руду, агломерат, железорудные окатыши. Однако их использование в качестве основного охладителя плавки вызывает ряд трудностей организационного и технологического характера.

Одним из ключевых аспектов использования чугуна в конвертерной плавке является высокое содержание углерода, что способствует увеличению содержания углерода в стали. Это позволяет получать сталь с необходимыми характеристиками прочности и твердости для различных отраслей промышленности. Кроме того, использование чугуна позволяет снизить затраты на легирующие элементы, так как чугун сам по себе содержит значительное количество легирующих добавок.

Сравнивая процесс конвертерной плавки стали с использованием чугуна и без него, можно отметить, что при использовании чугуна процесс происходит более интенсивно и эффективно. Чугун быстрее расплавляется и обеспечивает более быстрое обогащение расплава углеродом. Это позволяет сократить время плавки и повысить производительность конвертера.

Однако следует отметить, что использование чугуна в конвертерной плавке также имеет свои особенности и недостатки. Например, чугун может содержать примеси, которые могут негативно сказываться на качестве стали. Поэтому важно контролировать состав чугуна и проводить необходимые меры по очистке и обогащению расплава.

Сравнительный анализ также позволяет выявить экономическую эффективность использования чугуна в конвертерной плавке. При правильном подходе к выбору сырья и оптимизации процесса можно добиться снижения затрат на производство стали и увеличения прибыли предприятия.

Таким образом, особенности окисления примесей чугуна под действием кислорода играют важную роль в процессе выплавки стали в кислородном конвертере. Контроль за содержанием примесей, оптимизация процесса окисления и обеспечение безопасности на производстве позволяют получать сталь высокого качества с использованием до 100 % жидкого чугуна.

В ходе исследования особенностей выплавки стали в кислородном конвертере с применением до 100 % жидкого чугуна были рассмотрены различные аспекты данного процесса. Основываясь на полученных данных, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, изучение теоретических основ конвертерной плавки позволило более глубоко понять этапы процесса и оптимизировать его выполнение. Анализ преимуществ использования кислородно-конвертерного про-

цесса для переработки чугуна в сталь выявил значительное улучшение эффективности и качества производимой стали.

Применение кислородно-конвертерного процесса в переработке чугуна в сталь демонстрирует высокую интенсивность процесса и сокращение времени выплавки. Особенности окисления примесей чугуна под действием кислорода позволяют улучшить качество стали и снизить содержание вредных элементов.

Таким образом, исследование особенностей выплавки стали в кислородном конвертере с применением до 100% доли чугуна позволило выявить эффективность данного метода, его экономическую и экологическую целесообразность, а также значительное улучшение качества производимой стали. Дальнейшие исследования в этом направлении могут способствовать развитию металлургической отрасли и повышению конкурентоспособности производства.

Библиографический список

1. Шаповалов А.Н. Технология и расчет плавки стали в кислородных конвертерах // Методические указания для выполнения домашнего задания и контрольной работы для студентов специальности 150101. – Новотроицк: НФ МИСиС, 2011. – 25 с.

2. Гамов П.А. Производство стали в кислородных конвертерах: решение практических задач // Учебное пособие. П.А. Гамов, С.В. Зырянов, С.П. Салихов – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 37 с.

3. Шелягович А.В. Разработка режимов формирования металлозавалки в кислородном конвертере с применением композиционных материалов и исследование их влияния на технологические показатели выплавки стали // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2005.

4. Способ выплавки стали в конвертере [Электронный ресурс]: пат. 2352644 Рос. Федерация: МПК С 21 С 5/28 / Нугуманов Р.Ф., ГОУВПО Сиб. госуд. индуст. универ. - №2007114488/02; заявл. 2007.04.17; опубл. 2008.10.27-Электрон. версия печ. публ.-Доступ с сайта ФГУ ФИПС.

5. Всемирная ассоциация производителей стали AISBL // Режим доступа: https://worldsteel.org/media/press_releases/2024/december-2023-crude-steel-production-and-2023-global-totals/ (дата обращения 06.04.2024).

СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Запольский А.С., Темлянец М.В.

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

Рассмотрены основные способы и перспективы развития энергосбережения ферросплавного производства. Приведены основные технические решения, направленные на повышение энергоэффективности ферросплавного производства.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, ферросплавы, ферросплавная печь, подогреватель, котел-утилизатор, турбогенератор, отходящие газы, пылегазовоздушная смесь, ферросплавный газ, шихтовые материалы.

Ферросплавы – это специальные добавки, используемые в металлургии для улучшения свойств и качественных характеристик черных и цветных металлов. Они представляют собой сплавы железа с другими элементами, такими как марганец, хром, кремний и другие. Ферросплавы применяют при легировании металлов, позволяя улучшать их свойства и обеспечивать более высокое качество изделий, выпускаемых металлургической промышленностью. Благодаря использованию ферросплавов возможно производство более 2500 различных марок сталей, которые используются в самых разных отраслях промышленности, включая горное дело, металлургию, химию, энергетику, военную технику, транспорт, строительство и станкостроение [1].

Получение ферросплавов считается одним из самых ресурсоемких и энергозатратных процессов в промышленности. Ежегодно в мире производится около 35–37 млн. т. ферросплавов. Современные ферросплавные печи относятся к одним из самых мощных потребителей электроэнергии в промышленности, суммарная мощность которых в России на сегодняшний день более 1500 МВА [2].

Основной задачей развития металлургического комплекса страны в ближайшем будущем является модернизация отрасли с акцентом на масштабное внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий, развитие производства, улучшение качества металлопродукции и создание новых видов металлопродукции [3].

Энергоэффективность в ферросплавном производстве - это комплекс мер и стратегий, направленных на оптимизацию использования энергии и снижение энергоемкости производства ферросплавов.

Энергоэффективность в этой отрасли может быть повышена за счет следующих мер:

- использование более совершенных печей и оборудования, которые

обеспечивают более высокий КПД преобразования электроэнергии в тепловую энергию.

- эффективное управление производством может помочь минимизировать потери энергии и повысить производительность оборудования.

- выделяемое в процессе производства тепло может быть использовано для отопления помещений, подогрева воды или в других целях, тем самым снижая потребление энергии.

- вовлечение в процесс производства отходов металлургического производства может снизить потребность в энергии за счет уменьшения количества исходных материалов, которые необходимо восстановить.

- разработка новых материалов и технологий, которые могут снизить энергоемкость производства ферросплавов.

- регулярный анализ энергопотребления и мониторинг позволяют выявлять проблемные участки и вносить коррективы для повышения энергоэффективности.

- оптимизация графиков энергопотребления в соответствии с тарифами на электроэнергию может помочь снизить затраты на энергию.

Совершенствование технологии получения ферросплавов за счет использования более энергоэффективного оборудования возможно при соблюдении следующих условий [4]:

- использовании вторичных энергетических ресурсов для нагрева шихтовых материалов перед подачей в ферросплавную печь, а также в качестве топлива

- внедрении современных систем очистки образующихся при производстве ферросплавов газов, соответствующих современным нормативам по охране окружающей среды;

- обновлении устаревших технологий и агрегатов на более эффективные с учетом требуемых показателей технико-экономической эффективности.

Реализация вышеуказанных мероприятий позволит ожидать улучшение качества ферросплавов, а также снижение потребности в материалах, энергии и загрязнения окружающей среды [5].

Повышение энергоэффективности в ферросплавном производстве не только снижает затраты на энергию, но и уменьшает воздействие на окружающую среду, связанное с выбросами парниковых газов и другими негативными последствиями энергоемкого производства.

В зарубежных странах уже накоплен значительный опыт в использовании тепла отходящих газов ферросплавных печей, которая, как правило, используется:

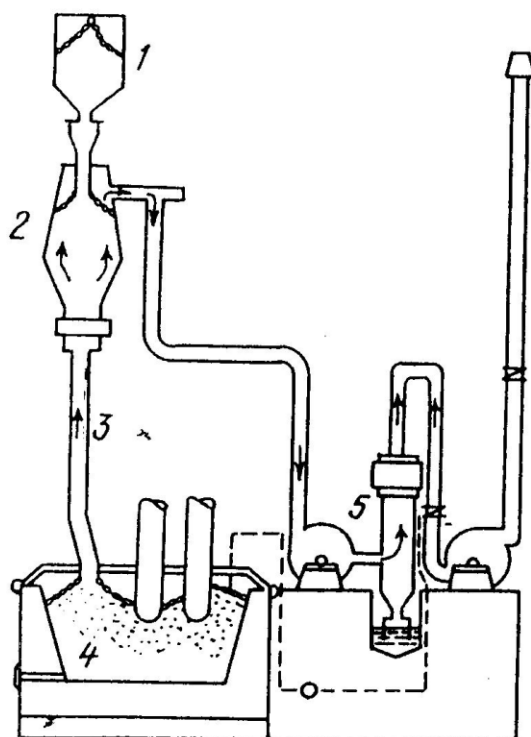
- в так называемых подогревателях, предназначенных для подогрева шихты (всей или только части) перед загрузкой в печь;

- в котлах-утилизаторах для получения пара, который используется для выработки электроэнергии, используемой в технологических и бытовых

нуждах.

Наибольшая эффективность достигается при использовании вторичных энергетических ресурсов при производстве ферросплавов в целях предварительного нагрева шихты, что значительно улучшает эффективность теплового баланса плавки и способствует снижению потребления электроэнергии на единицу продукции [6]: согласно расчетам и результатам опытного применения предварительный нагрев шихтовых материалов до 800 – 1000 °С способствует снижению на 20 – 25 % количества потребленной на производство ферросплавов электроэнергии, тем самым увеличивая производительность металлургического агрегата.

Для этой цели предназначен противоточный подогреватель шахтного типа над ферросплавной печью (рис. 1) со следующим принципом работы: шихтовые материалы из накопительного бункера 1 поступают в футерованный подогреватель 2 шахтного типа, в который направляется по труботечке 3 пылегазовоздушная смесь из-под сводового пространства печи 4 [1].



1 – бункер для шихты; 2 – подогреватель шахтного типа; 3 – труботечка;
4 – ферросплавная печь; 5 – газоочистка

Рисунок 1 - Схема подогревателя шахтного типа над ферросплавной печью

Наличие у труботечки 3 теплоизоляции и установка подогревателя на незначительном расстоянии от металлургического агрегата, позволяет сохранить высокую температуру отходящего газа, проходящего через шихтовые материалы в бункере 1, что значительно повышает эффективность использования данной установки. Дополнительно шихты выступает в роли зернистого фильтра, снижающего нагрузку на систему газоочистки 5 и по-

вышающую ее эффективность.

Также предлагаемый способ подогрева шихтовых материалов предусматривает использование химической энергии отходящего газа для восстановления компонентов шихты и возврат уловленной в подогревателе пыли в технологический процесс.

Применение данного подогревателя обеспечивает необходимый уровень безопасности ферросплавной печи, так как согласно требований промышленной безопасности загружаемые в печь шихта должны быть предварительно просушены или прокалены – не допускается загрузка материалов с количеством влаги выше, чем предусмотрено в технологической инструкции [7].

Потери тепла с отходящими газами ферросплавных печей составляют 40 – 50 % от количества потребленной электроэнергии. При этом при нормальных условиях теплотворная способность отходящих газов составляет 2400 – 2600 ккал/м³. Использование тепловой энергии отходящих газов ферросплавных печей в котлах-утилизаторах осуществляется по распространенной в других отраслях промышленности схеме: пылегазовоздушная смесь из металлургического агрегата эвакуируется через котел-утилизатор, вырабатываемый пар, при работе которого поступает на турбогенератор.

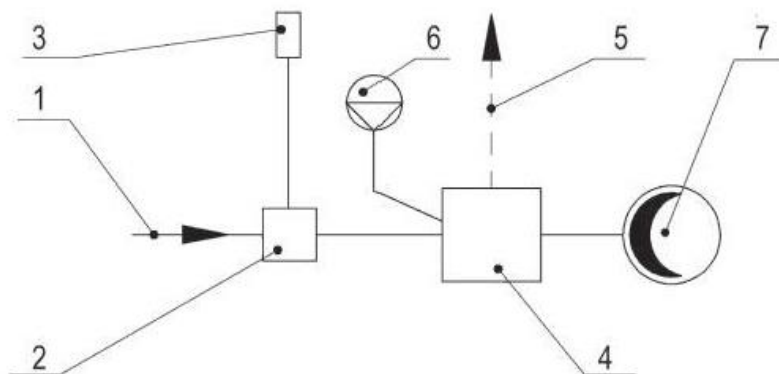
На сегодняшний день существует технология, предусматривающая применение котла-утилизатора, турбины и генератора, которая позволяет для металлургического агрегата с трансформатором мощностью 30 МВА вырабатывать 3,00 – 6,35 МВт электроэнергии, что обеспечивает до 10 – 20 % экономии затрат на энергоснабжение. В данном случае повышения энергосбережения и энергоэффективности за счет использования технологии когенерации [8].

Недостатком предлагаемой технологии в условиях действующего ферросплавного производства является невозможность обеспечения стабильности выхода высокотемпературной пылегазовоздушной смеси.

При сравнении двух вышеуказанных схем использования тепловой энергии печных газов установлено, что предварительный подогрев шихты дает экономию электроэнергии более чем в 1,8 раза больше по сравнению с количеством электроэнергии, вырабатываемой в теплогенераторе. Конструирование оборудования для предварительного подогрева шихтовых материалов, которое обеспечит передачу 50 % тепловой энергии, требуемой для производства ферросплавов, приведет к снижению удельного расхода электроэнергии на ту же величину при двукратном росте производительности печи в сравнении с работой той же печи на холодной шихте [1].

При выплавке ферросилиция в закрытых ферросплавных печах в зоне реакции образуется ферросплавный газ, количество которого определяется видом выплавляемого сплава, энергетическим режимом работы и габаритными размерами металлургического агрегата и составляет примерно 100 – 270 м³/ч на 1 МВт мощности. Ферросплавный газ обладает достаточно высокой теплотой сгорания (8 – 10 МДж/м³), что позволяет использовать его в качестве топлива [9].

В настоящее время существуют технические решения, с помощью которых возможна утилизация ферросплавного газа с получением тепловой и электрической энергии. Наиболее простым способом утилизации ферросплавного газа является его сжигание в топке водогрейного котла с использованием полученной тепловой энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения (рис. 2) [10].



1 – сборный коллектор ферросплавного газа; 2 – автоматическое переключающее устройство; 3 – дожигающее устройство (свеча);
4 – водогрейный котел; 5 – тепловая энергия потребителю;
6 – дутьевой вентилятор; 7 – дымовая труба

Рисунок 2 - Схема утилизации ферросплавного газа с выработкой тепловой энергии

Существующие технологии делают возможным применять ферросплавный газ в установках получения тепловой энергии для отопления предприятия (таблица 1), а также использовать вторичные энергоресурсы ферросплавных печей различной конструкции в теплоутилизационных электростанциях как с энергетическим котлом, так и с современным, но более дорогим и сложным вариантом с газовой турбиной (таблица 2).

Таблица 1 - Технические характеристики установки утилизации тепла ферросплавного газа [10]

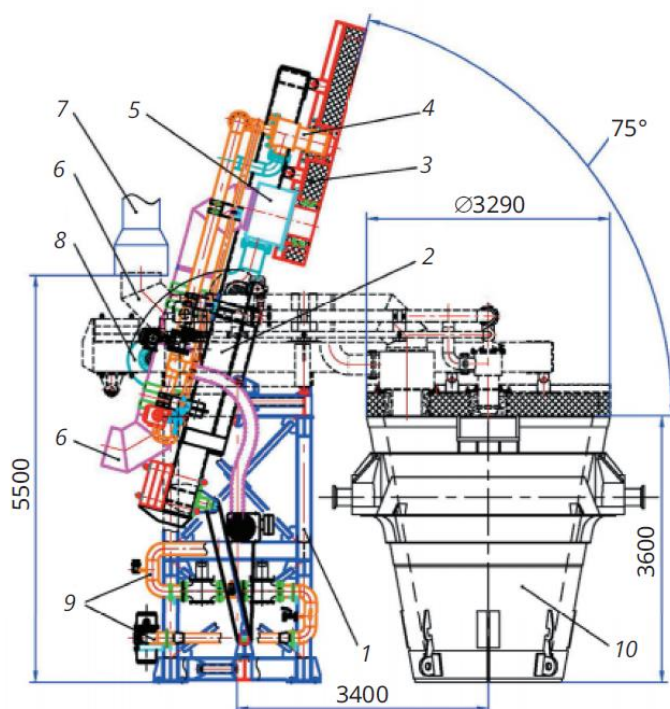
Показатели	Величина
Тепловая мощность, Гкал/час	до 4
Расход ферросплавного газа, нм ³ /час	2500
Расход воды через водонагреватель, м ³ /час	140
Температура воды, °С	
на входе	70
на выходе	95
Температура дыма на выходе, °С	120
КПД установки, %	90

Таблица 2 - Технические характеристики теплоутилизационной электростанции [10].

Показатели	Величина	
	с энергетическим котлом	с газовой турбиной
Выход ферросплавного газа, млн. нм ³ /ч	112,44	112,44
Выход пара энергетических параметров от котлов-утилизаторов открытых печей, тыс. Гкал/год	170*	170*
Производство электроэнергии, тыс. МВт·ч/год	120	170
Производство теплоэнергии, Гкал/ч	до 4,0	до 4,0

Примечание. – выход утилизационного пара можно увеличить за счет реконструкции зонтов и дымоходов и увеличения температуры дыма с 350 до 600 – 650 °С.*

Использование ферросплавного газа также возможно в качестве топлива для горелки стенов сушики футеровки разливочных ковшей. Горелка состоит из корпуса с воздушным патрубком, внутренней огневой камеры и газового сопла с патрубками подвода первичного и вторичного газа (рисунок 3).



1 – опорная рама; 2 – стрела подъемная; 3 – крышка футерованная; 4 – горелка; 5 – эжектор воздушный; 6 – патрубок дымоудаления; 7 – зонд цехового тракта дымоудаления; 8 – вентилятор дутьевой; 9 – газопровод ферросплавного газа; 10 – ковш

Рисунок 3 - Стенд сушики футеровки разливочных ковшей

Поступающий в горелку воздух и ферросплавный газ делятся на два потока каждый: первый поток воздуха и газа поступает в огневую камеру, при этом происходит их смешивание и полное сгорание в пределах огневой камеры, второй поток воздуха проходит по кольцевому зазору между обечайками корпуса и огневой камеры, где происходит его смешивание с продуктами горения и поступают в горелочный тоннель огнеупорной конструкции.

Сопло горелочного тоннеля образует струя теплоносителя с температурой 130 – 600 °С. За счет подачи в горелку вторичного газа происходит дальнейшее повышение температуры теплоносителя от 600 до 1600 °С, который сгорает в факеле в полости ковша. На всех режимах горелка работает с постоянным расходом воздуха, что обеспечивает постоянную аэродинамическую мощность струи теплоносителя (факела).

Таким образом, на всех режимах работы горелка обеспечивает постоянную аэродинамическую мощность струи теплоносителя, за счет чего формируется интенсивный осесимметричный контур циркуляции газов в полости ковша, охватывающий его днище и стенки. Это создает условия для высокой равномерности нагрева всей внутренней поверхности футеровки, что особенно важно в низкотемпературной области сушки, где футеровка нагревается за счет конвекции [11].

Показатели работы стандов сушки футеровки разливочных ковшей, горелки которых работают на ферросплавном газе, аналогичны стандам сушки чугуновозных ковшей, сушка которых осуществляется природным газом.

Существующая концепция устойчивого развития предполагает, что предприятия должны стремиться к сокращению своего экологического следа, включая выбросы парниковых газов и использование природных ресурсов. Предлагаема в данной статье стратегия энергоэффективности ферросплавного производства направлена в первую очередь на снижение энергопотребления, повышение коэффициента полезного действия оборудования и использование альтернативных источников энергии. Это позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду, повысить экономическую эффективность и улучшить репутацию предприятия.

Библиографический список

1. Ярошенко Ю.Г., Жучков В.И. Основные направления энерго- и ресурсосбережения в технологиях производства ферросплавов. В кн.: Урал индустриальный. Бакунинские чтения: Индустриальная модернизация Урала в XVIII – XXI вв. XII Всероссийская научная конференция, посвященная 90-летию Заслуженного деятеля науки России, доктора исторических наук, профессора Александра Васильевича Бакунина. Т. 1. Екатеринбург, 4-5 декабря 2014 г., в 2-х т. – Екатеринбург: изд. УрФУ, 2014. С. 624 – 633.

2. Хацевский В.Ф., Гоненко Т.В. Энергосбережение и современные электротехнологии ферросплавного производства // Наука и техника Казахстана. 2007. № 4. С. 74 – 79.

3. Романова О.А., Ченчевич С.Г., Шешуков О.Ю. Особенности техно-

логической модернизации металлургических предприятий региона в условиях мирового кризиса // Экономика региона. 2009. № 3. С. 54–61.

4. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровская И.Ю. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.

5. Основы металлургии черных металлов / О.Ю. Шешуков, В.И. Жучков, Л.А. Смирнов, Е.Ю. Лозовая. – Екатеринбург: изд. УГТУ-УПИ, 2003. – 259 с.

6. Ферросплавные электропечи / В.А. Гладких, М.И. Гасик, А.Н. Овчарук, Ю.С. Пройдак. – Днепропетровск: Системные технологии, 2007, 259 с.

7. Правила безопасности процессов получения или применения металлов (утв. приказом Ростехнадзора от 09.12.2020 г. № 512). – URL: <http://pravo.gov.ru> (Дата обращения: 20.04.2024).

8. Грищенко С.Г., Селезнева Ю.В. Об энергоэффективности как основном условии развития мировой ферросплавной промышленности // Экология и промышленность. 2014. № 4 (41). С. 26 – 30.

9. Закурдаев Н.В., Новиков А.Ю., Дмитриенко В.И. Применение ферросплавного газа в качестве топлива. В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-17 мая 2023 г. Вып. 27. Ч. I. Естественные и технические науки: Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2023. С. 81 – 87.

10. Сталинский Д.В., Рыжавский А.З., Петров Ю.Л., Глита О.М., Гонтарев М.С., Головатенко Т.В. Эффективные технические решения проблемы утилизации тепла ферросплавных печей // Экология и промышленность. 2013. № 1 (34). С. 4 – 7.

11. Рязанов В.Т., Шульгин С.С., Набоких А.А., Шестаков С.Б. Опыт внедрения стандов сушки разливочных ковшей, отапливаемых ферросплавным газом // Сталь. 2020. № 5. С. 24 – 26.

УДК 669.162

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЙ РАСПЛАВ

**Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,
Казанков С.А., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovna@bk.ru,
anfa.xxxl@gmail.com, sypersys11@mail.ru, s-kazankov@bk.ru*

Проанализированы перспективные технологические процессы, позволяющие перерабатывать техногенные материалы в переделный чугун.

Ключевые слова: переработка, шламы, пыль, восстановительная плавка, реактор, техногенные материалы.

Почти все рассмотренные выше способы предназначены для получения губчатого железа из железной руды с использованием первично- угля или природного газа (в исключительных случаях нефть). Даже перед агрегатами по способам, достигшим наибольшего успеха, не ставилась цель их использования в обычном металлургическом цикле. Причины этого очевидны: чтобы выстоять в конкуренции с такой отработанной технологией, как классическая доменная плавка, нужно было обеспечить высокую степень готовности агрегатов к работе (коэффициент использования календарного времени), низкий расход энергии и постоянное и высокое качество готового продукта. Успешными могли быть только такие способы, которые допускали сравнительно простую эксплуатацию и в то же время дополнительно давали результат, недостижимый в традиционной схеме с доменным процессом.

К целям плавильной металлургии относятся:

1. Применение мелкой руды без предшествующих этапов агломерации или окомкования.
2. Применение дешевых видов топлива и восстановителей при полном использовании этих материалов в процессе.
3. Малый выход отходящих газов, потому что иначе при высоких температурах процесса получились бы слишком большие тепловые потери.
4. Реализация процесса, позволяющая при необходимых высоких рабочих температурах ограничивать износ огнеупорных материалов.
5. Хорошая регулируемость процесса путем ввода сырья, восстановителей и кислорода в определенных количествах.
6. Высокая скорость реакций, чтобы получать большую производительность на единицу объема реактора.
7. Процесс должен быть по возможности непрерывным.

Эти принципиальные требования к разработке выполнялись в ранее известных процессах лишь частично. В опытном или полупромышленном масштабах пока ни в одном процессе не удалось удовлетворить эти требования хотя бы приблизительно. Во всех технологических разработках использовались в значительной части давно известные агрегаты, причем объединение различных этапов процесса иногда наталкивалось на значительные подгоночные трудности. Для некоторых из этих процессов в 1981 г. были опубликованы показатели расхода энергии в сопоставлении с расходом энергии на доменную плавку (таблица 1).

Для уже обсуждавшихся способов предварительного восстановления во вращающейся печи и окончательного восстановления и выплавки передельного чугуна в рудовосстановительной электропечи, требуется рудоугольная шихта в кусковой форме, кроме того, нужен подвод электроэнергии извне. Новые процессы восстановительной плавки могут быть подразделены на три группы:

- 1) роторные: "Доред"; "Роторед"; СИП (процесс центробежного получения чугуна);
- 2) на основе использования электроэнергии: "Элред";

"Инред"; "Плазмасмелт";

3) на основе газификации угля в конвертере: КР (восстановление углем); "Крупп-Коин"; "Клэкнер"-КС.

Таблица 1 - Расход энергоносителей на производство 1 т передельного чугуна (без учета использования тепла отходящих газов вне процесса) *1

Энергоноситель (теплота сгорания)		Процесс					Теоретический расчет*2	Доменная плавка*4
		"Роторед"*2	"Элред"*3	"Инред"*2	"Плазмасмелт"	"Тетроникс" ЭПП*2		
Уголь (25960 кДж/кг) :	расход, кг.	1830	700	635	200	440	607	(Аглофабрика)
	энергия, кДж.	47,51	18,17	16,48	5,19	11,42	15,76	2
Кокс (29310 кДж/кг):	расход, кг.	–	–	–	50	–	–	460
	энергия, кДж.	–	–	–	1,46	–	–	13,5
Природный газ (37680 кДж/м³):	расход, м³	126	–	–	–	–	–	–
	энергия, ГДж.	4,75	–	–	–	–	–	–
Кислород (6562 кДж/м³)	расход, м³	420	–	530	–	–	399	(Подогрев воздуха)
	энергия, ГДж.	2,75	–	3,48	–	–	2,6	2
Электроэнергия [9584 кДж/ (кВтч)]:	расход, кВтч .	–	–	700	280	1120	2372	–
	энергия, ГДж..	–	–	–	2,68	10,73	22,7	–
Первичные энергоносители*5	расход ГДж	55	18,2	22,6	17,4	34,1	18,4	17,5

*1 Тильман Р., Штеффен Р. Обзор методов восстановительной плавки. Черные металлы, *2 Может быть использовано тепло отходящих газов. *3 Может быть использована электроэнергия (~300 кВт • ч/т чугуна). *4 Собственное производство. *5 Может быть использован доменный (колошниковый) газ - около 5,5 ГДж/т чугуна. *6 Без учета использования вторичного тепла.

Роторные способы упоминаются здесь (хотя об их промышленном применении в настоящее время ничего не известно) потому, что в них последовательно реализуют принцип переработки неагломерированного сырья и принимают специальные меры по защите огнеупорной футеровки, а эта задача при восстановительной плавке имеет важное значение.

Разработка процесса "Доред" (рисунок 2) была начата фирмой "Стора Копперберг" в 1960 г. в Домнарвете (Швеция) на основе процесса "Калдо". В горизонтальную вращающуюся (с частотой до 30 мин) печь загружают железорудный концентрат, известь и мелкокусковой уголь или коксовую мелочь и вдувают кислород. В ходе процесса формируются три слоя (внизу - передельный чугун, в середине - шлак, вверху - восстановительный реакционный слой). Сгорание газов, выходящих из верхнего слоя, покрывает потребность в тепле на восстановление и плавление. Полупромышленные опыты с коксовой мелочью не позволили получить достаточной скорости реакции; были встречены также трудности с огнеупорной футеровкой. Разработка была прекращена в 1969 г.

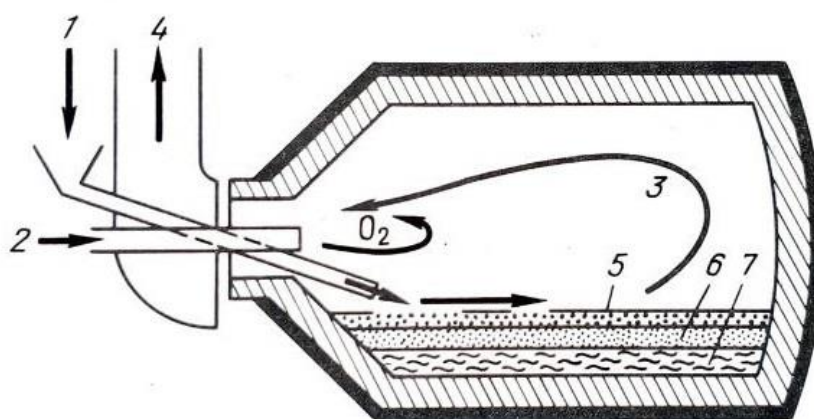


Рисунок 2 - Схема процесса "Доред": 1- техногенные материалы (может быть подогрета) и кокс; 2 - кислород; 3 - сгорание CO; 4 - отходящие газы; 5- реакционный слой; 6- слой шлака; 7- слой передельного чугуна

Процесс "Роторед" (рисунок 3) разрабатывался Центром металлургических исследований в Риме (Италия) с 1971 г. На стенку вертикальной вращающейся печи загружают техногенные материалы, добавки и уголь (все эти материалы должны быть в мелкозернистой форме), причем частота вращения печи должна быть достаточно большой, чтобы материалы удерживались на стенке (под действием центробежной силы). При помощи центральной горелки подводится энергия до тех пор, пока не пойдет реакция восстановления; после этого достаточно подавать предварительно подогретый воздух, т.е. некоторое количество дополнительной энергии, чтобы от жидких оксидов железа, поддерживать ход реакции. Футеровка печи защищена так как жидкий чугун, имеющий более высокую плотность, собирается непосредственно у огнеупорной стенки.

Опыты на малой установке показали сравнительно большой расход энергии. Нужно было провести опыты в более крупном масштабе, чтобы доказать экономическую целесообразность способа. Однако уже несколько лет нет никаких сообщений об этих разработках.

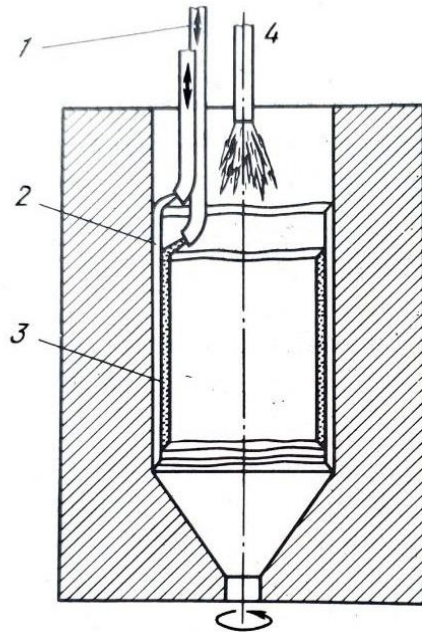
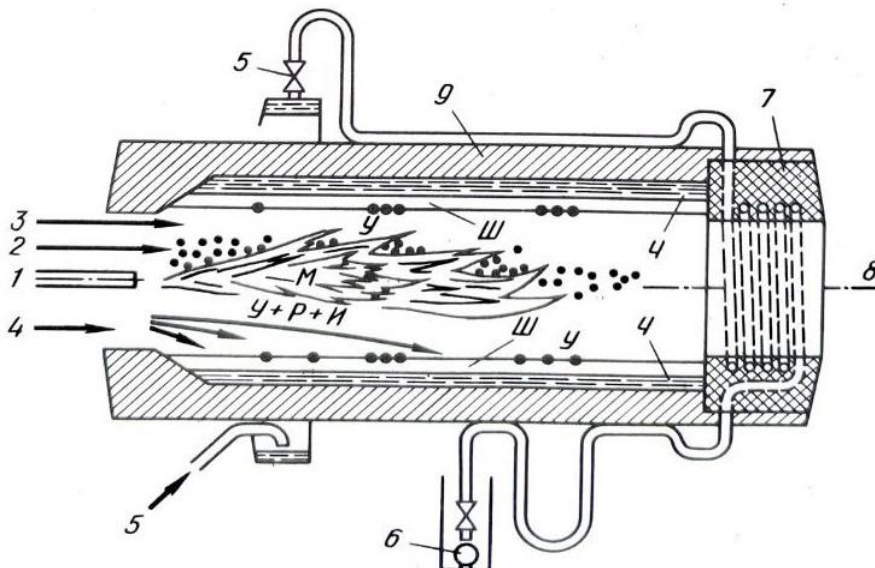


Рисунок 3 - Схема реактора "Роторед": 1 - фурмы для ввода добавок;
2 - восстановитель; 3- оксид железа; 4 - центральная горелка

Корпорация "Бритиш стил" (Великобритания) в 1968 г. начала разрабатывать процесс СИП (рисунок 4). В слегка наклоненную вращающуюся печь вдувают мелкую руду, известняк и кусковой некоксующийся уголь и при помощи кислородотопливной горелки в печном пространстве поддерживают температуру $\sim 2000^{\circ}\text{C}$. Чугун, образующийся



1 - горелка; 2 - топливо; 3 - кислород; 4 - шихта (У - уголь, Р – шламы либо пыль металлургического производства, И - известняк); 5 - подвод охлаждающей воды; 6 - отвод охлаждающей воды; 7 - буртик для недопущения выхода шлака;
8 - ось вращения ротора; 9 - огнеупорная футеровка; Ч - чугун;
Ш - шлак; М – мазут

Рисунок 4 - Схема реактора СИП (центробежного получения чугуна)

При быстро протекающем процессе восстановления и плавки, располагается непосредственно на футеровке печи, вращающейся с частотой до 200 мин, и стекает в копильник, куда поступают и отходящие газы. Шлак имеет сравнительно высокое содержание железа (10-25 %), что снижает выход годного. Кроме того, не решены проблемы стойкости футеровки, особенно на стороне выхода чугуна из печи. Сравнительно продолжительные серии опытов были закончены в 1980 г. Неизвестно, продолжаются ли эти разработки.

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. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 177-180.

3. Изучение влияния (положения, интенсивности) фурмы на параметры реакционной зоны / В.С. Фадеев, С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 193-196.

4. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Металлургия, 2006. - 453 с.

УДК 669.162

ОСОБЕННОСТИ КОСВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,
Казанков С.А., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovna@bk.ru,
anfa.xxxxl@gmail.com, sypersys11@mail.ru, s-kazankov@bk.ru*

Рассмотрены технологии синтезирования газов определенного химического состава с целью восстановления оксидов железа из техногенных материалов.

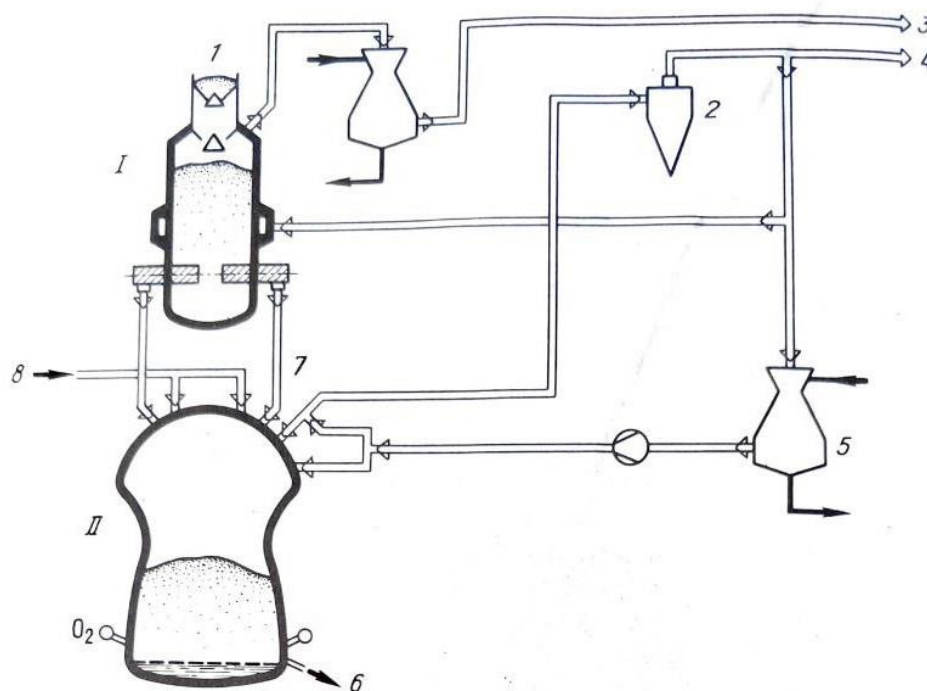
Ключевые слова: Переработка, шламы, пыль, газификация, конвертер, техногенные материалы.

Получение железоуглеродистого расплава из техногенных отходов, перспективная задача, которая решается до настоящего времени. Существуют технологические процессы переработки в дуговых печах, позволяющие из за высокой термичности процесса, перерабатывать большие объемы металлур-

гических отходов (шламов, пыли).

В этой группе способов последовательно проводится принцип применения угля как единственного энергоносителя для восстановления железной руды и для ее расплавления. По основным технологическим этапам процессов КР (восстановление углем), "Крупп-Коин" и "Клэкнер" - КС успешно накоплен опыт эксплуатации в промышленных масштабах.

Разработка процесса КР (рисунок 1) была начата в 1976 г. Фирмой "Корф шталь", а в 1979 г. к ней подключилась фирма ФЕСТ. Этот способ является дальнейшим логическим усовершенствованием процессов восстановления газом с получением продукта - губчатого железа, потому что плавка холодного губчатого железа в дуговой печи связана со все возрастающими издержками на электроэнергию. По способу КР можно перерабатывать шламы, пыль, агломерат и (или) окисленные окатыши на передельный чугун с применением угля самых разнообразных марок; таким образом, его можно считать альтернативой для доменной плавки.



1 – техногенные материалы; 2 - циклон; 3 - отходящий газ; 4 - избыточный газ; 5 - скруббер угольного газа; 6- передельный чугун и шлак; 7 - горячее губчатое железо; 8 - уголь; /- восстановительная шахта; // - плавильный газификатор

Рисунок 1 - Схема процесса КР (восстановления углем)

Металлургический процесс протекает в двух расположенных один над другим реакторах: восстановительной шахтной печи (вверху) и плавильном газификаторе (внизу). Нижний реактор выполняет двойную функцию: плавит губчатое железо и обеспечивает газификацию угля. Уголь крупностью 50-0 мм без какой-либо предварительной подготовки поступает по трубопроводам в плавильный газификатор, вступает в головной части газификатора в

контакт с газом, нагретым до температуры ~ 1200 °С, мгновенно высушивается, освобождается от газов, растрескивается и превращается в кокс. В цилиндрической части реактора кокс газифицируется кислородом, вдуваемым радиально. При этом создается стационарный кипящий слой, имеющий температуру ~ 1600 °С. Образующийся так называемый угольный газ содержит примерно 73 % CO, 22 % H₂ и 1 % CO₂ (остальное - N и CH₄).

Губчатое железо, поступающее с температурой 850-900 °С из восстановительной печи, затормаживается в своем падении через кипящий слой, прогревается и в районе расположения кислородных фурм расплавляется, Передельный чугун и шлак выпускают через леточное отверстие.

В восстановительную шахтную печь поступает предварительно очищенный в циклоне восстановительный газ, температура которого устанавливается на уровне ~ 900 °С добавкой холодного угольного газа. Как и в шахтной печи прямого восстановления, шихта восстанавливается в противотоке. Из шахтной печи горячее губчатое железо выгружается шнеками непосредственно в плавильный газификатор. В шахтной печи нет никаких вставных элементов. В отличие от традиционных процессов прямого восстановления в шахту при процессе КР наряду с железной рудой загружают также и добавки.

Горячий угольный газ после плавильного газификатора подвергается грубой очистке в циклонах. Часть его охлаждается добавкой воды и используется для охлаждения восстановительного газа, а другая часть может быть использована (вне процесса) как избыточный газ, Колошниковый газ из восстановительной печи тоже еще обладает достаточно высоким энергосодержанием и может быть использован для различных целей.

Процесс КР, как и доменный процесс, может быть включен в энергетический цикл металлургического завода. Количество избыточного газа достаточно, например, для того, чтобы получить в обычной шахтной печи примерно столько же губчатого железа, сколько выплавляется передельного чугуна. Выход избыточного газа зависит от химического состава угля (от содержания летучих и от зольности).

На одной полупромышленной установке, рабочие кампании на которой продолжались по много недель, были получены следующие характерные эксплуатационные показатели в расчете на 1 т передельного чугуна.

Таблица 1 – Показатели технологического процесса КР

Расход угля, т	1
Расход кислорода, м ³	650
Выход избыточного угольного газа, м ³	500
Выход колошникового газа из восстановительной печи, м ³	1500

На промышленных установках (производительность которых по данным на 1985 г. составляет 300 тыс. т в год) ожидается меньший расход угля и соответственно меньший выход избыточного газа. Расход тепла нетто с учетом выработки кислорода составляет $\sim 9,2$ ГДж/т передельного чугуна.

Величина капиталовложений и цены дешевых углей позволяют создать небольшие предприятия по производству передельного чугуна, которые, уже начиная с объема 100 тыс. т в год, могут конкурировать с традиционными крупными металлургическими заводами.

Приблизительно тоже с 1980 г. фирма "Крупп" разрабатывает комбинированный процесс прямого восстановления и плавления. По способу "Крупп - КОИН" в ванну жидкого чугуна вдувают мелкий уголь в потоке кислорода через донные сопла. Энергия, высвобождающаяся при частичном сжигании мелкого угля, используется для расплавления лома и (или) губчатого железа и для газификации угля. Образующийся газ может быть использован для прямого восстановления железной руды. Уголь (крупностью до 1 мм) вдувается в ванну через сопла с двойными оболочками. В центральной части сопла проходит кислород, а по коаксиальной кольцевой щели вдувается мелкий уголь с инертным газом.

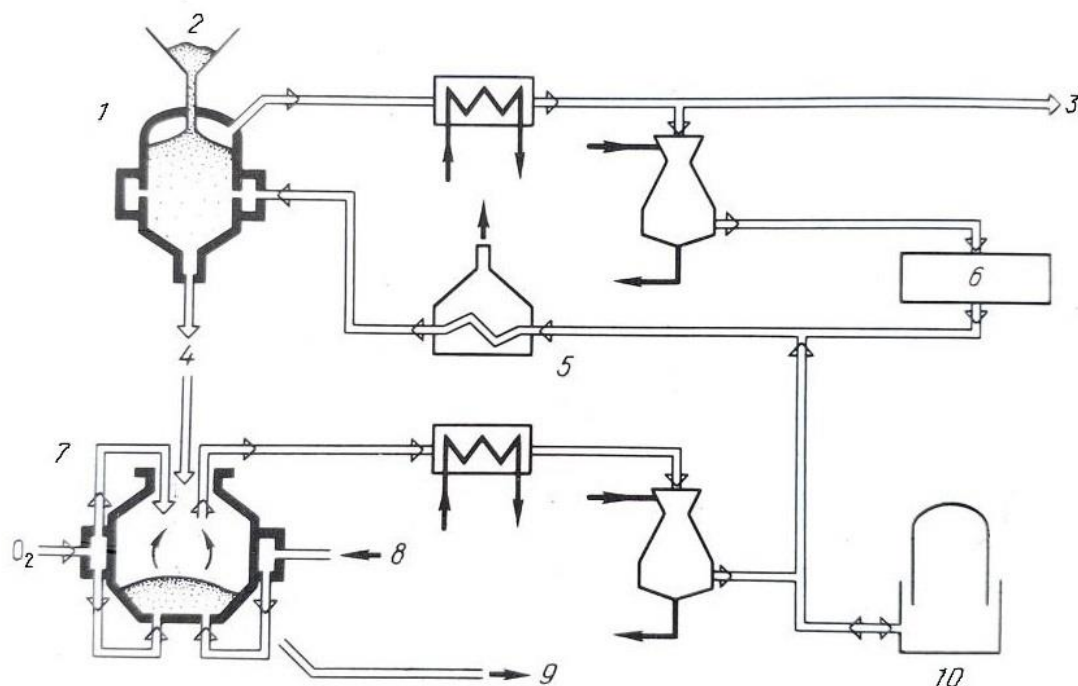
Опыты показали, что можно применять уголь практически любых марок - и с малым, и с большим содержанием летучих (короткопламенный и длиннопламенный). Варьируя соотношение между углеродом и кислородом, можно обеспечить науглероживание, обезуглероживание или только выделение тепла. Необходима последующая десульфурации полученного жидкого металла.

Первые попытки применения первоначально имели целью плавку лома и губчатого железа, так что такой способ может быть конкурентом плавки в дуговой печи. Газ с высокой теплотой сгорания (12300 кДж/м³) содержит преимущественно СО и Н₂ и мелкую пыль (главным образом в виде металлического железа) и пригоден для прямого восстановления железной руды. Впрочем, такая комбинация прямого восстановления и плавильного газификатора практически еще не опробована.

Над созданием способа КМС фирма "Клэкнер" интенсивно работает примерно с 1976 г., первоначально с целью увеличить долю лома в конвертерной шихте, чтобы компенсировать снижение потребления лома после остановки мартеновских цехов. В качестве энергоносителя используется мелкий уголь, вдуваемый в металлическую ванну через донные сопла. Только после перехода на комбинированную продувку с подачей кислорода сверху и снизу удалось улучшить теплопередачу расплавляемому лому и жидкой ванне благодаря лучшему дожиганию в верхней конической части рабочего пространства конвертера и соответственно повысить использование энергии угля. Чтобы получить хороший к.п.д. при восстановлении оксидов железа, целесообразно включить стадию предварительного восстановления (только в твердой фазе).

Как "традиционный" маршрут было подробно исследовано восстановление газом в шахтной печи. Принцип объединения двух агрегатов показан на рисунке 2. Все этапы процесса по отдельности при такой концепции были опробованы неоднократно. Однако, объединение этих этапов в одной установке, еще не было осуществлено. При этом, нужно найти экономичное ре-

шение проблемы, заключающейся в том, что горячие конвертерные газы поступают (образуются) без избыточного давления (т.е. при атмосферном давлении).



1-восстановительная печь; 2-техногенные материалы; 3-отходящий газ;
4-губчатое железо; подогреватель; 6 - скруббер для отмывки от CO;
7 - конвертер КС; 8 – уголь, жидкая сталь; 10 - газгольдер

Рисунок 2 - Схема процесса в конвертере КС в сочетании с прямым восстановлением в шахтной печи

При умелом управлении комбинированным кислородным конвертером (который одновременно является газификатором угля) и предварительным этапом восстановления возможен "островной" режим, автономный в энергетическом отношении, когда кроме угля не требуется никаких дополнительных источников энергии (если не считать некоторых переходных рабочих состояний процесса).

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. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 177-180.
3. Эффективность применения твердого топлива в конвертерной плавке / С.О. Сафонов, А.О. Лопатина // Кузбасс: образование, наука, инновации. Материалы XI Инновационного конвента. Кемерово, 2023. С. 434-437.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ ПЕРЕДЕЛЬНОГО ЧУГУНА В ПЕЧАХ СТАЦИОНАРНОГО СЛОЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

**Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,
Казанков С.А., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovna@bk.ru,
anfa.xxxx@gmail.com, sypersys11@mail.ru, s-kazankov@bk.ru*

Оценена эффективность процесса восстановления железа в печах стационарного слоя. Рассмотрены технологии рециклинга техногенных материалов в печах стационарного слоя.

Ключевые слова: Рециклинг, шламы, пыль, восстановительная плавка, стационарный слой, техногенные материалы.

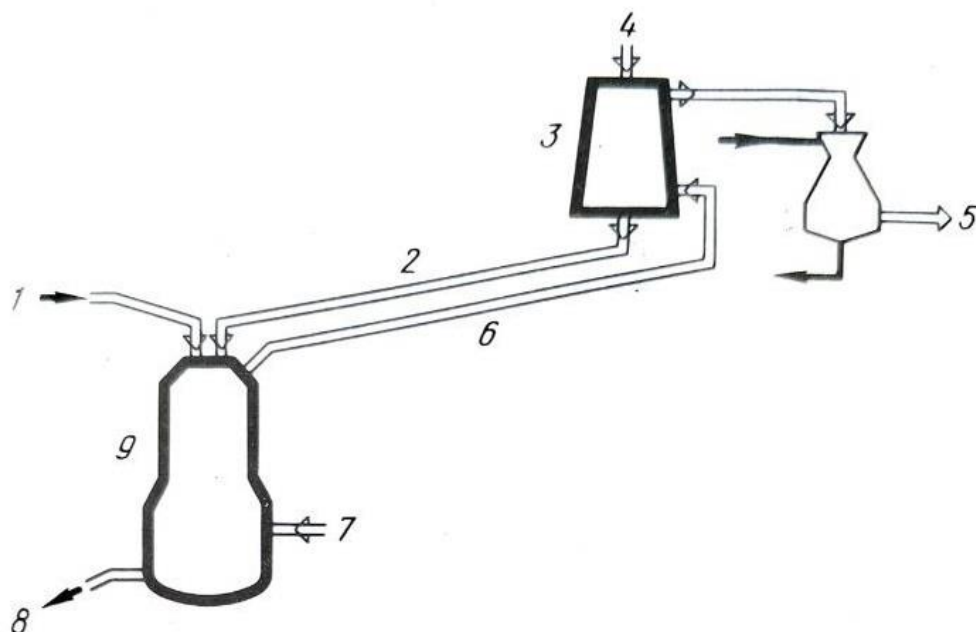
Производство передельного чугуна из шламов и пыли металлургического передела затрудняется из-за особенностей сырья (высокое содержание феррита цинка) поэтому существуют процессы которые позволяют эффективно работать с данным сырьем.

Другие пути производства передельного чугуна с возможно более низким расходом первичной энергии имеют целью прямую конкуренцию с доменным процессом. Ставится задачей получение полупродукта типа передельного чугуна, который был бы равноценен передельному чугуну из доменной печи. Приобрели известность два таких способа: плавка губчатого железа фирмы "Сумитомо" и восстановительная плавка фирмы "Кавасаки".

Однако обсуждения, проводившиеся в 1984 г. в Японии, выявили характерное соображение: современные мощные доменные печи имеют высокий технический уровень. Управление процессом в них детально отработано, а суммарный расход первичной энергии (~ 17,5 ГДж/т чугуна) очень низок; такие показатели в процессах восстановительной плавки пока еще не были достигнуты. Поскольку мировой объем производства передельного чугуна не растет и скорее даже снижается, применение новых процессов в крупных масштабах будет оправданным только тогда, когда теперешние современные доменные печи потребуют замены по истечении срока амортизации. По сегодняшним оценкам такой вопрос, обуславливающий необходимость действий, возникнет около 2000 г. Со временем прогноз, сделанный в 1985 г., может конечно, еще несколько измениться, но по общим тенденциям он останется верным. Между тем разработка современных процессов, которые должны существенно превысить достигнутый уровень, не может уложиться менее чем в 10 лет. Это означает, что уже теперь нужно сформулировать цели разработок, чтобы в 2000 г. можно было внедрить их в промышленность. В качестве примера дальнейшего совершенствования доменного процесса и

могут рассматриваться оба вышеназванных способа (японских фирм).

Фирма "Сумитомо метал индастриз" разработала новый процесс получения передельного чугуна под названием "Сумитомо драй мелтинг" (рисунок 1). Функция доменной печи - восстановление железной руды и плавка восстановленного железа при одновременном удалении примесей реализуется в двух отдельных печах. В числе преимуществ такой схемы названы возможность применения кокса низкого качества и получение колошниковога газа с высокой теплотой сгорания при использовании угольной пыли (пылеугольного топлива), вдуваемой вместе с кислородом.



1 - кокс; 2 - губчатое железо; 3 - шахтная печь предварительного восстановления; 4 - техногенные материалы; 5 - колошниковый газ; 6 - восстановительный газ; 7 - кислород, мелкий уголь, пар; 8 - жидкий металл, шлак; 9 - печь для окончательного восстановления и плавки.

Рисунок 1 - Схема плавки губчатого железа фирмы "Сумитомо"

В восстановительной шахтной печи от железной руды (кусковой) отнимается кислород восстановительным газом, подводимым из плавильного газификатора. Затем губчатое железо передается непосредственно в плавильный газификатор и там расплавляется. При этом вырабатывается восстановительный газ. В качестве топлива в плавильный газификатор загружается сверху кокс. Кислород, угольная пыль и пар (необходимый для регулирования температуры) вдуваются через сопла в нижней части печи. Расплавленный передельный чугун выпускается из нижней части печи, как из горна доменной печи.

Восстановительный газ получается в ходе реакции между кислородом, угольной пылью и коксом в плавильном газификаторе. Он содержит до 70 % CO и до 25 % H₂ и имеет теплоту сгорания 6300-8000 кДж/м³, т.е. примерно вдвое более высокую, чем у обычного доменного газа. Этот газ может быть

использован для выработки электроэнергии, привода кислородных (воздухо-разделительных) установок, в нагревательных колодцах и для других потребителей в сталеплавильном и прокатном цехах.

Благодаря применению пыли некоксующихся углей можно сэкономить ~ 75 % коксующегося угля. Это обуславливает значительное снижение капиталовложений в коксохимическое производство.

По осторожным оценкам можно принять, что издержки производства на 1 т передельного чугуна по новому процессу "Сумитомо драй мелтинг" будут на 15 % меньшими, чем при традиционном доменном процессе.

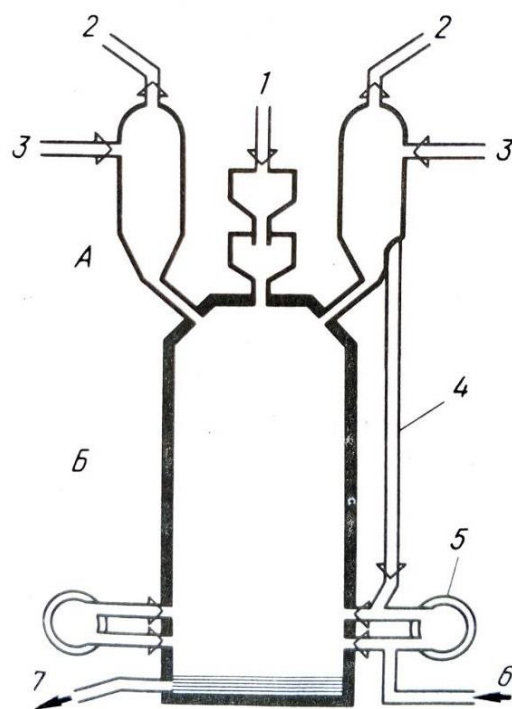
Порядок работы. В плавильный газификатор загружают сверху кокс и губчатое железо. В нижней части этой печи располагаются дутьевые фурмы на двух уровнях (горизонтах). Через нижние фурмы вдувают горячий воздух, кислород и некоксующийся уголь (в виде пыли), а через верхние фурмы в печь дополнительно поступает предварительно восстановленная железная руда. При сжигании кокса развиваются температуры 1450-1550 °С, необходимые для получения стали, и 1550-1650 °С, необходимые для выплавки ферросплавов. Расплавленный металл собирается на подине печи, причем плавающий на его поверхности шлак периодически удаляют.

Система с двумя горизонтами дутьевых фурм позволяет регулировать смешанное горячее дутье и тем самым температуру в печи, а также вводить предварительно восстановленное (металлизованное) железо. При таком режиме работы возможно восстановление также и хромовых руд.

По этой технологии ожидается, что расход энергии на 1 т железной руды будет на 1600-2000 кДж ниже, чем в доменном процессе. Важным фактором при этом является сохранение чистоты окружающей среды, поскольку агломерация руды не требуется. Существенное снижение издержек обеспечивается применением кокса пониженного качества, бурого угля и некоксующейся угольной пыли, а также низкокачественной железной руды либо шламов.

Процесс восстановительной плавки фирмы "Кавасаки" (рисунок 2) представляет собой разработку начала 80-х годов; он позволяет получать передельный чугун или ферросплавы из мелких руд. Здесь также расчленяют обычный доменный процесс на две отдельные рабочие операции - предварительное восстановление и восстановительную плавку. Предварительно восстановленная руда плавится на газификаторе, разделяется на металл и шлак, который полностью восстанавливается.

В числе преимуществ процесса названо снижение издержек на производство стали на 15 %. При выплавке ферросплавов (феррохрома или ферромарганца) благодаря отказу от этапа плавки в дуговой печи можно ожидать экономии в расходе энергии почти на 50 %. При этом в печь предварительного восстановления загружают мелкую руду; монооксид углерода (СО), необходимый для восстановления, поступает из печи восстановительной плавки с высокой температурой. Степень предварительного восстановления (металлизации) должна составлять 60-70 %.



А - печь предварительного восстановления; Б - печь для окончательного восстановления и плавки; 1 - кокс низкого качества; 2 - отходящий газ; 3 – пыль ЭСПЦ; 4 - металлизированная мелкая руда; 5 - горячий воздух; 6 - кислород, мелкий уголь; 7 - шлак и жидкий металл

Рисунок 2 - Схема восстановительной плавки фирмы "Кавасаки"

При выплавке ферросплавов к восстановительной среде добавляют еще и углеводороды, например метан. Сообщалось, что хромовая руда предварительно восстанавливается на 30-50 %.

В обоих случаях вырабатывается избыточный газ - в основном водород и монооксид углерода, который может быть использован для производства химикатов или в качестве топлива для выработки энергии в самом цехе.

Данные процессы позволяют выплавлять передельный чугун и ферросплавы с заданным содержанием железа.

Библиографический список

1. Влияние температуры подаваемого воздуха на процесс агломерации железорудного сырья / С.О. Сафонов, Е.И. Пушкина, Н.И. Дида, А.О. Лопатина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2022. – С. 370– 374.

2. 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.

3. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Все-

российской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.
– 2021. – С. 177-180.

УДК 669.162

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,
Казанков С.А., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovvna@bk.ru,
anfa.xxxx@gmail.com, supersys11@mail.ru, s-kazankov@bk.ru*

Приведены перспективные технологические электрометаллургические процессы переработки отходов металлургического производства и их показатели.

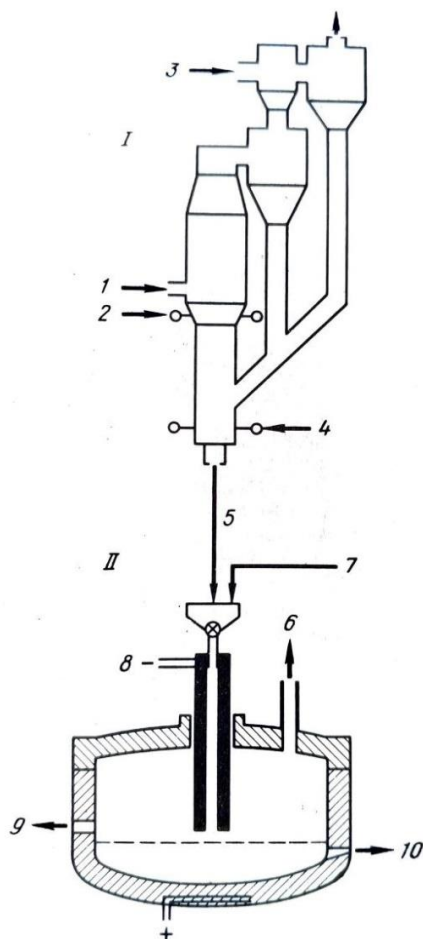
Ключевые слова: Переработка, шламы, пыль, электроплавка, дуговые печи, техногенные материалы.

Получение железоуглеродистого расплава из техногенных отходов, перспективная задача, которая решается до настоящего времени. Существуют технологические процессы переработки в дуговых печах, позволяющие из за высокой термичности процесса, перерабатывать большие объемы металлургических отходов (шламов, пыли).

Способ "Элред" (рисунок 1) разрабатывался шведскими фирмами "Стора Копперберг" и АСЭА при участии фирмы "Лурги" (ФРГ) с 1971 г. В циркулирующий кипящий слой (1) вводят пыль металлургического производства фракции ($\leq 0,1$ мм) и мелкий уголь ($\leq 0,2$ мм). При температуре 900-1000 °С уголь газифицируется воздухом, а мелкая руда восстанавливается на ~ 70 %. Избыток угля в циркулирующем кипящем слое предотвращает спекание металлизированных частиц пыли. Работа системы регулируется по времени пребывания и температуры в реакторе.

Предварительно восстановленный материал вводится вместе со шлакообразующими при температуре 600-700 °С через пустотелый электрод в рудовосстановительную электропечь постоянного тока. В плазме электрической дуги, возникающей между электродом (катодом) и расплавом (анодом), завершается восстановление и плавление материала с получением чугуна, содержащего 3-4 % углерода. В этом процессе дуга полностью закрыта шлаком.

Удаление серы и фосфора обеспечивается при внепечной обработке. Отходящие газы из кипящего слоя и из электропечи используют для сушки и предварительного подогрева шихтовых материалов и для выработки электроэнергии, которой покрывается вся потребность электропечи. Кроме того, в сеть отдается до 400 кВт ч на 1 т передельного чугуна, Расход энергии равен 18 ГДж/т (о выходе годного точных данных нет).



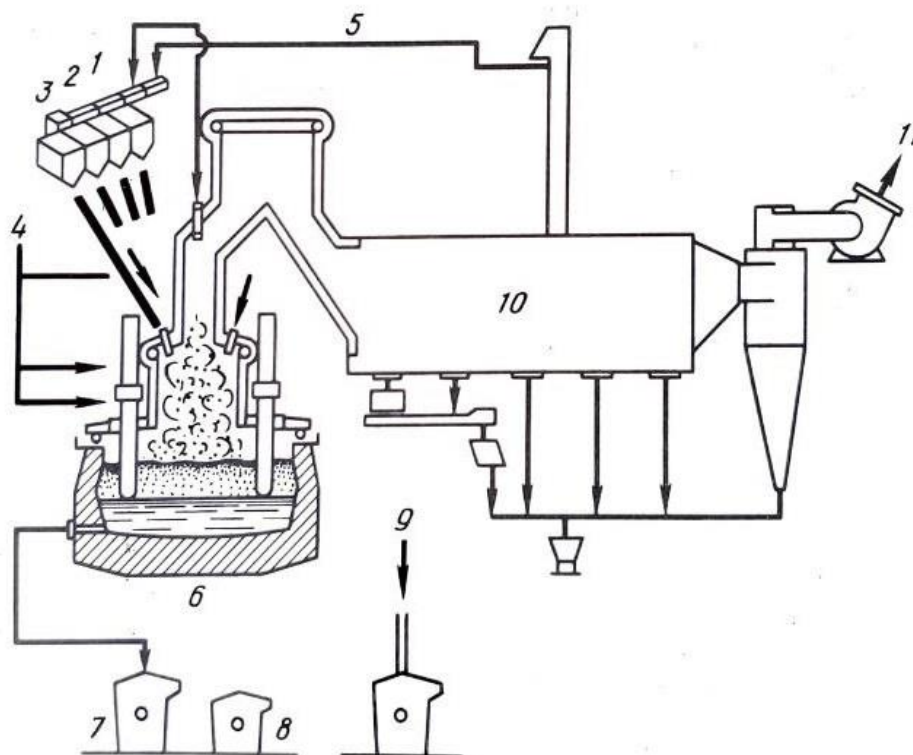
1 - уголь; 2 - воздух; 3 - рудный концентрат; 4 - псевдоожижающий газ (создающий кипящий слой); 5 - предварительно восстановленная железная руда; 6 - отходящие газы; 7 - известь; 8 - пустотелый электрод; 9 - шлак; 10 - передельный чугун

Рисунок 1 - Схема процесса "Элред"

Осуществимость предварительного восстановления в кипящем слое, а также окончательного восстановления и расплавления была доказана в полупромышленном масштабе, Первую промышленную установку еще предстоит построить.

Способ "Инред" (рисунок 2) фирма "Болиден" (Швеция) начала разрабатывать в 1972 г. В плавильный циклон вдувают в потоке кислорода рудный концентрат, мелкий уголь и известняк, В закрученном потоке уголь газифицируется, а руда восстанавливается до FeO и расплавляется.

Расход энергии на эти реакции покрывается частичным сжиганием CO, полученного при газификации угля, и отходящих газов из восстановительной печи, Расплавленный монооксид железа опускается через вспененный шлак в рудовосстановительную печь, расположенную непосредственно под плавильным циклоном (электрошлаковую печь сопротивления), и там восстанавливается остатком углерода частично газифицированного угля. Отходящие газы, имеющие температуру ~ 1900 °С, охлаждаются в котле-утилизаторе.

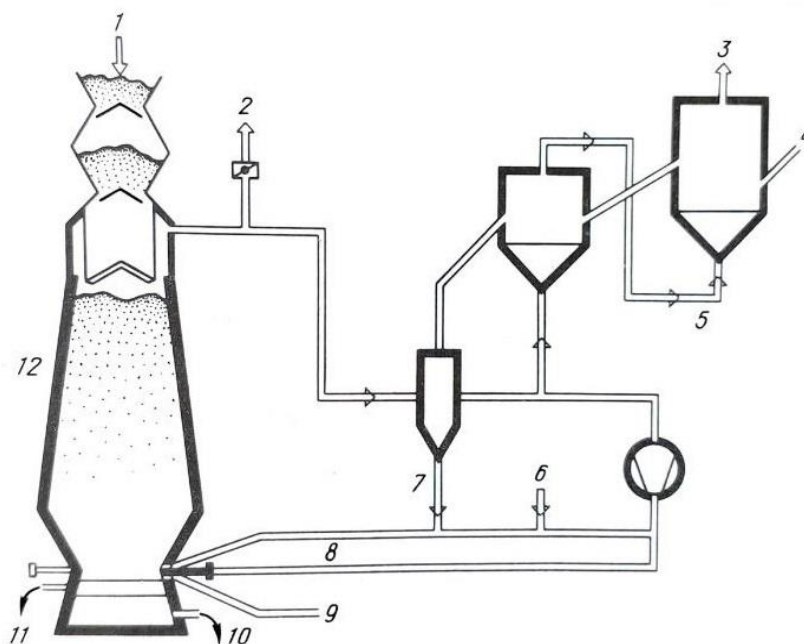


1 - шламы; 2 - известняк; 3 - уголь; 4 - кислород; 5 - возврат; 6 - электропечь;
7- передельный чугун; 8- шлак; 9- десульфурация передельного
угуна в ковше; 10 - сброс давления газа; 11 - на газоочистку

Рисунок 2 - Схема процесса "Инред"

Выработанная при этом электроэнергия удовлетворяет потребность восстановительной печи. Расход энергии составляет ~ 21 ГДж/т передельного чугуна; о выходе годного (железа) конкретных данных нет.

Фирма СКФ (Швеция) с 1972 г. разрабатывает способ "Плазмасмелт" (плазменная плавка) (рисунок 3). Между вольфрамовым катодом и водоохлаждающим медным анодом создается непрерывно горящая дуга, в которой газ (а также, например, и уголь) нагревается, диссоциирует (при температуре > 2000 °С) и ионизируется (> 3500 °С). Поток атомарного или ионизированного газа может иметь высокий энергетический потенциал и отдавать свою энергию с весьма высоким коэффициентом теплоотдачи, что способствует быстрому восстановлению и расплавлению оксидов железа шламов. По способу "Плазмасмелт" предварительно восстановленная мелкий шлам вместе с угольным порошком и шлаковыми добавками пропускается в потоке (рециркулирующего) технологического газа через плазменную горелку (плазматрон), расположенную на горизонте воздушных фурм небольшой доменной печи, заполненной коксом. Шлам здесь окончательно восстанавливается, плавится и просачивается вниз в горн, откуда выпускают чугун и шлак, как при нормальной работе доменной печи. В зоне окончательного восстановления устанавливается температура $1700-2000$ °С, тогда как в самом плазматроне температура достигает $3000-5000$ °С.



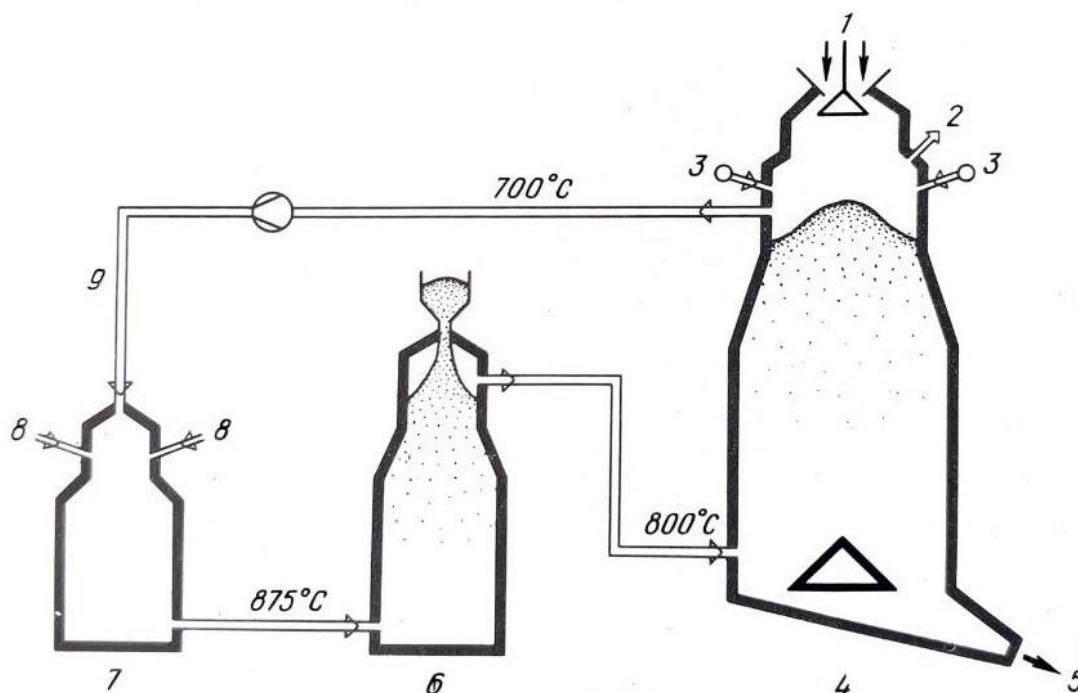
1- кокс; 2 - регулирование давления; 3 - отходящий газ на осушку концентрата; 4-подсушенный шлам; 5- предварительное восстановление; 6-известь; 7 - металлизированное железо; 8 - плазматрон; 9 - мелкий уголь; 10 – передельный чугун; 11 - шлак; 12 -окончательное восстановление и плавка

Рисунок 3 - Схема процесса "Плазма-смелт"

Газ проходит через коксовый слой снизу вверх, снова полностью превращается в смесь $\text{CO} + \text{H}_2$ и покидает колошник с температурой $1000\text{-}1200\text{ }^\circ\text{C}$. Слой (столб) кокса в шахтной печи принимает лишь незначительное участие в реакциях и используется преимущественно как реакционное пространство, проницаемое для газа, передельного чугуна и шлака. Этот слой сглаживает небольшие колебания в поступлении углерода через плазматрон, обеспечивает постоянное содержание углерода в чугуне и защищает футеровку печи.

Колошниковый газ ($\text{H}_2 + \text{CO}$) охлаждается до $\sim 800\text{ }^\circ\text{C}$ и используется в двухступенчатом процессе предварительного восстановления в кипящем слое, обеспечивая восстановление мелкой руды до $\sim 60\%$. Часть потока охлаждается, компримируется и используется как транспортирующий газ для предварительно восстановленной мелкой руды в качестве технологического газа в плазматроне.

Согласно расчетам фирмы СКФ, при этом процессе достигается ощутимая экономия по сравнению с обычной доменной плавкой. Небольшие, обычно неэкономичные доменные печи могут быть со сравнительно малыми капиталовложениями реконструированы для обеспечения экономичного производства передельного чугуна. Существенно, что 90% расхода кокса может быть заменено некоксуемым углем (а также мазутом или газом), агломерация руд становится ненужной и производительность существующих малых агрегатов более чем удваивается. Результаты более продолжительной эксплуатации до настоящего времени неизвестны.



1 - железорудные окатыши; 2 - отходящий газ; 3 - воздух; 4 – восстановительная печь; 5 - губчатое железо; 6 - десульфурация; 7 - регенерация газа; 8 - топливо; 9 - генератор плазмы (плазматрон)

Рисунок 4 - Схема процесса "Плазмаред"

Естественно попытаться применить плазменную технологию также и для производства губчатого железа. Фирма СКФ предложила технологический процесс "Плазмаред" (плазменное восстановление) (рисунок 4). Углеродоносители (уголь, мазут или природный газ) превращаются в плазматроне в восстановительный газ, который охлаждается до $\sim 900^\circ\text{C}$ и подвергается десульфурации в слое кускового доломита, а далее при температуре $\sim 850^\circ\text{C}$ подводится в восстановительную шахтную печь, в которой восстанавливаются кусковые оксиды железа.

Колошниковый газ из восстановительной печи возвращается в плазматрон.

Показатели расхода энергии и угля или мазута на 1 т передельного чугуна при соответствующих вариантах процесса "Плазмасмелт" (А - на угле, Б - на мазуте) по данным фирмы СКФ были следующими:

Таблица 1 – Показатели процесса Плазмасмелт

	Кокс, кг	Уголь, кг	Мазут, кг	Электроэнергия, кВт·ч	Энергия, ГДж
А	50	200	–	1120	11,3
Б	50	–	140	1080	11,3

Одна из проблем плазменной технологии при современном уровне знаний заключается в недостаточном сроке службы плазматрона. Фирма СКФ сообщает, например, что этот срок составляет 1000 ч. В какой мере применение резервного плазматрона и проведение планово-предупредительных

ремонт износенного плазматрона позволит решить эту проблему, пока неизвестно.

О загрязнении окружающей среды такой системой пока никаких конкретных данных нет.

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. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 177-180.

3. Исследование влияния горячбрикетированного железа на параметры плавки для производства синтетического чугуна в дуговой сталеплавильной печи / Рябинин А.С., С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2022. – С. 392-395.

УДК 669.23

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ПРИ ОБЕДНЕНИИ ШЛАКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Богатырев Д.М., Озеров С.С., Цымбулов Л.Б.

*ООО «Институт Гипроникель»,
г. Санкт-Петербург, e-mail: dmitri.bogatyrev@gmail.com*

Работа посвящена исследованию поведения металлов платиновой группы (далее МПГ) при обеднении шлака медно-никелевого производства восстановительной газовой смесью. Результаты, полученные при проведении работы, свидетельствуют о снижении концентрации МПГ в продуктах плавки с ростом восстановительного потенциала системы. В то же время, рассчитанные коэффициенты распределения МПГ между продуктами плавки указывают на снижение потерь данных металлов со шлаком по мере увеличения содержания железа в сплаве.

Ключевые слова: металлы платиновой группы, обеднение шлака, пирометаллургические процессы, сульфидные руды, шлак, штейн.

К МПГ относится шесть элементов: платина (Pt), палладий (Pd), родий (Rh), рутений (Ru), иридий (Ir), осмий (Os). Данные металлы нашли широкое применение в различных областях промышленности, а также в химической технологии. В частности, одной из главных отраслей, в которых использу-

ются данные металлы, в частности, палладий, является производство катализаторов.

Анализ производственной базы МПГ [1] свидетельствует, что существенная доля полученного металла приходится на переработку сульфидных медно-никелевых руд. При этом география переработки данных руд охватывает большое количество стран, в частности, ЮАР, Россию, Канаду, Австралию, Китай. Различия в минералогическом составе добываемых руд, к которым, в частности, относятся содержание серы, количество шлакообразующих компонентов, приводят к многообразию технологических приемов переработки. В свою очередь, выбор оптимальных условий переработки концентрата является важным фактором для повышения технологических показателей переработки, в том числе извлечения МПГ в готовую продукцию.

Литературный анализ известных данных о распределении МПГ при пирометаллургической переработке сульфидных медно-никелевых концентратов показывает, что полученные данные носят весьма обрывочный и противоречивый характер вследствие различий в методиках экспериментальных исследований. Среди известных исследователей следует отдельно отметить работы представителей финского университета Aalto [2-3] и японских исследователей университета Waseda [4-5].

В связи с выше сказанным, целью данной работы являлось изучение поведения МПГ при обеднении шлака окислительной плавки медно-никелевого производства восстановительной газовой смесью, подача которой в расплав обеспечивает протекание процесса в барботажном режиме.

Для этого исходный шлак, состав которого представлен в таблице 1, расплавляли в индукционной печи при температуре 1450 °С. После проплавления всей навески через трубочку из оксида алюминия осуществляли продувку расплава газовой смесью следующего состава, % об.: 33,01 – CO₂; 43,48 – CO; 20,9 – H₂. Расход подаваемого в расплав газа составлял 1 л/мин. Варьируемым параметром при постановке экспериментов являлось количество поступившего в расплав газа для чего продувку вели от 5 до 30 минут с шагом 5 минут. По окончании времени продувки для разделения продуктов плавки тигель с расплавом, не меняя температуры процесса, выдерживали еще 10 минут. После чего вынимали тигель из рабочего пространства печи. После охлаждения тигель разбивали, отделяли и взвешивали продукты плавки. Полученные шлаки и донные продукты анализировали химическими методами.

Таблица 1 – Химический состав исходного шлака

Содержание, % масс. (для МПГ г/т)													
Cu	Ni	Co	S	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir
0,762	0,781	0,176	0,479	36,53	32,77	2,87	3,69	7,39	0,222	0,684	0,017	0,007	0,003

Результаты химического анализа продуктов плавки представлены в таблицах 2 и 3. Из представленных результатов отчетливо видна закономерность увеличения выхода донной фазы с ростом содержания железа в ней.

Таким образом, можно утверждать, что содержание железа в сплаве будет являться мерой восстановительного потенциала системы, в связи с этим, зависимости содержаний металлов в продуктах плавки строить от содержания железа в сплаве.

Таблица 2 – Содержания цветных металлов, серы, железа и МПГ группы в полученных сплавах

№ опыта	Расход газа, л	Масса сплава, г	Содержание, % масс. (для МПГ г/т)									
			Cu	Ni	Co	S	Fe	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir
1	5	2,1	29,4	34,1	1,01	17,9	17,1	18,27	52,94	1,24	0,47	0,18
2	10	2,55	23,8	39,6	1,15	15,3	19,5	15,64	48,45	1,03	0,41	0,15
3	15	2,73	22,3	39,7	1,33	14,5	20,9	14,96	46,38	1,16	0,41	0,16
4	20	2,77	22,72	38,51	1,58	13,86	22,33	14,72	46,15	1,16	0,41	0,17
5	25	2,82	23,7	37,33	1,43	14,32	22,22	14,64	45,71	1,17	0,42	0,16
6	30	2,95	23,5	36,5	1,51	13,4	23,4	14,04	44,07	1,12	0,4	0,15

Таблица 3 – Содержания цветных металлов и МПГ в полученных шлаках

№ опыта	Расход газа, л	Содержание, % масс. (для МПГ г/т)							
		Cu	Ni	Co	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir
1	5	0,51	0,393	0,165	0,0336	0,141	0,0049	0,0019	0,0008
2	10	0,493	0,324	0,154	0,0255	0,0732	0,0048	0,0015	0,0008
3	15	0,474	0,318	0,158	0,0204	0,0569	0,0019	0,0011	0,0004
4	20	0,433	0,258	0,142	0,0194	0,0467	0,0015	0,0008	0,0004
5	25	0,389	0,225	0,14	0,0167	0,0414	0,0011	0,0007	0,0004
6	30	0,377	0,204	0,139	0,0162	0,0357	0,0011	0,0007	0,0004

Полученные данные свидетельствуют о снижении концентраций МПГ как в сплаве, так и в шлаке, по мере увеличения восстановительного потенциала системы. Если такое поведение МПГ в шлаке объясняется обеднением шлака в связи с ростом восстановительного потенциала, то снижение концентраций в сплаве объясняется «разбавлением» содержаний за счет увеличения содержания железа в нем.

В связи с этим, наиболее объективной мерой, характеризующей поведение МПГ при обеднении шлака, будет являться коэффициент распределения. В научных источниках коэффициент распределения рассчитывают различными методами. В данной работе коэффициент распределения вычисляли как отношение содержания металла в сплаве к содержанию металла в шлаке:

$$K_p = \frac{[Me]}{(Me)} \quad (1)$$

где [Me] – концентрация металла в сплаве,

(Me) – концентрация металла в шлаке.

Согласно графику зависимости коэффициентов распределения МПГ от содержания железа в сплаве, представленного на рисунке 1, видно, что для

всех МПГ отмечается тенденция к увеличению коэффициента распределения в исследуемом диапазоне составов донной фазы. При этом МПГ можно расположить в следующий порядок по мере увеличения абсолютной величины коэффициента распределения: Ir→Ru→Pt→Rh→Pd.

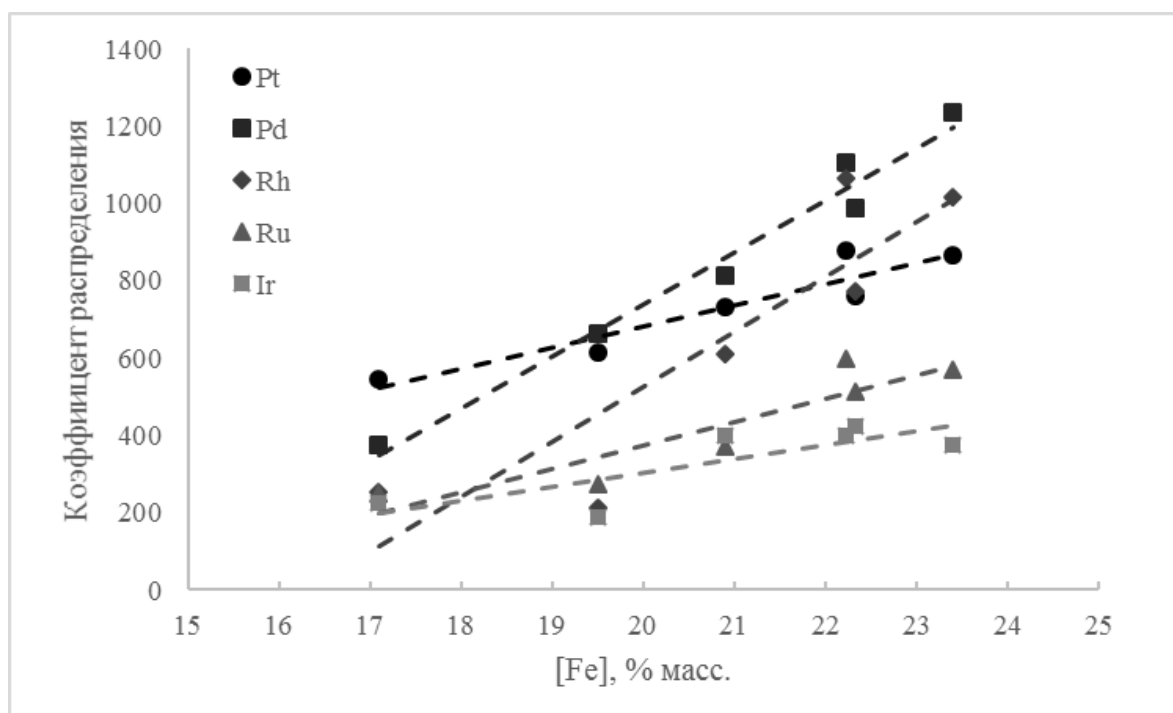


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов распределения МПГ от содержания железа в сплаве

В литературе найдены лишь отрывочные данные о содержаниях МПГ в полупродуктах пирометаллургических переделов предприятий, перерабатывающих сульфидные медные и медно-никелевые руды. В частности, имеются сведения о технологических показателях предприятий Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель» [6], а также предприятия Stillwater, расположенного в США [7-8].

Безусловно, при сравнении вычисленных коэффициентов распределения МПГ с данными промышленного производства стоит учитывать разницу в составах как исходных, так и конечных продуктов. Кроме того, важно учитывать атмосферу, в которой протекает процесс. В связи с этим, корректно сравнивать коэффициенты распределения МПГ, полученные в данной работе, с процессами, которые осуществляются в восстановительной, к которым можно отнести, в частности, электропечное обеднение шлака, или «условно» нейтральной атмосфере, которая характерна для пирометаллургической переработки высокомагнезиальных концентратов в рудно-термических печах. Несмотря на то, что полученные в данной работе коэффициенты распределения МПГ характеризуются широким разбросом значений, связанным с различным восстановительным потенциалом отдельных экспериментов, стоит отметить, что, в целом, они согласуются с данными, представленными в источниках [6-8].

С точки зрения технологического оформления процесса, с целью увеличения восстановительного потенциала системы возможно применение для обеднения чистого монооксида кислорода. Однако, в условиях протекания процесса обеднения шлака в печах Ванюкова, дутьем в которых является кислородно-воздушная смесь и природный газ, целесообразно для снижения коэффициента избытка кислорода (α) использовать твердый восстановитель, в качестве которого может выступать уголь.

Таким образом, по результатам выполненной работы установлены следующие выводы:

1. Содержание железа в донной фазе является универсальным показателем, характеризующим восстановительный потенциал процесса пирометаллургического обеднения шлака окислительной плавки медно-никелевого концентрата;

2. Установлено снижение концентраций МПГ как в сплаве, так и в шлаке по мере увеличения восстановительного потенциала системы;

3. Впервые получены численные значения коэффициентов распределения МПГ при пирометаллургическом обеднении шлака окислительной плавки медно-никелевого концентрата. Установлена тенденция к росту коэффициента распределения по мере увеличения восстановительного потенциала системы в исследованном диапазоне.

Библиографический список

1. Богатырев Д.М., Петров Г.В., Цымбулов Л.Б. Пирометаллургические технологии переработки сульфидных медно-никелевых руд с высоким содержанием металлов платиновой группы: современное состояние и перспективы развития // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2022. Т. 20, № 1. С. 14–24. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-1-14-2.

2. Avarmaa K., O'Brien H., Johto H., Taskinen P. Equilibrium distribution of precious metals between slag and copper matte at 1250–1350 oC // Journal of Sustainable Metallurgy. 2015. Vol. 1. P. 216–228. DOI: 10.1007/s40831-015-0020-x.

3. Avarmaa K., Johto H., Taskinen P. Distribution of precious metals (Ag, Au, Pd, Pt, and Rh) between copper matte and iron silicate slag // Metallurgical and Materials Transactions B. 2016. Vol. 47. P. 244–255. DOI: 10.1007/s11663-015-0498-4.

4. T. Murata, K. Yamaguchi. Effect of Copper Collector Form on Recovery of Suspended Platinum and Palladium Metals in the Al₂O₃-CaO-SiO₂ Slag at 1723 K // Journal of the Japan Institute of Metals and Materials. 84 (4). pp. 1-6 DOI: 10.2320/jinstmet.J2019046.

5. H. Heneo Zapata, K. Yamaguchi, S. Ueda. Distribution of Precious Metals (Au, Pt, Pd, Rh and Ru) between Copper Matte and Iron- Silicate Slag at 1573 K. Sohn International Symposium on Advanced Processing of Metals and Materials: Principles, Technologies and Industrial Practice, San Diego, CA, United

States, 27 - 31 August 2006. Warrendale, PA, United States: TMS, The Minerals, Metals & Materials Society. <https://doi.org/10.1007/s11837-006-0237-z>.

6. Девочкин А. И. и др. Атлас минерального сырья, технологических промышленных продуктов и товарной продукции ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» / под общ. ред. чл-корр. РАЕН, д-ра техн. наук, проф. Л. Б. Цымбулова. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. — 398 с.

7. Crundwell F.K., Moats M., Ramachandran V. et al. Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals // Elsevier Ltd. 2011, pp.199–214.

8. Aspola L., Matuszewicz R., Haavanlammi K., Hughes S. Outotec Smelting Solutions for the PGM Industry // Fifth International Platinum Conference “A catalyst for change”. Sun City, South Africa, 17–21 September 2012, pp. 239–250.

УДК 669.046.5

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЩЕЛЕВЫХ АНОДОВ НА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ РА-167 АО «РУСАЛ НОВОКУЗНЕЦК»

**Говриленко Д.А., Митягин В.О., Хамов М.А., Марьенко И.К.,
Григорьев А.Ю., Ноздрин И.В.**

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

Проведено сравнение технологических показателей алюминиевых электролизеров РА-167 и опытных электролизеров, оборудованных обожженными анодными блоками увеличенной длины с пропилами. Контролировались суточная производительность, выход по току, уровень металла и электролита, температура и состав электролита, рабочее напряжение, уровень шума, съем угольной пены, удельный расход анодов.

Ключевые слова: алюминиевый электролизер, обожженный щелевой анод, выход по току, рабочее напряжение

Целью настоящей работы является обобщение опыта использования «щелевых» анодов на электролизерах серии РА в условиях АО «РУСАЛ Новокузнецк». Реализация данного проекта направлена на оптимизацию технологических параметров и повышение производственных показателей.

Анодный узел алюминиевого электролизера, несмотря на кажущуюся простоту, представляет собой сложную физико-химическую систему, геометрические и физические характеристики которой существенно влияют на технологические и экономические параметры процесса электролиза. Наряду с высокими электропроводностью, термостойкостью и окалиностойкостью обожженные аноды должны обладать высокой механической устойчивостью и выдерживать серьезные динамические нагрузки при проведении регламентных технологических и ремонтных работ при эксплуатации электролизера [1].

Основным назначением анода при электролизе является обеспечение эффективной работы электрохимической ячейки анод–электролит–жидкий

алюминий–катод в экстремальных условиях высоких температур и воздействия агрессивных компонентов расплава и газовой фазы. Физико-химический процесс образования атомов кислорода на поверхности анода с последующим ее окислением до CO и CO₂ приводит к появлению газовых пузырьков, имеющих высокое электрическое сопротивление. На 1 кг алюминия выделяется около 0,8 м³ анодных газов. Газовые пузырьки объединяются в более крупные пузыри диаметром до 1 см, которые перемещаются по поверхности и приводят к формированию непроводящей газовой пленки, занимающей 35-60% рабочей поверхности анода. Это приводит к появлению блуждающих токов и, как следствие, к возникновению магнитогидродинамических (МГД) эффектов и дополнительному падению напряжения на границе раздела анод–электролит 50-150 мВ и увеличением расхода электроэнергии. Негативное влияние данного явления существенно увеличивается с ростом мощности электролизеров. Окисление же анода выше корки электролита практически не влияет на электрические параметры электролиза [2,3].

Для снижения влияния фактора образования газовой пленки на поверхности анода необходимо обеспечить максимально быструю эвакуацию анодных газов с поверхности подошвы анода. Так как уменьшение смачиваемости поверхности анода и динамическое удаление газовой пленки технически весьма проблематично, то к наиболее простым и эффективным вариантам решения данной проблемы можно отнести использование «щелевых» анодов [4].

В настоящее время работы в данном направлении ведут практически все крупные компании по производству первичного алюминия. Так американский концерн Alcoa перевёл все своё производство первичного алюминия на щелевые аноды в 1999 году. Швейцарская фирма R&D Carbon Ltd изучала применение щелевых анодов на сверхмощных электролизёрах (более 200 кА). Данные электролизёры были оснащены 20-ю щелевыми анодами длиной 1500 мм и глубиной пазов 150 и 300 мм продольного и поперечного исполнения. Наилучшие показали, такие как снижение расхода электроэнергии на 18 кВт·ч/т и выход по току 95 % были достигнуты на анодах с продольными пропилами глубиной 300 мм [5]. На просторах СНГ так же проводились программы по применению щелевых анодов. На предприятии АО «Каззахстанский электролизный завод» был реализован инвестиционный проект «щелевые аноды», данный проект был внедрен на 288 электролизерах цеха электролиза в 2019 году. По итогу завершения инвестиционный проект «щелевые аноды» на электролизерах с применением щелевых анодов были достигнуты следующие показатели: ускоренный отвод анодных газов, снижение падения напряжения в электролите (в среднем на 30 мВ), что поспособствовало снижению удельного расхода электроэнергии на 80 кВт·ч/т [6].

Наряду с зарубежными производителями программа по применению щелевых анодов была начата и на отечественных предприятиях. Одним из таких предприятий в 2012 году стал Красноярский алюминиевый завод ком-

пании РУСАЛ. Для реализации программы на части мощностях заводы были установлены щелевые аноды с двумя продольными пропилами. По ходу выполнения программы были достигнуты: снижение уровня шума (в среднем на 3 мВ), напряжения на электролизере (на 100-110 мВ) и в следствии снижение удельного расхода электроэнергии (от 300 до 500 кВт·ч/т) [5].

Программа промышленных испытаний использования анодных блоков с пропилами на электролизерах РА-167 опытного участка АО «РУСАЛ Новокузнецк» включала определение физико-химического состава экспериментальных анодов, установку обожженных анодов увеличенной длины с пропилами на 5 опытных электролизёров, контроль основных технико-экономических и технологических показателей электролизеров: выход по току; суточная производительность; уровень металла и электролита; температура и состав электролита (криолитовое отношение, содержание CaF_2); рабочее напряжение; уровень шума; съём угольной пены; высота и вес огарков; удельный расход анодов; количество оплавленных ниппелей, количество нарушений на анодах [7].

В рамках проекта для замены применяемых анодов были выбраны обожженные аноды:

- с увеличенной длиной на 100 мм (1550*810*650) по сравнению со стандартными;
- с увеличенной высотой щелей до 360-400 мм (наклонные);
- с направленным выходом щелей в центральный канал между анодами;
- с фасками на подошве анодов для облегчения схода анодных газов с вновь установленных анодов и ускорения взятия токовой нагрузки.

Физико-химических свойств обожженных анодных блоков 1550 и 1450 мм приведены в таблице 1. Внешний вид обожженных блоков 1550 мм с пропилами представлен на рисунке 1.

Таблица 1 - Физико-химические свойства обожженных анодных блоков 1550 и 1450 мм

Анодный блок	Fe	V	Na	Ca	Si	S	Зола	Мех пр	Газопр
1450	0,036	0,025	0,015	0,009	0,014	1,515	0,218	44,4	1,10
1550	0,045	0,021	0,011	0,021	0,027	1,383	0,283	50,1	1,21
Δ	0,009	-0,004	-0,004	0,012	0,013	-0,131	0,065	5,6	0,12

Увеличение длины анодного на 100 мм позволяет увеличить площадь анодного массива на электролизере на 7 процентов. Пропорционально этой величине можно поднять силу тока, что для электролизеров, работающих на силе тока 167 кА составляет 12 кА.



Рисунок 1 - Внешний вид обожжённого анодного блока 1550 мм с пропилами

Применение пазов на анодах позволяет более эффективно производить отвод газов от горизонтальной реакционной поверхности анода, чем в анодах без пазов. Пазы снижают общую поверхность пузырьков и таким образом способствуют уменьшению электрического сопротивления пузырьков и уровень шума при их схлопывании.

Сравнительный анализ усредненных значений технико-экономических показателей работы электролизеров с обожженными анодами длиной 1450 мм без пропилов и длиной 1550 мм с пропилами приведены в таблице 2[7].

Таблица 2 – Сравнение технико-экономических показателей опытных электролизеров

Наименование показателя	1450	1550	Изменение, %
Сила тока, кА	169,28	176,45	4,2
Выход по току, %	93,43	93	-0,46
Э/энергия технологическая, кВт·ч/т	14044	13789	-1,8
Шум, В	0,0145	0,0099	-34,5
Анодная плотность тока, А/см ²	0,82	0,8	-2,4
U _{рабочее} , В	4,41	4,31	-2,3
U _{заданное} , В	3,970	3,897	-1,8
Выход угольной пены, кг/т	5,57	0,77	-86,2
Обожженные аноды нетто, кг/т	418,83	400,5	-4,4
Цикл замены анодов, сут.	28,22	29,8	5,6
Количество нарушений на подошве цикловых огарков, удельно на замену	6,19	1,71	-72,4

Использование новой конструкции анодных блоков (длиной 1550 мм) позволило достигнуть:

- снижение удельного расхода электроэнергии на 1,8 %;
- снижение уровня шума на 34,5 %;
- увеличение цикла работы анода на 5,6 %;
- уменьшение выхода угольной пены на 86,2 %;
- уменьшение расхода обожженных анодов на 4,4 %.

Вывод: анализ результатов промышленных испытаний использования опытных обожженных анодных блоков длиной 1550 мм с продольными пропилами на электролизерах РА-167 показал их эффективность по сравнению с используемыми. За счет улучшения отвода анодных газов снижается сопротивление анода, что приводит к снижению базового напряжения и, соответственно к снижению расхода электроэнергии.

Библиографический список

1. Галевский, Г.В. Металлургия алюминия. Справочник по технологии и оборудованию / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2009. – 251 с.
2. Высокоамперные технологии РУСАЛа – 8 лет динамичного развития / В.В. Пингин, [и др.] / Второй международный конгресс «ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ – 2010». – Красноярск, 2010. – С. 442-456.
3. Завизин, А.В. Совершенствование конструкции анодного узла алюминиевого электролизера с использованием современных САПР / А.В. Завизин, [и др.], Образовательные ресурсы и технологии. 2016. №2 (14). – С.105-108.
4. Дагоберто, С. Северо. Моделирование пузырькового течения в электролите как инструмент улучшения конструкции щелевого анода / С. Северо Дагоберто, Вандерлей Гусберти, С. В. Элтон, Р. Моура Роналдо. - Легкие металлы, 2007. - С 287-292.
5. Манн, В.Х. Снижение потребления электроэнергии при производстве алюминия в существующих электролизных корпусах заводов ОК РусАЛ. РУСАЛ Глобал Менеджмент Б. В. / В. Х. Манн, В. Ю. Бузунов, Н. Н. Питерцев, В. В. Чесняк. - Красноярск. Сборник докладов XXXI Международной конференции "ИКСОБА", 2013. - 1041 с.
6. Толымбекова, Л.Б. Влияние предварительно обожженных анодов с пазами на показатели работы электролизёров / Л.Б. Толымбекова, Н.А. Жаксыбаев. DIZWW. 2021. №9-1. URL: <https://dizww.com/en/№9-may-2021/> (дата обращения: 10.03.2024).
7. Отчёт по программе испытаний: Испытание удлиненных обожженных анодов 1550 мм с пазами на электролизёрах РА-167 АО «РУСАЛ Новокузнецк». – Новокузнецк: РУСАЛ ИТЦ, 2015. – 5 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

**Коряковцева О.В., Хамов М.А., Ильина Ю.В., Марьенко И.К.,
Григорьев А.Ю., Ноздрин И.В.**

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

В работе проведен сравнительный анализ зарубежных и отечественных технологий переработки цинксодержащих пылей и шламов доменных и сталеплавильных производств черной металлургии, обеспечивающих комплексную утилизацию текущих и накопленных экологически опасных отходов.

Ключевые слова: цинксодержащие шламы, вельцевание, щелочное выщелачивание, электролиз цинка

Во всех металлургических переделах образуется значительное количество пылей, которые необходимо улавливать и утилизировать с целью извлечения содержащихся в них металлов и поддержания необходимого уровня охраны окружающей среды. Основной проблемой при утилизации металлургических шламов является повышенное содержание в них цинка, особенно в связи с расширением использования оцинкованного скрапа в кислородно-конвертерном и электросталеплавильном производствах [1]. В связи с тем, что в настоящее время основным способом утилизации этих шламов является аглопроизводство с последующей доменной плавкой, повышенное содержание цинка вызывает разрушение кладки доменных печей, образование цинкатных настывлей, забивку аспирационных систем. Это существенно влияет на работу доменных печей и агломашин, тем самым уменьшая межремонтные периоды доменных печей и дорогостоящих аспирационных систем. В связи с этим технологические требования ограничивают содержание цинка в аглошихте, как правило, не более 0,1% масс. Данный факт обуславливает фактическую способность современных доменных переделов перерабатывать не более 15% от валового выхода пылей и шламов.

Проведя анализ структуры производства стали и потребления металлолома приведенный в [2], следует отметить факт неизбежного роста доли оцинкованного лома в структуре металлургического сырья и, следовательно, в сопутствующих отходах металлургического производства, в связи с расширением применения технологии горячего оцинкования для защиты строительных металлоконструкций и автомобильного листа [3]. При этом выход на максимальные значения содержания во вторичном сырье оцинкованного лома следует ожидать для экономически развитых стран в ближайшие годы с учетом сроков амортизации деталей и узлов оборудования и механизмов. В России такой пик следует ожидать примерно на 10 – 15 лет позже из-за более позднего применения технологий оцинкования. Данный факт позволяет сде-

лать существенный технологический задел в части разработки и внедрения оптимальных процессов переработки цинксодержащих отходов с учетом передового мирового опыта.

Учитывая тот факт, что наша страна входит в число мировых лидеров по производству стали и тенденцию ужесточения природоохранного законодательства следует отметить, что в ближайшие годы наша страна столкнется с проблемой необходимости разработок и внедрения технологий утилизации цинксодержащих отходов металлургических производств и, в первую очередь предприятий черной металлургии. Актуальность данной тематики для Кузбасса очевидна в виду наличия на территории области одного из крупнейших заводов металлургического холдинга АО ЕВРАЗ, а также накопленными почти столетним складированием металлургических отходов.

Над проблемой очистки металлургических пылей от цинка, их утилизации работают во многих странах мира. В связи с многообразием видов сырья и процессов его переработки невозможно создать универсальную технологию, удовлетворяющую всем технологическим, экономическим и экологическим требованиям. Большинство предложенных способов обесцинкования металлургических шламов можно сгруппировать следующим образом: пирометаллургические, гидрометаллургические, гравитационные [4].

Наибольшее распространение получили пиро- и гидрометаллургические способы переработки цинксодержащих отходов. Следует отметить, что эффективность применяемых технологий определяется не столько технологическими приемами и конструкцией оборудования, а, в первую очередь, содержанием цинка во вторичном сырье. Практически всеми разработчиками подчеркивается факт, что при содержании цинка в отходах менее 15% невозможно добиться положительной рентабельности процесса [5]. Поэтому в качестве основополагающих требований к современным процессам переработки ломов ставится сортировка их по факту наличия цинковых покрытий, обеспечивающих содержание цинка в пылях выше 20 %. Кроме того на ряде зарубежных предприятий черной металлургии внедрены технологии термического [6-7] или химического [8-9] обесцинкования ломов перед переработкой.

Интересными и перспективными к использованию в условиях АО ЕВРАЗ можно отнести следующие технологии: PRIMUS – процесс; ROMELT процесс; процесс получения цинкового порошка из металлургических пылей, разработанный негосударственным частным образовательным учреждением высшего образования «Технический университет УГМК» (НЧОУ ВО «ТУ УГМК»).

PRIMUS процесс. Фирмой «Paul Wurth» разработан процесс «Primus» [10-11], который позволяет перерабатывать пыли электросталеплавильного производства с содержанием цинка в них более 5%. В промышленном масштабе технология была реализована сначала в 2003 г. в Люксембурге (с утилизацией 60 000 т пыли электродуговых печей в год) и затем в 2009 г. в Тайване (с утилизацией 100 000 т/г пыли электродуговых печей, смешанной с отходами доменного производства). Технология «Primus» является двухста-

дийной, включающей в себя сушку, нагрев и начальное восстановление железа в многоподовой печи на первой стадии и плавку в электродуговой печи на второй. При таком аппаратурном оформлении технология позволяет провести полное восстановление железа из шихты и получить расплав металла, а также извлечь цинк, который возгоняется в газовую фазу, где окисляется и конденсируется. Конечными продуктами являются чугуны, «пыль» оксида цинка с содержанием около 55–60 % Zn и отвальный шлак. Недостатком данной технологии является высокое потребление электроэнергии. В Кузбассе данным направлением занималось ООО «Кузбассэко» для решения вопросов утилизации шламов доменного производства Кузнецкого металлургического комбината. В настоящее время работы по данному направлению остановлены.

ROMELT процесс разработан сотрудниками НИТУ «МИСиС» [10, 12] в виде одностадийного жидкофазного восстановления неподготовленного железосодержащего сырья с использованием в качестве восстановителя энергетических углей, который осуществляется в плавно-восстановительной печи прямоугольного сечения, работающей с небольшим разряжением в рабочем пространстве. По технологии «Romelt» железосодержащее сырье и уголь подаются на шлаковую ванну печи. В ванне при температуре 1500–1600 °С происходит плавление металлического сырья и замешивание угля в барботируемый слой шлака, который образуется при подаче дутья через фурмы нижнего ряда. Дутье обеспечивает необходимое барботирование ванны и генерирование тепла в результате неполного сжигания углерода. Образовавшийся газ используется для восстановления оксидов железа и цинка, а остаток его дожигается над ванной в кислороде, который вдувается в рабочее пространство печи с помощью второго ряда фурм. Капли восстановленного в шлаковой ванне железа науглероживаются, укрупняются и опускаются на подину агрегата через зону спокойного шлака, образуя металлический слой с температурой 1375–1450 °С. Полученный металл содержит, % мас.: 4,0–4,8 C, 0,05–0,15 Mn, 0,01–0,1 Si, 0,05–0,12 P, 0,025–0,060 S. Цинк полностью удаляется в газовую фазу (более 99,8 %), а щелочные металлы примерно поровну распределяются между шлаком и газом.

По нашему мнению наиболее проработанной, с учетом большого опыта изучения свойств и особенностей поведения вторичных цинксодержащих материалов, является технология получения цинкового порошка из металлургических пылей, разработанная НЧОУ ВО «ТУ УГМК» и опробованная в условиях АО «Челябинский цинковый завод» [13–15].

Аппаратурно-технологическая схема процесса представлена на рисунке 1.

В качестве основного технологического решения, предложена предварительная обработка шламов во вращающейся футерованной печи (вельцпечи) при температуре около 1000 °С в присутствии извести или известняка для разрушения ферритов. В качестве топлива используется коксовая мелочь. Полученный железо-цинковистый клинкер подвергается щелочному

выщелачиванием и электролизом цинка из раствора. Продуктами процесса являются железосодержащий концентрат и цинковый порошок. Предлагаемая авторами технология, использующая одну стандартную вельщепь диаметром 2,8 м, позволяет перерабатывать до 100 000 т пылей/год с получением около 16 000 т/год цинкового порошка. Себестоимость цинкового порошка по предлагаемой схеме почти в 2 раза ниже себестоимости аналогичного материала, полученного в условиях действующего цинкового производства.

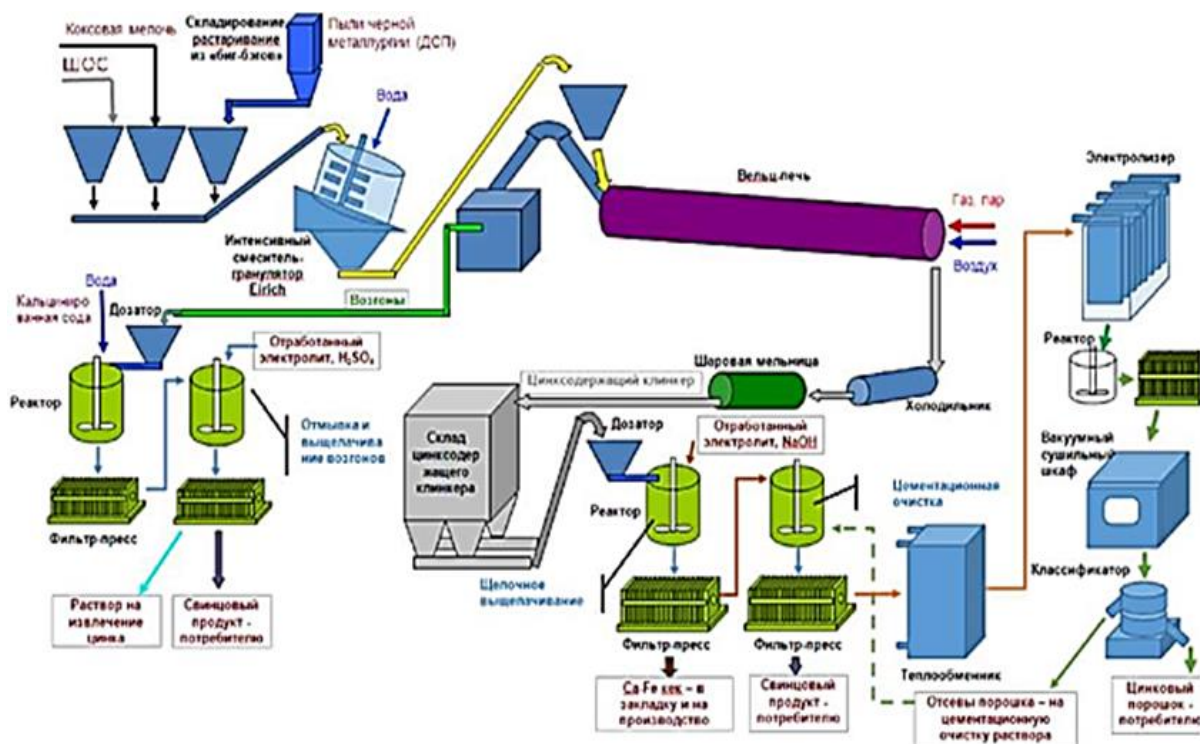


Рисунок 1 - Аппаратурно-технологическая схема переработки металлургических шламов с получением цинкового порошка [13]

К основным достоинствам предлагаемого процесса можно отнести:

- высокую степень извлечения цинка из железосодержащих пылей и шламов (более 90%), обеспечивающую возможность повторного применения их в качестве вторичного металлургического сырья;
- относительно низкие капитальные затраты, стандартное недефицитное оборудование и возможность реализации технологии по модульному принципу;
- хорошие технологические перспективы, при соответствующем уровне исследований, переработки пылевидных материалов с содержанием цинка менее 20 %.

В свою очередь, основываясь на опыте работ в данной сфере, мы попробовали оценить структуру затрат на реализацию подобного производства. Результаты расчета в текущих ценах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка инвестиции в передел извлечения цинка из пылей сталеплавильного производства (20% Zn)

Производительность, т/год	Срок строительства, лет	Инвестиции (млн. руб)					
		Инжиниринг	Оборудование	Строит. работы	Монтажн. работы	Оборот. средства	Всего
100 000	2	46,02	508,00	364,1	65,43	10,00	993,50

Библиографический список

1. Stuart C. // Glob Symposium of Recycling Waste Treatment and Clean Technology REWAS al ' 99: TMS and Inasmelt. – Warrendale. – 1999. – V. II. – P. 1287 – 1289.

2. Производство стали и потребление металлолома ведущими металлургическими странами в 2021 г. : интернет–портал Топик.ру. – URL: <http://www.topic.ru/statistics/chemicals/mining-metals-and-minerals/proizvodstvo-stali-i-potreblenie-loma-na-vedushchikh-mirovykh-rynkakh/?ysclid=lmt03bzrqql65930006> (дата обращения: 05.04.2024)

3. Ситуация на рынке оцинкованного проката / Металлургический бюллетень – 21 сентября 2023 г. : интернет–портал – URL: <https://www.metalbulletin.ru/a/6F?ysclid=lmt0qjkfyu590081709> (дата обращения: 05.04.2024).

4. Principial Uses of Lead and Zinc: ILZS. - 2003.

5. Казанбаев Л.А. Гидрометаллургия цинка / Л.А. Казанбаев, П.А. Козлов, В.Л. Кубасов, А.В. Колесников – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2006. – С. 8 -17.

6. Okada Y. Development of Method for Removal of Zinc from Automobile Body Scraps / Y. Okada, Y. Takeuchi, S. Fujio. // Galvatech '95 Conference Proceedings, ISS. - Pittsburgh, PA, USA, 1995. - P. 549.

7. Southwick L.M. // Global Symposium on Recycling Waste Treatment and Clean Technology, REWAS'99, V. II. TMS and Inasmelt. - Warrendale, PA, USA, 1999. - P. 311-325.

8. Groult D. T.H. Recycling of Metals and Engineered Materials / D. Groult, R. Marechale, P. Klut, B. Bonnema: TMS. - 2000. - P. 201-209.

9. Van Rij, P.W. Dezincing of Steel Scrap / P.W Van Rij, B. Campenon, J.N. Mooij // Iron and Steel Engineer. - 1997. - April. - P. 32.

10. Тарасов А.В. Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья / А.В. Тарасов., А.Д. Бессер, В.И. Мальцев– М.: Гинцветмет, 2004. – С. 99 – 107.

11. Hansmann T. Recycling of EAF Dust and of the Other Zinc Bearing Residues with the PRIMUS-process / T. Hansmann, R. Frieden, J.L. Roth // Recycling and Waste Treatment in Mineral and Metal Processing: Technical and Economic Aspects. - Vol. 2 / Ed. by B. Bjorkman, C. Samuelsson, J. O. Wikstrom. - Lulea University of Technology, MEFOS, TMS, Lulea, Sweden,

2002. - P. 405 - 414.

12. Romenets V. Romelt Process - New Technology for Industrial Wastes Recycling / V. Romenets, Yu. Pokhvisnev, V. Valavin, S. Vandariiev, A. Zaytsev // Proceedings EMC 2001.- Vol. 2. - GDMB, Clausthal-Zellerfeld, 2001. - P. 25-39.

13. Козлов П.А. Разработка экологичной технологии переработки пылей электродуговых печей совместно с известковым шламом очистки сточных вод цинковых предприятий / П.А. Козлов, Д.А., Ю.В. Решетников, Д.А. Ивакин // Цветные металлы. - 2015. - №5. - С.71-75.

14. Патент № 2732817 Российская Федерация, МПК С22В 7/02(2006.01), С22В 19/30(2006.01), С22В 19/38(2006.01). Способ переработки пылей электродуговых печей : № 2019143149: завл. 23.12.2019: опубл. 22.09.2020 /Козлов П.А., Якорнов С.А, Панышин А.М. [и др.]; заявитель, патентообладатель НЧОУ ВО «Технический университет УГМК». – 5 с.

15. Козлов П.А. Разработка и внедрение технологии получения цинкового порошка из цинксодержащих пылей черной металлургии / П.А. Козлов, С.А. Якорнов, А.М. Панышин, Д.А. Ивакин // Цветные металлы. - 2020. - №5. - С.6-11.

УДК 669.046.5

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ СЫРЬЕМ
ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С-2, С-3 ШЕСТОЙ СЕРИИ
АО «РУСАЛ НОВОКУЗНЕЦК»**

**Митягин В.О., Говриленко Д.А., Марьенко И.К., Григорьев А.Ю.,
Хамов М.А., Ноздрин И.В.**

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

Проведено сравнение технологических показателей алюминиевых электролизеров РА-167 и опытных электролизеров, оборудованных обожженными анодными блоками увеличенной длины с пропилами. Контролировались суточная производительность, выход по току, уровень металла и электролита, температура и состав электролита, рабочее напряжение, уровень шума, съем угольной пены, удельный расход анодов.

Ключевые слова: алюминиевый электролизер, обожженный щелевой анод, выход по току, рабочее напряжение

Целью настоящей работы является анализ текущего опыта внедрения системы автоматического питания сырьем (АПС) на электролизерах типа С-2 и С-3 шестой серии АО «РУСАЛ Новокузнецк».

Повышением эффективности производства и снижением нагрузки на окружающую среду РУСАЛ занимается с момента своего основания. Крупнейший производитель алюминия России активно участвует в федеральном

проекте «Чистый воздух», который реализуется в рамках Государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» (постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 326) и национального проекта «Экология» (Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 № 204). В соответствии с принятыми на себя обязательствами инженерно-технический центр РУСАЛа разработал комплексные программы технологического и экологического перевооружения основного электролизного производства: «Эко-Содерберг» и «Предварительно обожженный анод». В рамках этих программ на структурном подразделении компании – Новокузнецком алюминиевом заводе активно ведутся работы по переводу части электролизеров с самообжигающимися анодами на агрегаты с предварительно обожженными анодами. В настоящий момент выполнена замена 44 из 531 электролизеров. Также активно ведется реконструкция электролизеров С-8БМ, С-2 и С-3 шестой серии завода на электролизеры, соответствующие индексу Э. Спроектированы и запущены в эксплуатацию две газоочистки «сухого» типа, планируется строительство еще четырех. Кроме того ведутся работы по изменению системы сбора и эвакуации электролизных газов и внедрению системы автоматического питания сырьем, обеспечивающих работу электролизных агрегатов и комплекса газоочистного оборудования в наиболее оптимальных технологических режимах [1,2].

Система автоматической подачи сырья (АПС) в электролизёр предназначена для пробивки корки затвердевшего электролита, подачи глинозема и управления концентрацией глинозема в криолит-глиноземном расплаве, а также, фтор солей в расплавленный электролит в автоматическом режиме [3,4]. АПС состоит из четырех бункеров под глинозём по два с каждой стороны, совмещенных в одном корпусе с пробойниками, блока автоматизации. Бункер глинозема представляет собой герметичную сварную емкость из листового проката. Бункер оснащен объемным дозатором, совмещённым с пробойником, мундштуком. Боковые стенки бункера наклонные для обеспечения «стекания» глинозема в дозатор. Для установки бункеров применяются опорные конструкции-кронштейны, которые закрепляются на анодный кожух. Для простоты транспортировки конструкция бункера АПС снабжена круглыми сквозными отверстиями, позволяющие вставлять в них вилы погрузчика. Технические характеристики бункеров указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики бункеров системы АПС электролизеров С-2, С-3

Технические характеристики	Значения
Объём бункера, м ³	2,6
Масса установки, кг	1060
Масса площадки, кг	550
Масса бункера, кг	510

Дозатор глинозема представляет собой механизм, приводимый в действие пневмоцилиндром прямого действия. Объем разовой дозы одного дозатора составляет $1000 \pm 200 \text{ см}^3$ (зависит от свойств применяемого глинозема). Дозатор глинозёма совмещён с механизмом пробоя корки электролита. Механизм представляет собой единый шток, соединённый со штоком пневмоцилиндра, на котором есть клапана дозатора и наконечник для пробивания корки электролита. Используемый пневмоцилиндр имеет диаметр поршня 160 мм, ход 300 мм. Подача дозы глинозема из бункеров производится под действием силы тяжести, к наконечнику пробойника.

В качестве основных технических решений для электролизеров С-2 и С-3 были приняты наиболее совершенные варианты разработок, положительно зарекомендовавшие себя при освоении ранее аналогичных систем на электролизерах С-8 БМ 8 серии (рисунок 1).



Рисунок 1 – Электролизёр С-8 БМ(Э), оснащённый системой АПС

С учетом конструктивных особенностей, меньших габаритов и отличным от базового варианта расположением электролизеров устройство системы автоматической подачи сырья (АПС) отличается по сравнению с аналогичной системой С-8БМ(Э). Дозировочные бункера АПС для электролизеров С-2 и С-3 невозможно установить в торцевых сторонах электролизеров (рисунок 2), поэтому их разместили в районах замеров и леточной секции вдоль продольных сторон (рисунок 3). В отличие от электролизеров С-8 БМ(Э) у которых имеется отдельный бункер под фтористые соединения, на электролизерах С-2(Э), С-3(Э) суточная доза фтор-солей добавляется в один из бункеров глинозема и поступает в электролит вместе с глиноземом.



Рисунок 2 – Электролизёр С-2(Э), С-3(Э) (торцевая сторона)



Рисунок 3 – Электролизёр С-2(Э), С-3(Э), оснащённый системой АПС

Эксплуатация модернизированных электролизеров осуществляется в соответствии с технологической документацией по производству алюминия и управления технологическим процессом на электролизерах С-2(Э), С-3(Э) с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом [5,6]. Основные технологические показатели (средние) эксплуатации базовых и модернизированных электролизеров за период 2022 – 2023гг. приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение технологических показателей эксплуатации базовых и модернизированных электролизеров

Технологические показатели	Величина параметра		Изменение, %
	до модернизации	после модернизации	
Сила тока, кА	140,61	142,65	+1,5
Напряжение, В	4,61	4,63	- 0,5
Выход по току, %	87,92	88,62	+0,80
Расход технологической электроэнергии,	15728	15489	-1,54
Частота анодных эффектов, ед/сутки	0,80	0,46	-73,91
Продолжительность анодных эффектов, мин	1,66	1,65	-0,61

Вывод: Проведена оценка основных технологических показателей модернизированных электролизеров С-2(Э), С-3(Э), оснащённый системой АПС, при опытной эксплуатации на АО «РУСАЛ Новокузнецк». Установлено повышение выхода по току на 0,8 % при незначительном снижении рабочего напряжения на электролизерах. Внедрение системы АПС позволяет снизить расход технологической электроэнергии на 1,54% и частоту анодных эффектов на 74 %.

Библиографический список

1. На НкАЗе началось внедрение технологии ЭкоСодерберг / Новости компаний / Экология производства - научно-практический портал (ecoindustry.ru) - URL : <https://www.ecoindustry.ru/news/company/view/47706.html?ysclid=lugn88fp5u976003964>.

2. РУСАЛ перейдёт на экологичные технологии / Избавление от углеродного следа - URL : <https://www.liveinternet.ru/tags/%DD%EA%EE%F1%EE%E4%E5%F0%E1%E5%F0%E3/page1.html>.

3. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Справочник по технологии и оборудованию / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2009. – 251 с.

4. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация : учеб. пособие / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. - М. : Флинта : Наука, 2008. - 239 с.

5. Производство алюминия на электролизерах С-2(Э), С-3(Э) с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом: Временная технологическая инструкция ВТИ 451.01.06. – Красноярск : РУСАЛ ИТЦ, 2022. - 59 с.

6. Электролизер С-2(Э), С-3(Э). Управление технологическим процес-

УДК 669.187:621.921.3(07)

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОКОРУНДА МАРКИ ЭХН

Сюльдина С.А., Безрукова Е.С., Комарова А.В., Полях О.А.

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

С конца XIX века применяются искусственные абразивные материалы. В настоящее время абразивные материалы применяются в процессах шлифования, полирования, хонингования, широко применяются в заготовительном производстве и т.д. Одним из самых высокоустойчивых и механически прочных абразивов является электрокорунд. В данной работе рассмотрены особенности производства электрокорунда марки ЭХН и подготовки исходных материалов для его производства.

Ключевые слова: хроматистый электрокорунд, электрокорунд марки ЭХН, шихта, вращающиеся трубчатые печи, тепловая сушка.

Электрокорунд – это искусственная порода, получаемая путём электрического плавления оксида алюминия (Al_2O_3). Он обладает высокой устойчивостью к химическим, температурным и климатическим воздействиям, обладает хорошей вязкостью и механической прочностью [1]. Чрезвычайно твёрдый материал, уступающий по минералогической шкале твердости Мооса только алмазу, получил применение при изготовлении шлифовальных инструментов, в стекольном и иных производствах. Так же электрокорунд применяется в производстве керамических изделий, электроники, термостойких материалов, изоляторов, для изготовления высокоогнеупорных и кислотоупорных изделий, выдерживающих температуру до $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

Получают электрокорунд плавкой технического глинозёма в электрических дуговых печах. По особенностям производственной технологии и содержания Al_2O_3 , наиболее часто используют три основных классификации материала:

1. Алунд – нормальный электрический корунд с характерной коричневой расцветкой, содержащий порядка 93 % Al_2O_3 , что придает ему высокую прочность и долговечность. Применяется для шлифования металлических изделий.

2. Корракс – белый. Примесей алюминиевой окиси в нем около 98%. Применяется в работе с нержавеющей и обычной сталью, используется для пескоструйной обработки зеркал и стекол и т.д.

3. Технический рубин – хромистый электрокорунд (ЭХН). Данная марка получается при плавлении глинозема с добавлением оксида хрома

(практически всегда количество оксида составляет около двух процентов) и имеет розово-красный оттенок. Это увеличивает его прочность и твердость, которая может дополняться и усиливаться оксидом титана [3]. Легирование позволяет повысить твердость (до 2300 килограмм силы на миллиметр). Электрокорунд марки ЭХН широко применяется для шлифовки, полировки, резки и других видов обработки материалов, таких как металлы, керамика, стекло и др.

При сравнении электрокорунда марки ЭХН и белого, последний немного проигрывает в абразивной способности зерна и в механической прочности. Причиной изменения микроструктуры и свойств материала является наличие в электрокорунде марки ЭХН твёрдого раствора хрома. При увеличении стандартной пропорции в 2 %, электрокорунд хромистый приобретает более насыщенную окраску, хотя механическая прочность снижается, а абразивная способность – возрастает [4]. Постоянство физико-химических свойств и высокое содержание монокристаллов так же выгодно отличает хромистый электрокорунд от других абразивных материалов. Существуют исследования, подтверждающие факт, что светоотражательная способность обработанных хромистым электрокорундом поверхностей значительно улучшается [5]. Наиболее распространенными считаются такие марки хромистого электрокорунда, как 32А, 33А и 34А, каждая из них получается путем плавки глинозема с добавлением оксида хрома.

Подготовленный материал (шихту), состоящий из 97 % технического глинозема, 3 % кварцевого песка и тонко измельчённого порошка оксида хрома помещают в электродуговую печь, источником тепловой энергии в которых является электрическая дуга [6]. В результате концентрированного выделения энергии в малых объемах в дуговых печах достигаются достаточные температуры, необходимые для плавления шихт на основе тугоплавкого оксида алюминия. Заметное взаимодействие оксида хрома с оксидом алюминия начинается при температуре 600 °С. Практически полная перестройка структуры вещества происходит в интервалах температур от 1000 °С до 1100 °С. Электрическая дуга обеспечивает большую скорость нагрева, высокую производительность установок и требуемую чистоту выплавляемых изделий. Помимо шихты, для плавки используют дробленый производственный возврат (бракованные отливки, литники) и привозной чистый корундовый бой.

Шихту готовят, смешивая сухие компоненты на смесительных бегунах в течение 30 – 40 мин. Подготовка шихты – это один из ключевых моментов производства марки ЭХН. Для обеспечения стабильности и воспроизводимости процесса, существует ряд определенных требований, предъявляемых к шихте:

- постоянство химического состава;
- оптимальный размер компонентов, из которых состоит шихта;
- однородность состава;
- показатель влажности должен отвечать оптимальным параметрам [7].

Погружать материал с высоким содержанием влаги в обжиговые печи нецелесообразно, так как наличие большого количества влаги не способствует получению качественного продукта. Для обеспечения оптимальных условий сушки шихты используются вращающиеся трубчатые печи – барабанные сушилки. Тепловая сушка, или просто сушка, представляет собой процесс удаления влаги из твердых кварцевого песка и глинозёма. Эти устройства позволяют равномерно и быстро высушить шихту перед ее последующей обработкой. Характерной особенностью процесса сушки является переход влаги материала из жидкой фазы в газообразную при испарении.

В большинстве своем барабанные сушилки представляют собой длинный стальной цельносварной цилиндрический цилиндр, установленный под углом 1-4° в сторону разгрузки. Обрабатываемый материал и горячие газы внутри которых, как правило, движутся встречно-параллельно. Труба имеет наклон для того, чтобы частички нагреваемого материала при вращении поднимались на небольшую высоту и падая, сдвигались вниз. Благодаря такому передвижению по трубе, шихта перемешивается и равномерно разогревается, дополнительно получая тепло от разогретого корпуса печи. Обогрев печи осуществляется топочными газами, образующимися за счет сжигания газообразного или жидкого топлива в стационарных топках. Температура газов на входе допускается до 1000–1100 °С (стандартно 700–800 °С), на выходе составляет 70–120 °С. Подсушенная шихта содержит 4 – 6 % влаги [8]. Благодаря барабанным сушилкам процесс производства становится более эффективным и экономичным, что в конечном итоге влияет на качество и характеристики электрокорунда марки ЭХН.

Электрокорунд марки ЭХН благодаря уникальным физико-химическим свойствам имеет широкую область применения в различных отраслях промышленности. Плавление шихты и подготовка исходных материалов требует высокой квалификации специалистов и применения современных технологий. Каждый этап производственного процесса должен быть тщательно контролируем, чтобы обеспечить высокое качество конечного продукта. Только таким образом можно гарантировать надежность и долговечность электрокорунда марки ЭХН на рынке.

Библиографический список

1. Донской, А. В. Электротермия / А. В. Донской, С. М. Куляшов. – Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1961. – 264 с.
2. Дятлов, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров / Е. М. Дятлов, Ю.А. Климош. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2014. - 226 с.
3. Электрокорунд: виды, свойства и применение // URL: <https://opt6.ru> (дата обращения: 26.03.2024).
4. Сюльдина, С.А. Совершенствование технических мероприятий по организации производства электрокорунда марки ЭХН / С.А. Сюльдина, О.А. Полях // Наука и молодёжь: проблемы, поиски решения. – Новокузнецк,

2023. - С. 108 – 111.

5. Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий / Н.С. Хомич. – Минск: БНТУ, 2006. – 219 с.

6. Патент "Электрокорунд и его получение" от 16.04.2007 № RU 2347766 // ФС по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 27.02.2009.

7. Витюгин В.М., Кояин В.В., Верещагин В.И., Иванов Г.Ф., Поддубняк Н.И. Исследование влияния предварительной термической обработки сырьевой шихты на процесс образования хромистого электрокорунда // Известия Томского политехнического института. – 1974. – Т. 234. – С. 12 – 13.

8. Трубчатые вращающиеся печи // URL: <https://metallplace.ru/> (дата обращения: 26.04.2024).

УДК 662.741.355

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА С УВЕЛИЧЕНИЕМ ОБЪЕМА ФОРКАМЕРЫ

Ядыкина М.А., Хорощенко А.А., Комарова А.В., Полях О.А.

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

В данной статье рассматривается вопрос модернизации установки сухого тушения кокса с увеличением объема форкамеры. Обсуждаются преимущества данного подхода, включая повышение эффективности процесса тушения, снижение вредных выбросов и увеличение срока службы оборудования. Основное внимание уделяется техническим аспектам модернизации и их влиянию на общую производительность установки.

Ключевые слова: Модернизация, установка сухого тушения кокса, форкамера, эффективность, выбросы, срок службы оборудования, технические аспекты, производительность, кокс, тушение.

Введение

В современном индустриальном производстве модернизация оборудования является необходимым шагом для повышения эффективности процессов и соблюдения экологических стандартов. В рамках данного исследования рассматривается модернизация установки сухого тушения кокса с акцентом на увеличение объема форкамеры, что позволяет лучше контролировать процесс тушения и снижать вредные выбросы [1].

Тема модернизации установки сухого тушения кокса с увеличением объема форкамеры является чрезвычайно актуальной в современном мире, где все больше внимания уделяется экологической безопасности, энергоэффективности и уменьшению негативного воздействия производства на окружающую среду.

Развитие новых технологий, направленных на оптимизацию процессов

в промышленности, имеет стратегическое значение для улучшения устойчивости производства и соблюдения экологических стандартов.

Основное внимание в данной работе уделено исследованию влияния увеличения объема форкамеры на процессы тушения кокса с точки зрения экологической эффективности. Подробное изучение данного аспекта позволяет выявить новые методы оптимизации и снижения вредного воздействия промышленных процессов на окружающую среду [1,2].

Это исследование может стать отправной точкой для разработки более эффективных и экологически безопасных технологий в области производства кокса и других подобных процессов. Акцент на экологической устойчивости и энергоэффективности является ключевым элементом научной новизны данного исследования.

Значимость увеличения объема форкамеры

Увеличение объема форкамеры означает увеличение пространства, предназначенного для процесса тушения кокса, позволяет более эффективно контролировать процесс тушения, поскольку больший объем позволяет более равномерно распределять тушащую смесь по объему кокса. Это приводит к более быстрому и эффективному тушению [1,3].

Также следует особо отметить возможность контроля и минимизации выбросов вредных веществ благодаря увеличению объема форкамеры, что оказывает большое влияние на снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Влияние увеличения объема форкамеры на процесс тушения

Технические аспекты модернизации также играют важную роль. Увеличение объема форкамеры в процессе тушения кокса оказывает ощутимое влияние на эффективность и качество производства.

Повышение качества продукции. Увеличение объема форкамеры позволяет более равномерно распределить тепловую нагрузку на коксующийся материал. Это приводит к более качественному и равномерному тушению кокса, что в конечном итоге улучшает качество производимого кокса.

Снижение энергозатрат. Благодаря увеличению объема форкамеры можно оптимизировать тепловые процессы и уменьшить потребление энергии на процесс тушения. Это не только экономически целесообразно, но также снижает воздействие производства на окружающую среду.

Повышение безопасности процесса. Увеличение объема форкамеры позволяет создать более стабильные условия работы установки, что уменьшает риск возможных аварий и нештатных ситуаций, а также повышает безопасность для персонала.

Улучшение контроля над процессом. Большой объем форкамеры обеспечивает более точный контроль параметров тушения кокса. Это позволяет операторам более эффективно регулировать процесс, принимать оперативные решения и предотвращать возможные проблемы в производстве.

Таким образом, увеличение объема форкамеры в установке сухого тушения кокса не только оптимизирует процесс производства, но и приводит к

улучшению качества продукции, снижению энергозатрат, повышению безопасности и усилению контроля над производственными процессами [4,5].

Заключение

Модернизация установки сухого тушения кокса с увеличением объема форкамеры представляет собой важный шаг на пути к улучшению экологической эффективности производства, повышению безопасности процессов и общей эффективности работы предприятий. Непрерывное совершенствование технологий и оборудования важно для сокращения отрицательного воздействия на окружающую среду и обеспечения устойчивого развития промышленности. Это не только улучшает производительность установки, но и способствует снижению воздействия на окружающую среду [6,7].

Библиографический список

1. Спирин, Н.А. Сухое тушение: чистая технология в производстве кокса. – Springer, 2012. – С. 45-67.
2. Ван, Ц., Ма, Л., Гао, Дж., Лю, Ю. Технология сухого тушения кокса: от внедрения до применения в Китае. – Springer, 2016. – С. 123- 145.
3. Система сухого тушения кокса (CDQ) на коксовом заводе. – Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, 2013. – С. 1-20.
4. Повышение энергоэффективности коксового завода. – Европейская Комиссия, 2009. – С. 75-90.
5. Ван, К., Ма, Л., Гао, Дж., Лю, Ю. Сухое тушение кокса (CDQ) и утилизация отходящего тепла для производства электроэнергии. – Springer, 2017. – С. 167-185.
6. Энергосберегающая технология сухого тушения кокса (CDQ) для процесса производства стали. – Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, 2015. – С. 1-15.
7. Энергоэффективность и сокращение выбросов CO₂ в черной металлургии. - Всемирная ассоциация стали, 2013. – С. 25-40.

УДК 669.715.017.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ

Полунин А.М., Ломиворотов Н.П., Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandr2025@mail.ru*

В работе исследованы особенности теплового расширения высоколегированных медистых силуминов с 20 и 30 % кремния, легированных медью в количестве до 50 %. Установлено, что высокое содержание меди в сплавах значительно уменьшает склонность тройных сплавов Al-Si-Cu к изменению размеров при нагреве. Наиболее низкие и стабильные значения ТКЛР имеют сплавы, легированные медью в количестве более 20%.

Ключевые слова: заэвтектические силумины, температурный коэффициент линейного расширения, медь, кремний

Медь является одним из наиболее важных легирующих элементов алюминиево-кремниевых сплавов. Медь необходима для повышения прочности силуминов за счет увеличения их восприимчивости к упрочняющей термической обработке [1–3]. Алюминиевые сплавы по своей природе обладают высоким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР). Медь способствует снижению ТКЛР силуминов до значений близких к сталям и другим специальным сплавам. Низкое значение ТКЛР очень важно для изучения и создания новых функциональных сплавов на основе алюминия [4–9].

Промышленные алюминиевые сплавы содержат от 4,5 до 10 % Cu [10], их структура и свойства хорошо изучены, в отличие от особенностей структуры высокомедистых силуминов [11–13]. Поэтому дилатометрические исследования тройных сплавов с содержанием меди, многократно превышающим предел ее растворимости в алюминии, являются значимыми для расширения представлений о структурообразовании легированных силуминов. Поэтому в данной работе было проведено определение величины температурного коэффициента линейного расширения медистых силуминов.

Составы сплавов, условия их выплавки и методика исследования были подробно описаны в работе [14].

В результате дилатометрического исследования было установлено, что медь в количестве 2, 4, 15 % снижает ТКЛР в интервале температур 50–250 °С (таблица 1). Однако легирование медью в количестве 2–15 % приводит к формированию аномалии линейного расширения в интервале температур 250–350 °С, которая выражается в резком увеличении значений ТКЛР в узком температурном интервале. При более высоких температурах испытания 350–450 °С вновь наблюдается снижение ТКЛР, что согласуется с данными о влиянии меди на жаропрочность алюминиевых сплавов [1].

Сравнительный анализ изменения средних значений ТКЛР в интервале 50–250 °С показал, что введение 2 % меди в сплав Al–20% Si приводит к снижению ТКЛР с $\bar{\alpha}_{50-150} = 18,7 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ у двойного сплава до значений $\bar{\alpha}_{50-150} = 18,1 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Увеличение содержания меди в сплаве до 4 % и 15% приводит к дальнейшему снижению ТКЛР до значений $\bar{\alpha}_{50-150} = 18,0 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ и $\bar{\alpha}_{50-150} = 16,9 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ соответственно. Важно, что увеличение содержания меди в сплаве до 15 % устраняет аномалию линейного расширения в интервале температур 250–350 °С, характерную для сплавов с 2 и 4% меди.

Увеличение меди до 20 % приводит к стабилизации значений ТКЛР в температурном интервале 50–250 °С. Кроме того, легирование медью в больших количествах устраняет аномалию линейного расширения. Были вычислены средние значения ТКЛР в интервале температур 50–250 °С при легировании большими добавками меди. Установлено, что введение меди в ко-

личестве 20 и 30 % снижает значения среднего ТКЛР соответственно до $\bar{\alpha}_{50-250} = 14,4$ и $14,2 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$.

Таблица 1– Влияние меди на ТКЛР сплава Al–20 % Si

Содержание меди в сплаве, %	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ град $^{-1}$ при температуре испытания, °C								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
-	17,4	18,2	18,7	19,2	20,1	19,2	17,2	17,4	11,3
2	16,5	17,4	17,8	18,8	20,1	21,7	20,7	20,1	19,5
4	16,7	17,7	18,0	18,1	19,4	24,4	21,6	17,6	15,4
15	16,4	16,8	16,9	17,2	17,4	17,7	20,1	17,2	15,5
20	13,6	14,6	14,6	14,6	14,4	15,1	15,7	15,9	16,3
30	10	13,5	14,4	14,6	16,3	16,6	16,8	17,2	17,5
40	8,5	9,3	9,9	10,5	10,9	11,1	12,0	13,3	14,2
50	5,3	5,7	6,2	7,0	7,1	7,3	7,4	8,6	8,8

Анализ полученных средних значений позволяет утверждать, что наиболее низкие значения ТКЛР в интервале температур испытания 50–250 °C (рабочем интервале приборной техники) имеет сплав Al – 20 % Si, легированный 50 % меди, средний ТКЛР которого равен $\bar{\alpha}_{50-250} = 6,3 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$ (рисунок 1).

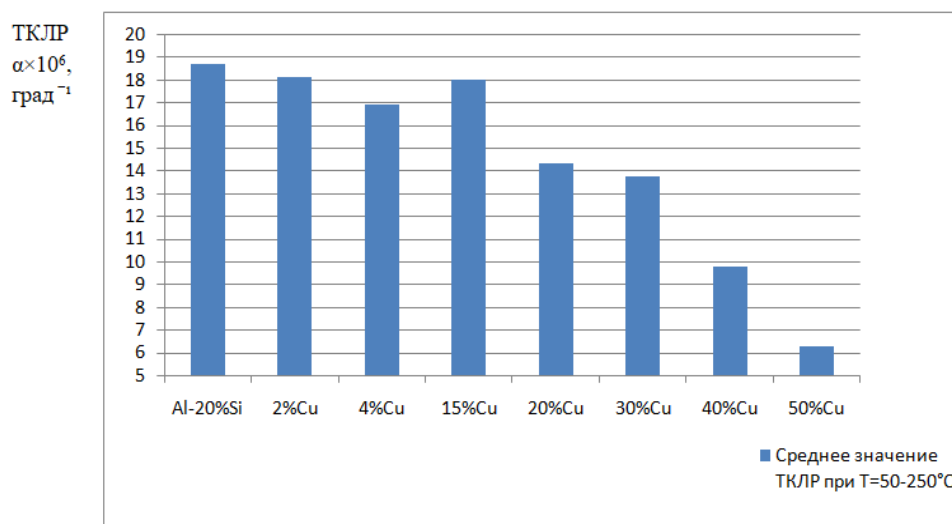


Рисунок 1 – Среднее значение ТКЛР сплавов Al-20% Si-(2÷50)% Cu в интервале температур 50-250 °C

Было изучено влияние легирования медью на ТКЛР сплавов системы Al – 30 % Si – Cu (таблица 2). Как видно из табличных данных, наиболее низкие и стабильные значения ТКЛР в интервале 50÷200 °C имеют сплавы, легированные медью в количестве более 20 %.

Таблица 2 – Влияние меди на тепловое расширение сплава Al–30 % Si

Содержание меди в сплаве, %	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ град ⁻¹ при температуре испытания, °C								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
-	14,0	15,4	15,9	16,6	17,2	18,2	18,2	17,1	16,5
20	12,5	12,3	12,4	12,5	12,0	11,9	12,2	12,4	11,4
30	6,0	6,3	6,3	6,4	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9
40	6,1	6,2	6,2	6,2	7,2	7,5	7,6	7,8	8,0

Увеличение меди в сплаве до 30 и 40 % приводит к еще более значительному снижению ТКЛР до $(6,0-6,4) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ во всем интервале температур испытаний. Значения ТКЛР в интервале испытаний 50–200 °C не только малые, но и стабильные: $(6,0-6,4) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Однако увеличение содержания меди до 40 % не только не приводит к дальнейшему снижению значений ТКЛР в низкотемпературном интервале испытаний, но наблюдается его повышение в высокотемпературном интервале испытаний 300–450 °C.

ТКЛР в рабочем интервале температур 50–250 °C при легировании медью 20 % составляет $\bar{\alpha}_{50-250} = 12,3 \times 10^{-6}$ град⁻¹ (рисунок 2). Введение меди в количестве 30 % дает средние значения ТКЛР $\bar{\alpha}_{50-250} = 6,3 \times 10^{-6}$ град⁻¹. Медь, введенная в сплав в количестве 40 %, снижает средний ТКЛР до $\bar{\alpha}_{50-250} = 6,4 \times 10^{-6}$ град⁻¹. Исходя из средних значений, можно сказать, что легирование медью в количестве 30 % дает наименьшие значения ТКЛР для сплава Al – 30% во всем интервале температур испытания: $\bar{\alpha}_{50-250} = 6,3 \times 10^{-6}$ град⁻¹; $\bar{\alpha}_{300-450} = 6,7 \times 10^{-6}$ град⁻¹.

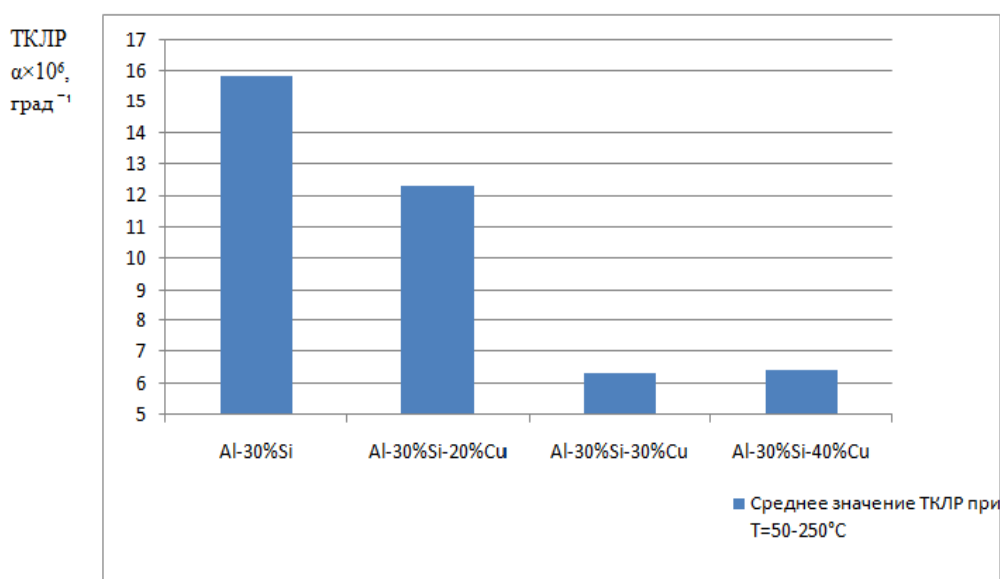


Рисунок 2 – Средний ТКЛР сплавов Al–30% Si–(20÷40) % Cu в интервале 50–250 °C

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить следующие особенности теплового расширения высоколегированных медистых силуминов с 20 и 30 % кремния: для обеспечения низких и стабильных значений ТКЛР силумины должны быть легированы медью в количестве равном или превышающем содержание кремния в сплаве.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва : Металлургия, 1977. – 272 с.
2. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. – Москва : Металлургия, 1979. – 640 с.
3. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – 4-е изд. – Москва : МИСИС, 2005. – 432 с.
4. Афанасьев В.К. Тепловое расширение сплавов Al-Cu после обработки расплава и термообработки / В.К. Афанасьев, М.А. Малюх, М.В. Попова, В.А. Лейс, С.В. Долгова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 2 (71). – С. 87-94.
5. Афанасьев В.К. О возможности получения легких инваров на основе системы Al-Si-Cu / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2021. – С. 154-158.
6. Афанасьев В.К. Особенности структурообразования и свойства высоколегированных сплавов специального назначения системы Al-Si-Cu / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2022. – № 11 (809). – С. 48-53.
7. Афанасьев В.К. Влияние меди на линейное расширение алюминиевых и кремниевых сплавов / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, Н.Б. Лаврова, Г.Г. Мажитова, М.В. Попова, В.А. Самонь // Современные материалы. – 2013. – № 4. – С. 16-19.
8. Попова М.В. Совместное влияние легирования и условий кристаллизации на технологичность и тепловое расширение литых алюминиевых сплавов / М.В. Попова, М.А. Малюх, Н.Б. Лаврова // Материаловедение в машиностроении. – 2017. – № 4. – С. 112-118.
9. Малюх М.А. Влияние меди на линейное расширение алюминиевых сплавов Al-Si / М.А. Малюх, М.В. Попова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – 2017. – № 2. – С. 304-307.
10. Алиева С.Г. Промышленные алюминиевые сплавы / С.Г. Алиева. – Москва : Металлургия, 1984. – 526 с.
11. Афанасьев В.К. О возможности получения легких инваров на основе системы Al-Si-Cu / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Метал-

лургия: технологии, инновации, качество: труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2021. – С. 154-158.

12. Афанасьев В.К. Особенности структурообразования и свойства высоколегированных сплавов специального назначения системы Al-Si-Cu / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2022. – № 11 (809). – С. 48-53.

13. Афанасьев В.К. Влияние меди на структуру и тепловое расширение сплавов Al – 40% Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // *Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXIII Международной научно-практической конференции.* В 2-х частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2022. – С. 379-385.

14. Полунин А.М. Особенности металлографии и тепловое расширение медистых силуминов / А.М. Полунин, М.В. Попова // *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Технические науки. Часть I.* – Новокузнецк. – 2023. – С. 240–244.

УДК 669.715'788.017

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНА С 15% SI ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: pddcull100@mail.ru*

Исследовано влияние различных способов введения водорода в расплав, а также влияние последующего нагрева в интервале 80–450 °С. Установлено, что из всех изученных режимов термообработки наибольшее влияние на снижение ТКЛР сплава Al-15%Si оказывает нагрев при температуре 300-350 °С с последующим охлаждением на воздухе.

Ключевые слова: силумин, расплав, наводороживание, нагрев, тепловое расширение.

В настоящее время для силуминов Al-15% Si существуют различные модифицирующие виды обработки, которые предусматривают обработку расплава газообразными веществами [1–7]. Это способствует не только диспергированию структурных составляющих и, следовательно, улучшению механических характеристик сплавов, но и оказывает наследственное влияние на их физические свойства, в частности, на тепловое расширение [8–10]. Величина теплового расширения является одной из важнейших характери-

стик алюминиевых сплавов, применяемых в двигателестроении [11, 12].

В связи с этим целью данной работы было изучение влияния обработки расплава и последующей термической обработки на температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) силумина Al-15% Si. Обработка расплава предусматривала различные методы наводороживания расплава: обработка влажным асбестом, выстаивание в атмосфере водяного пара (АВП) и продувка водородом. После всех величину видов обработки и отстаивания расплава в течение 5 минут, проводили заливку в холодный алюминиевый кокиль (скорость охлаждения $\sim 60\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$).

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) определяли с помощью дифференциального оптического дилатометра Шевенара в интервале температур $50\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Металлографические исследования позволили установить, что наилучший эффект модифицирования структуры обеспечивает продувка водородом. Положительный эффект наводороживания расплава зависит как от правильного выбора способа введения водорода в расплав и длительности обработки расплава, так и от температуры наводороживания. Поэтому исследовали влияние температуры наводороживания $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (время наводороживания 10 минут) на значения ТКЛР.

Установлено, что наводороживание по обоим изученным режимам приводит к снижению ТКЛР в интервале температур испытания $50\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$, но при более высоких температурах испытания ($400\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$) существенно повышает ТКЛР до значений $\alpha = 21,1 - 21,6 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ (таблица 1). Однако наводороживание расплава при температуре $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, более существенно снижает ТКЛР сплава Al-15% Si при низких температурах испытания $50\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$, вплоть до значений $(15,7\text{--}17,2) \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$, тогда как у сплава обычного приготовления $\alpha = 18,0\text{--}18,4 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$. Таким образом, для сплава Al-15%Si лучшими параметрами модифицирующей обработки, снижающей значения ТКЛР, являются: температура продувки расплава $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, время продувки 10 минут.

Таблица 1 – Влияние температуры продувки жидкого сплава Al-15%Si на величину его ТКЛР

Т _{продувки} , °C	Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6\text{ K}^{-1}$ при температуре испытания, °C								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
–	18,0	18,4	18,5	18,8	19,0	19,3	19,7	18,5	18,0
800	17,0	18,2	18,3	18,6	18,8	20,9	21,2	21,6	20,0
900	15,7	17,2	18,2	18,8	19,4	20,9	21,2	20,7	21,1

Для изучения влияния предварительного нагрева был выплавлен сплав с обработкой по следующему режиму: наводороживание асбестовыми тампонами с последующим выстаиванием в АВП при $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 15 минут.

После выстаивания проводили заливку в холодный медный кокиль. Для предотвращения дегазации после кристаллизации горячий слиток охлаждали в холодной воде. Для образцов из наводороженного силумина проводили термическую обработку по следующим режимам: нагрев при температуре 80, 100, 150 и далее через 50 °С до 450 °С ($\tau=1$ час, воздух).

Дилатометрические исследования позволили установить, что после низкотемпературного нагрева до 80 и 100 °С с охлаждением на воздухе аномалия теплового расширения, характерная для нетермообработанного двойного сплава Al – 15% Si, наблюдающаяся в интервале температур испытания 200 – 300 °С, становится более ярко выраженной (таблица 2). Термическая обработка при температурах 150 и 200 °С также повышает аномалию теплового расширения, однако смещает ее в область более высоких температур испытания 250–300 °С.

Таблица 2 – Влияние низкотемпературного нагрева на ТКЛР наводороженного сплава Al – 15% Si

Температура нагрева, °С	Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$ при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
-	18,1	19,2	20,0	20,8	23,1	19,8	18,6	18,0	17,8
80	17,1	18,8	19,1	19,8	25,2	22,5	20,5	19,7	18,6
100	18,0	19,4	20,0	21,3	27,3	22,9	20,7	19,1	17,2
150	17,1	18,8	19,7	20,5	24,7	25,6	20,7	18,8	18,0
200	18,1	19,2	19,7	20,8	21,8	24,7	21,5	17,3	16,5

Нагрев при более высоких температурах 250–400 °С более заметно влияет на ТКЛР наводороженного силумина, способствуя уменьшению аномалии теплового расширения, и смещает ее в более высокотемпературную область (таблица 3).

Кроме того, высокотемпературный нагрев в большей степени снижает ТКЛР при низких температурах испытания. Анализируя полученные данные, можно заключить, что наиболее эффективное влияние на снижение ТКЛР наводороженного сплава Al-15%Si практически при всех температурах испытания, в том числе и в интервале аномалии теплового расширения, оказывает нагрев при температуре 300-350 °С с последующим охлаждением на воздухе.

Установлено, что термическую обработку при температурах выше 350 °С проводить нецелесообразно, поскольку не происходит снижения значений ТКЛР ни при низких, ни при высоких температурах испытания (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние средне- и высокотемпературного нагрева на ТКЛР наводороженного сплава Al – 15% Si

Температура нагрева, °С	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$ при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Исходный	18,1	19,2	20,0	20,8	23,1	19,8	18,6	18,0	17,8
250°С	16,7	17,5	18,7	19,2	20,1	20,0	18,9	17,7	17,7
300°С	16,8	18,4	19,3	20,3	21,3	21,4	20,7	18,8	17,1
350°С	16,8	18,4	19,3	20,0	21,0	21,7	19,9	18,3	16,3
400°С	17,8	18,6	20,0	20,8	22,1	23,2	20,7	20,5	16,2
450°С	17,4	19,0	20,0	20,8	21,3	22,0	21,2	16,9	16,3

Заключение. Установлено, что после обработки расплава влажным асбестом с последующим выстаиванием в атмосфере водяного пара при 750 °С в течение 15 минут, сплав Al–15% Si имеет ТКЛР при низких температурах испытания 50–150 °С $\bar{\alpha}_{50-150} = 19,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Из всех изученных режимов термообработки наибольшее влияние на снижение ТКЛР предварительно наводороженного сплава Al-15%Si оказывает нагрев при температуре 300-350 °С с последующим охлаждением на воздухе. Происходит уменьшение ТКЛР до значений $\bar{\alpha}_{50-150} = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Библиографический список

1. Борисов Г.П. О роли водорода в формировании структуры и свойств алюминиевых сплавов // *Металлургия машиностроения*. – 2005. – № 5. – С. 11–20.
2. Гольцова М.В. Водородные технологии в литье и металлургии: настоящее и будущее / М.В. Гольцова // *Литье и металлургия*. – 2018. – №4 (93). – С. 145–154.
3. Афанасьев В.К. О влиянии водяного пара на формирование свойств высококремнистых Al-сплавов / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, С.В. Долгова, Ю.М. Мусохранов, М.В. Попова // *Металлургия машиностроения*. – 2015. – № 5. – С. 17–21.
4. Афанасьев В.К. Об участии водорода в формировании свойств заэвтектических сплавов Al-Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх, С.В. Долгова // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2018. – Т. 20. – № 2. – С. 63-74.
5. Афанасьев В.К. Водород и деформируемые сплавы Al – 1÷50 % Si / В.К. Афанасьев, М.Н. Чурик, М.В. Попова [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 354 с.
6. Афанасьев В.К. Воздействие водорода на структуру и свойства заэвтектического силумина с 15% кремния / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.Н. Прудников // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2022. – № 6 (804). – С. 10–16.

7. Афанасьев В.К. Водород – легирующий элемент алюминиевых сплавов / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.В. Зезиков, А.В. Горшенин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 36–39.

8. Ушакова В.В. О влиянии обработки расплава на линейное расширение сплавов Al -20÷40% Si / В.В. Ушакова, М.В. Попова, З.А. Лузянина // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1995. – № 4. – С. 69.

9. Попова М.В. Наследственное влияние обработки шихты и расплава на терморасширение заэвтектических силуминов / М.В. Попова, А.А. Ружило // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 4-6.

10. Афанасьев В.К. Влияние обработки расплава водяным паром на тепловое расширение сплавов Al – 20...40% Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, С.В. Долгова, А.В. Горшенин, М.А. Малюх // Металлург. – 2019. – № 1. – С. 71–76.

11. Гопиенко В.Г. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / В.Г. Гопиенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин. – Москва : Металлургия, 1993. – 320 с.

12. Макаров А.Р. Конструкционные материалы для поршней ДВС / А.Р. Макаров, С.В. Смирнов, С.В. Осокин [и др.] // Известия МГТУ «МАМИ». – №1 (15). – 2013. – т.1. – С. 118–125.

УДК 669.017.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ В ВЫСОКОМАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ ЛИТЬЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**Тептерев М.С., Арышенский Е.В., Рагазин А.А.,
Бахтегареев И.Д., Арышенский В.Ю.**

*Самарский университет,
г. Самара, e-mail: maksim.tepterev@samara-metallurg.ru*

Данное исследование посвящено изучению влияния гафния и эрбия в высокомагниевого алюминиевых сплавах экономно легированных скандием на механические свойства после литья и термической обработки. В работе производилась термическая обработка сплавов при температурах 370 °С и 440 °С с выдержкой в течение 4 часов. Установлено, что добавки гафния и эрбия повышают механические свойства сплавов, однако излишнее легирование этими элементами приводит к их снижению, за счет образования первичных интерметаллидов.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, легирование, скандий, гафний, термическая обработка, механические свойства.

Алюминиевые деформируемые сплавы системы Al-Mg широко распространены в современной промышленности. Они обладают хорошей коррозионной стойкостью, высокой прочностью и свариваемостью, которые нашли широкое применение в автомобильной, авиастроительной, и аэрокосмической промышленности в качестве конструкционных материалов [1-3]. Для улучшения механических свойств в сплавы серии 5xxx добавляют переходные металлы. Наиболее распространены в современной промышленности Sc и Zr, имеющие малую растворимость в Al (0,2...0,3 %), служат наиболее эффективными модификаторами литой структуры, значительно повышают температуру начала рекристаллизации деформированных сплавов и тем самым обуславливают существенное структурное упрочнение многих современных промышленных алюминиевых сплавов [3]. Данные эффекты обеспечиваются выделением при термической обработке из пересыщенного твердого раствора наноразмерных дисперсоидов фаз Al_3Sc и Al_3Zr с $L1_2$ структурой. [4-6]. Одним из распространённым в промышленности в данной серии является сплав 01570 с содержанием скандия 0,22-0,3 % [7]. Однако, высокая стоимость Sc и низкая термическая стабильность значительно сдерживает широкое применение в промышленности разработанных к настоящему времени Al-Mg-Sc сплавов, поэтому перспективным направлением является исследование сплавов системы Al-Mg экономнолегированных скандием микролегированных другими переходными элементами. Поэтому для дальнейшего снижения содержания в сплавах дорогостоящего скандия недавно был разработан сплав 1590 содержание скандия, которого варьируется в пределах 0,06-0,16 % [8]. Уменьшение содержания скандия достигается путем введения в данный сплав, помимо циркония, еще гафния и эрбия. Гафний, способствует термостабилизации частиц Al_3Sc [9]. Эрбий выделяется в виде наночастиц Al_3Er , которые не оказывают такого сильного влияния на упрочнение как Al_3Sc , однако играют роль зародышей для последних, тем самым увеличивая их общее количество. Целью исследования является исследование влияние малых добавок гафния и эрбия после литья и при термической обработке на механические свойства в сплаве 1590.

Изготовление сплавов проводилось в индукционной печи средней частоты с последующей отливкой слитка в стальной кокиль, масса слитка составила 5 кг. В качестве шихты для сплавов использовались следующие материалы: первичный алюминий марки А85, первичный магний марки МГ90, цинк марки Ц1, лигатуры марок Al-Zr5%, Al-Sc2%, Al-Mn10%, Al-Er5%, Al-Hf2%. Присадка лигатур осуществлялась при температуре 770-780 °С с последующей выдержкой 5 мин для лучшего усвоения. Далее расплав охлаждался до температуры 740 °С для присадки магния и цинка. После присадки всех легирующих компонентов производился съём шлака с поверхности расплава и отбор пробы для определения химического состава сплава. Химический состав сплавов представлен в таблице 1.

Для очистки расплава от водорода и неметаллических включений перед отливкой слитка, расплав рафинировался карналлитовым флюсом мас-

сой 20 г. Температура литья составляла 720–740 °С. После охлаждения слиток извлекался из стального кокиля и помещался в емкость с водой. Исследование химического состава проводилось методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Погрешность измерений составляла от 0,0015 до 0,03 % в зависимости от содержания элемента.

Таблица 1 - Химический состав сплавов марок 1590, 1599-3, 1590-4, 1599

Сплав	Массовая доля элементов, %								
	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Zr	Sc	Er	Hf
1590	0,05	0,08	0,41	5,55	0,21	0,10	0,14	0,1	0,05
1590-3	0,05	0,08	0,41	5,58	0,20	0,10	0,14	0,03	0,16
1590-4	0,04	0,07	0,41	5,57	0,20	0,10	0,14	0,10	0,10
1599	0,04	0,08	0,41	5,53	0,20	0,09	0,07	0,06	0,10

Термообработка слитков происходила за счёт отжига в электрической муфельной печи при температурах 370 и 440 °С с выдержкой в 4 часа с дальнейшим определением механических свойств на образцах. Для определения механических свойств в испытаниях исследуемых алюминиевых сплавов на универсальной испытательной машине (Zwick / Roell Z050) был осуществлён ряд испытаний на одноосное растяжение в соответствии с ISO 6892-1 при комнатной температуре. Размеры образцов выбирались в соответствии с DIN 50125. Расчеты получаемых в результате испытаний свойств, а именно, предела текучести ($\sigma_{0,2}$), предела прочности (σ_B) и относительного удлинения (δ), были проведены в соответствии с ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 11150-84.

На рисунке 1 представлены механические свойства образцов из сплавов 1590, 1599-3, 1599-4, 1599 после литья.

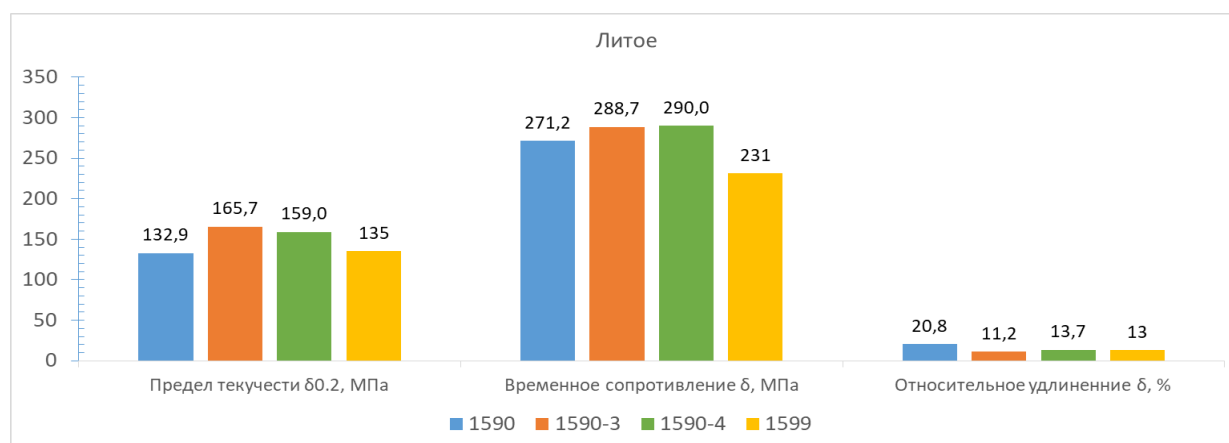


Рисунок 1 – Механические свойства литых образцов из сплавов марок 1590, 1599-3, 1599-4, 1599 в литом состоянии

Исходя из рисунка №1 выявлено, что максимальный предел прочности выявлен в сплаве 1590-4 и составляет 290 МПа, что объясняется максимальным легированием сплава гафнием и эрбием в количестве 0,1% масс. Ана-

логичный результат показывает сплав 1590-3, который максимально легированный гафнием в количестве 0,16 % масс. Наименьшее значение по пределу прочности выявлено, в сплаве 1599, что объясняется низким содержанием скандия, где его содержанием в 2 раза меньше, чем у аналогичных образцов. По пределу текучести испытываемые сплавы показывают аналогичные результаты, что и предел прочности.

На рисунке 2 представлены механические свойства литых образцов из сплавов марок 1590, 1599-3, 1599-4 после термической обработки при температуре 370 °С в течение 4 часов.

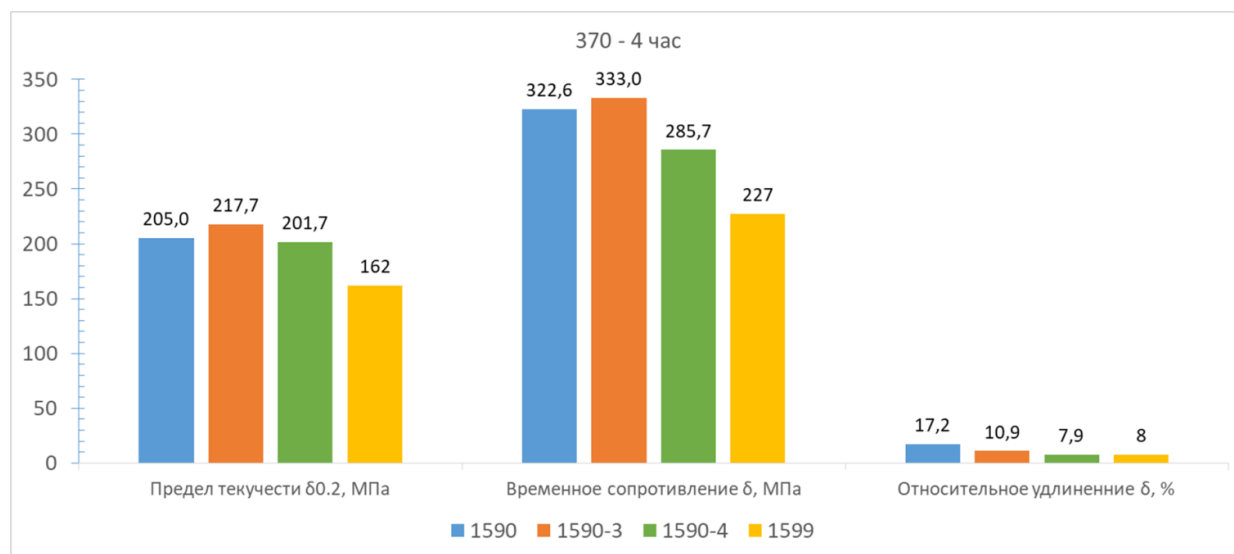


Рисунок 2 - Механические свойства литых образцов из сплавов марок 1590, 1599-3, 1599-4 после термической обработки при температуре 370 °С в течение 4 часов

После проведения термической обработки 370 °С - 4 часа, представленного на рисунке 2 наблюдается значительное повышение предела прочности и текучести в сплавах 1590, 1590-3, что можно объяснить обильным выпадением мелкодисперсных частиц типа Al₃(ПЭ), что не наблюдается в сплавах 1590-4 и в сплаве 1599. Если в сплаве 1599 можно объяснить, тем что в сплаве наименьшее содержание скандия в сплаве, который и образует эти мелкодисперсные частицы и его количество просто недостаточно, то в сплаве 1590-4 можно объяснить тем, что содержание гафния в количестве 0,1% масс. и гафния 0,1% масс. избыточно и они образовали первичные интерметаллиды, которые не участвуют дисперсном упрочнении и обедняют твердый раствор, но и являются центрами разрушения в процессе равноосного растяжения. Однако для подтверждения данной теории требуются дополнительные исследования при помощи сканирующей и просвечивающей микроскопии.

На рисунке 3 представлены механические свойства литых образцов из сплавов марок 1590, 1599-3, 1599-4 после термической обработки при температуре 440 °С в течение 4 часов.

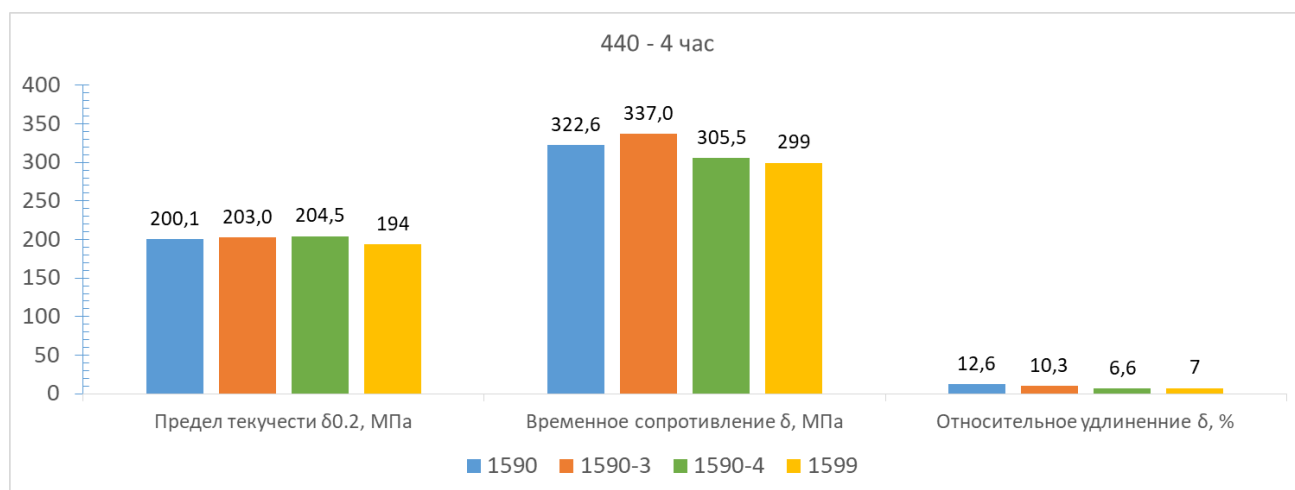


Рисунок 3 - Механические свойства литых образцов из сплавов марок 1590, 1599-3, 1599-4 после термической обработки при температуре 440 °С в течение 4 часов

С увеличением температуры отжига до 440 °С в течение 4 часов, представленного на рисунке 3 наблюдается что наибольшие показатели по пределу прочности выявлены на сплавах 1590 и 1590-3, как и при температуре 370 °С, однако наблюдается повышение механических свойств на сплавах 1599 и 1590-4 что можно объяснить началом растворения первичных интерметаллидов в сплаве 1590-4 и началом выпадения мелкодисперсных частиц $Al_3(ScZrHf)$, которым требуются более высокие температуры, ввиду низкой диффузионной активности циркония и гафния. Однако для подтверждения данной теории требуются дополнительные исследования при помощи сканирующей и просвечивающей микроскопии.

Результаты данного исследования показывают:

- наибольшие механические свойства в литом состоянии выявлены в 1590-3 и 1590-4, которые максимально легированные гафнием и эрбием;
- в ходе термической обработки наибольшие механические свойства выявлены в сплавах 1590, 1590-3 с оптимальным количеством гафния и эрбия.
- сплав 1590-4 в процессе термической обработки показывает наименьшие результаты по сравнению со сплавами 1590-3, 1590 вследствие избыточного легирования гафнием и эрбием.
- в сплаве 1599 выявлены наименьшие показатели по пределу прочности и пределу текучести сравнению со сплавами 1590, 1590-3, 1590-4 при температурах выдержки 370 °С и 440 °С, что можно объяснить низким содержанием скандия в сплаве равным 0,07 % и недостаточным для дисперсионного упрочнения.

Исследование проведено при финансовой поддержке гранта РФФ №22-19-00810.

Библиографический список

1. Фридляндер, И. Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы / И. Н. Фридляндер. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

2. Мондольфо, Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л. Ф. Мондольфо. – М.: Металлургия, 1979. – 639 с.

3. Zolotarevsky, V. S. Casting Aluminum Alloys / V. S. Zolotarevsky, N. A. Belov, M. V. Glazoff; Elsevier Science, 2007. – 544 p. – ISBN 9780080453705.

4. Fuller, C. Temporal evolution of the nanostructure of Al(Sc,Zr) alloys: Part I – Chemical compositions of Al(ScZr) precipitates / C. Fuller, J. Murray, D. Seidman // Acta Mater. – 2005. – V. 53. – P. 5401–5413.

5. Clouet, E. Excess solvent in precipitates / E. Clouet // Nature Mater. – 2018. – V. 17. – P. 1060–1061.

6. Tolley, A. Segregation in Al₃(Sc,Zr) precipitates in Al–Sc–Zr alloys / A. Tolley, V. Radmilovic, U. Dahmen // Scripta Mater. – 2005. – V. 52. – P. 621–625.

7. ГОСТ 4784-2019. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. АЛЮМИНИЙ И СПЛАВЫ АЛЮМИНИЕВЫЕ ДЕФОРМИРУЕМЫЕ. Марки

8. Aryshensky E.V., Aryshensky V.Yu., Drits A.M., Grechnikov F.V., Ragazin A.A. Thermal treatment effect on the mechanical properties of 1570, 1580 and 1590 aluminum alloys. Vestnik Samarskogo universiteta. Ajerokosmicheskaja tehnika, tehnologii i mashinostroenie [Bulletin of Samara University. Aerospace engineering, technology and mechanical engineering], 2022, vol. 21, no. 4, pp. 76-87. doi: 10.18287/2541-7533-2022-21-3-76-87

9. Hallem H., Lefebvre W., Forbord B. The formation of Al₃ (Sc_xZr_yHf_{1-x-y})-dispersoids in aluminium alloys. Materials Science and Engineering A., 2006, vol. 421, no. 1-2, pp.154-160. doi:10.1016/j.msea.2005.11.063

УДК 669.017.16

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО СТАРЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ SI И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ SC И ZR

Лапшов М.А., Тептерев М.С., Арышенский Е.В.

*Самарский университет,
г. Самара, e-mail: lapshov.m.syz@gmail.com*

Данное исследование посвящено изучению влияния искусственного старения на микротвердость и структуру алюминиевых сплавов серии Al-Mg-Si с избытком кремния, а также малыми добавками Sc и Zr. В работе проводилось искусственное старение при температуре 180 °С вплоть до 20 часов. Установлено, что искусственное старение способствует образованию упрочняющих метастабильных β''(Mg₅Si₆).

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, легирование, скандий, искусственное старение, микротвердость, просвечивающая электронная микроскопия.

В современном мире алюминиевые сплавы находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своим механическим свойствам [1]. Одними из самых распространённых алюминиевых сплавов являются сплавы системы Al-Mg-Si, которые в международной классификации относятся к бxxx серии. Данная система отличается высокими прочностными свойствами, коррозионной стойкостью и свариваемостью [2]. Эти характеристики объясняются выпадением из твердого раствора метастабильной упрочняющей фазы β'' Mg_5Si_6 , которая при дальнейшей термической обработке переходит в β' -фазу, а затем в равновесную Mg_2Si [3]. Стоит упомянуть, что массовое соотношение Mg к Si в равновесной β -фазе составляет 1,73 [4]. При добавлении данных элементов в алюминиевые сплавы в таком соотношении при равновесных условиях они будут полностью израсходованы на образование частиц Mg_2Si . Избыток таких элементов, как Si или Mg, оказывает существенное влияние на механические свойства сплава. Например, высокое содержание Si в этом сплаве существенно повышает его механические характеристики, а также снижает время искусственного старения, поскольку способствует равномерному выпадению частиц Mg_5Si_6 [5].

Дальнейшее повышение механических свойств сплава бxxx серии возможно было бы добиться за счет легирования малыми добавками переходных металлов. Малые добавки Sc позволяют повысить удельную прочность, коррозионную стойкость и деформируемость [6]. Повышение механических характеристик сплавов с малыми добавками Sc связано с формированием упрочняющих наноразмерных частиц со структурой L_{12} [7]. Помимо этого, добавки Sc позволяют измельчать литую структуру [8]. Обычно вместе со Sc используют добавки Zr, поскольку он позволяет существенно повысить термостабильность частиц Al_3Sc [8]. Следует отметить, что в данной группе сплавов в большинстве случаев скандий напрямую не влияет на повышение механических свойств. Причиной тому является взаимодействие скандия с кремнием, они образуют фазу $AlSc_2Si_2$, которая не является упрочняющей [9]. Однако, последние исследования показывают, что скандий способен оказывать косвенное положительное воздействие за счет влияния на частицы Mg_5Si_6 [10]. Цель данного исследования – изучение влияния малых добавок скандия на образование и термостабильность метастабильных упрочняющих частиц β'' Mg_5Si_6 в процессе искусственного старения в сплавах серии Al-Mg-Si.

Для проведения исследования были отлиты сплавы с соотношением Mg/Si=0,3 и 0,6, а также для сравнения базовые сплавы без легирования Sc и Zr. В качестве шихты для сплавов использовались следующие материалы: алюминий А85, магний МГ90, эталонный сплав Al12Si, а также эталонные сплавы Al-Sc2 и Al-Zr5. Температура литья составляла 720-740 °С. После этого с поверхности расплавленного металла удаляли окалину и заливали в стальную форму с равномерным временем заливки 40 с. После кристаллизации слиток извлекали из формы и охлаждали в воде, затем образцы разрезали на кубики размером 20x20x20 мм. Отливку проводили в стальную форму

для получения литой структуры со скоростью кристаллизации и охлаждения, близкой к реальной промышленной.

После отливки сплавы подвергались термической обработке. Для каждого сплава она представляла из себя два этапа: нагрев под закалку при температуре 550 °С в течение 8 часов, а после искусственное старение при 180 °С от 3 до 20 часов. Затем проводились измерения микротвердости для каждого режима термической обработки, что позволяет спрогнозировать дальнейшие механические свойства сплавов (рисунок 1). Микротвердость определялась по методу Виккерса на стационарном твердомере HV-1000 с испытательным усилием 0,2452 Н.

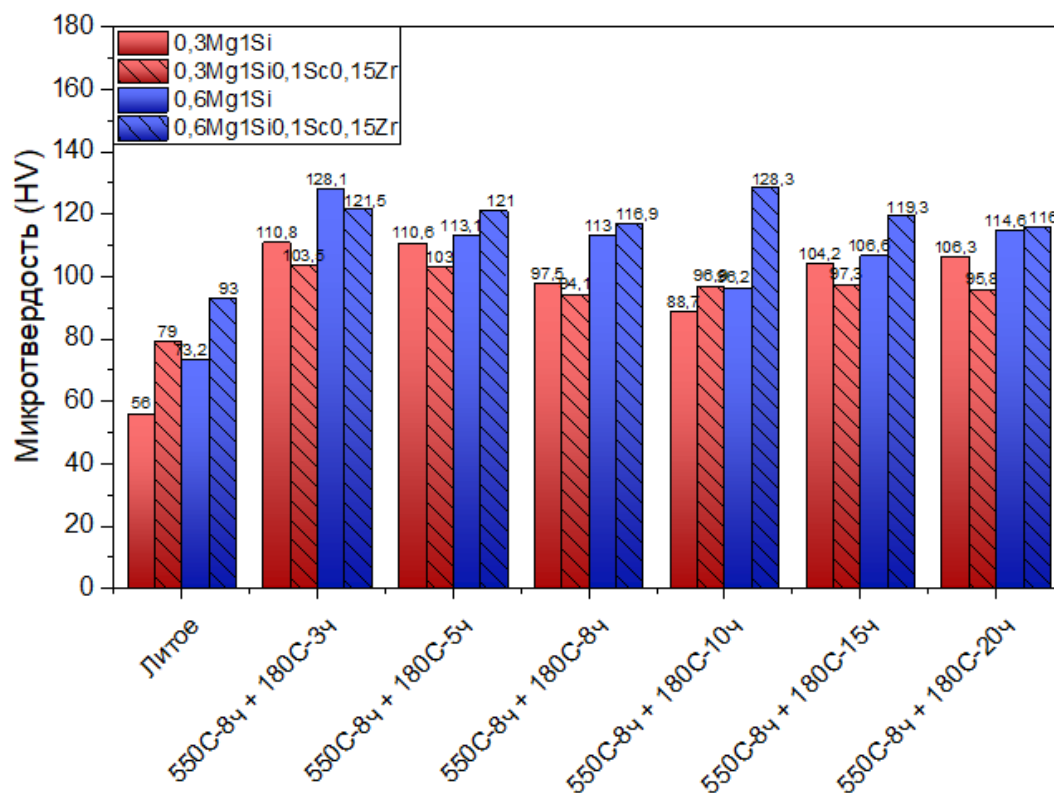


Рисунок 1 - Микротвердость сплавов после термической обработки

В литом состоянии микротвердость легированных сплавов со скандием и цирконием выше за счет твердорастворного упрочнения, вызываемого этими элементами. Так же из графика видно, что сплавы с повышенным содержанием магния имеют более высокие показатели микротвердости, что связано с известной способностью магния к твердорастворному упрочнению алюминиевых сплавов. Показатели в сплавах с повышенным содержанием магния после искусственного старения так же выше, однако именно наибольший рост микротвердости наблюдается в сплавах с увеличенным избытком кремния. Как было упомянуто выше, это связано в первую очередь с тем, что кремний способствует равномерному выпадению частиц Mg_5Si_6 .

После двухступенчатой термической обработки с заключительным искусственным старением на протяжении 3 часов во всех типах сплавов

наблюдается существенное увеличение микротвердости. В первую очередь это говорит о правильно выбранном режиме первой термической обработки, отжиг при температуре 550 °С в течение 8 часов поспособствовал растворению частиц с магнием и кремнием, в результате чего при искусственном старении создалась возможность для образования в достаточном количестве упрочняющих метастабильных $\beta''(\text{Mg}_5\text{Si}_6)$. Следует отметить, что микротвердость базовых сплавов в первые три часа искусственного старения превосходит легированные сплавы со скандием и цирконием. Однако, начиная с 5 часов искусственного старения сплавы с большим соотношением Mg/Si и добавками скандия с цирконием начинают превосходить базовые сплавы по микротвердости. Основным объяснением этому служит то, что скандий сначала замедляет, а затем способствует термической стабилизации частиц $\beta''(\text{Mg}_5\text{Si}_6)$ [11]. Кроме того, большая термическая стабильность может быть вызвана тем, что при длительной выдержке даже при температуре 180 °С может происходить выделение частиц $\text{Al}_3(\text{Sc}_x\text{Zr}_{x-1})$ [12]. В сплавах с меньшим содержанием магния ситуация иная, зачастую микротвердость базовых сплавов превосходит легированные. Озвучить причины можно будет, изучив дополнительно механизмы поведения в сплавах с соотношением Mg/Si=0,3.

Для дальнейшего исследования причин наблюдаемого в данной работе изменения микротвердости в исследуемых сплавах, необходимо проведение исследований, которые будут включать в себя изучение структуры на атомарном уровне с помощью атомно-зондовой томографии.

Результаты данного исследования показывают:

- в ходе искусственного старения во всех типах сплавов образуются упрочняющие метастабильные $\beta''(\text{Mg}_5\text{Si}_6)$;
- добавки Sc и Zr в случае соотношения Mg/Si=0,6 оказывают стабилизирующее влияние на микротвердость и по всей видимости частицы $\beta''(\text{Mg}_5\text{Si}_6)$.

Исследование проведено при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-19-00548. <https://rscf.ru/project/21-19-00548/>

Библиографический список

1. Bazhin, V.Y.; Gutema, E.M.; Savchenkov, S.A. Production Technology Features for Aluminum Matrix Alloys with a Silicon Carbide Framework. *Metallurgist* 2017, 60, 129–1272.
2. I. Polmear (2005), *Light Alloys (Fourth Edition)*, Oxford, England
3. Edwards G. A., Stiller K., Dunlop G. L., Couper M. J. The precipitation sequence in Al–Mg–Si alloys // *Acta materialia*. 1998. Т. 46. №11. С. 3893-3904.
4. В. А. Kolachev, V. I. Elagin, and V. A. Livanov, *Metal Science and Thermal Treatment of Nonferrous Metals and Alloys*. - MISiS, 2005. (In Russ.).
5. Meyruey G. et al. Over-ageing of an Al-Mg-Si alloy with silicon excess // *Materials Science and Engineering: A*. – 2018. – V. 730. – P. 92-105.
6. Elagin V. I., Zakharov V. V., Rostova T. D. Prospects in alloying of aluminium alloys with scandium // *Tsvetnye metally*. 1982. Т. 7. С. 96-99.

7. Dorin T., Ramajayam M., Vahid A., Langan T. Aluminium scandium alloys //Fundamentals of aluminium metallurgy. – Woodhead Publishing, 2018. – P. 439-494.

8. Rokhlin L. L., Bochvar N. R., Dobatkina T. V. Combined effect of some transition metals on the change in the phase composition and recrystallization of aluminum // Technology of light alloys. – 2009. – №. 2. – P. 20-27.

9. Рохлин Л. Л., Бочвар Н. Р., Табачкова Н. Ю., Суханов А. В. Влияние скандия на кинетику и упрочнение при старении сплавов системы al-mg 2si // Технология легких сплавов. 2015. №. 2. С. 53-62.

10. Арышенский Е.В., Лапшов М.А., Коновалов С.В., Малкин К.А., Распосиенко Д.Ю., Макаров В.В. Влияние термической обработки на микроструктуру и механические свойства сплава Al–Mg–Si–Sc–Zr с избытком Si // Frontier Materials & Technologies. 2023. № 4. С. 9–17.

11. Wei B. et al. Sc-containing hierarchical phase structures to improve the mechanical and corrosion resistant properties of Al-Mg-Si alloy //Materials & Design. – 2022 – Т. 218 – С. 110699.

12. Vlach M. et al. Microstructure and mechanical properties of the AA6082 aluminium alloy with small additions of Sc and Zr //International journal of materials research. – 2009. – Т. 100. – №. 3. – С. 420-423.

УДК 001.891.57

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ

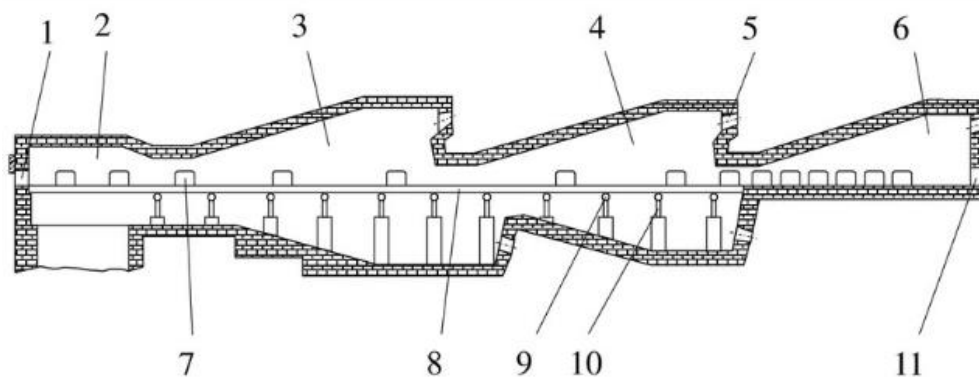
Кирчева А.С., Мамедов И.В., Буинцев В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alinakircheva@mail.ru, tamedowilkin15@gmail.com*

В работе рассмотрена проблема обучения новых и повышения квалификации работающих нагревателей методической печи. Для улучшения качества обучения и повышения эффективности производственного процесса используется тренажер, в основе которого лежит математическая модель нагрева заготовки, разработанная в программе Microsoft Excel на основе уравнения теплопроводности.

Ключевые слова: модель, нагрев, теплопроводность, методическая печь, заготовка.

Как известно, методическая печь служит для нагрева заготовки перед прокатом [1]. Она состоит из четырех зон: зоны предварительного подогрева, где температура постепенно снижается, первой и второй сварочных зон, где температура поддерживается практически постоянной, и томильной зоны, где температура также почти не изменяется, что позволяет выравнивать температуру заготовки. На рисунке 1 представлена схема строения четырехзонной методической печи [2].



- 1 – окно загрузки, 2 – методическая зона, 3 – первая сварочная зона,
 4 – вторая сварочная зона, 5 – отверстия для топливосжигающих устройств,
 6 – томильная зона, 7 – смотровые окна, 8 – глассажные трубы,
 9 – поперечные опоры, 10 – стояки, 11 – окно выгрузки

Рисунок 1 – Строение методической четырехзонной печи

В условиях динамично меняющейся промышленной среды, методические печи представляют собой важное средство обеспечения заданной производительности и качества заготовок заданных размеров. Вместе с тем, нагрев заготовок осуществляется человеком-оператором, от квалификации которого зависит качество нагрева и безаварийной работы прокатного стана. Таким образом, задача обучения новых и повышения квалификации работающих нагревальщиков методической печи является актуальной задачей. Наиболее удобное обучение лучше осуществлять с помощью тренажера, основа которого положена математическая модель нагрева заготовки. Процесс нагрева заготовки описывается уравнением теплопроводности (1).

Процесс теплопроводности описывается дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа для одномерного случая, который имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right); \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(с·м·°С);

T – температура детали, °С;

x – координата в направлении цементации, м;

τ – время, с.

Данными уравнениями описываются объекты с распределенными параметрами, характеризующиеся полями (температуры, концентрации и другие параметры), изменяющимися как во времени, так и в пространстве.

В книге Валентина Павловича Цымбала по математическому моделированию сложных систем в металлургии [1] представлен один из методов сведения уравнения в частных производных к системам обыкновенных дифференциальных. Данный метод основан на выражении производной через значения функции в окрестности некоторой точки. Полученная система

уравнений удовлетворяет начальным и краевым условиям и принимает следующий вид:

$$\frac{\partial v_j(t)}{\partial t} = \mu[v_{j-1}(t) - 2v_j(t) + v_{j+1}(t)]; \quad (2)$$

$$v_j(0) = T_j, v_0(t) = \varphi_1(t), v_{n+1}(t) = \varphi_2(t), \mu = \frac{\lambda}{ch^2},$$

где h – шаг дискретизации пространства, м;

c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С);

$v(t)$ – функция, которая задает температуру в точке с координатами в момент времени t ;

$j-1, j, j+1$ – предыдущая, заданная и следующая точки;

μ – коэффициент температуропроводности;

$v_j(0)$ – начальные условия;

φ_1, φ_2 – граничные условия.

Реализация модели представлена в программе Microsoft Excel на рисунке 2.

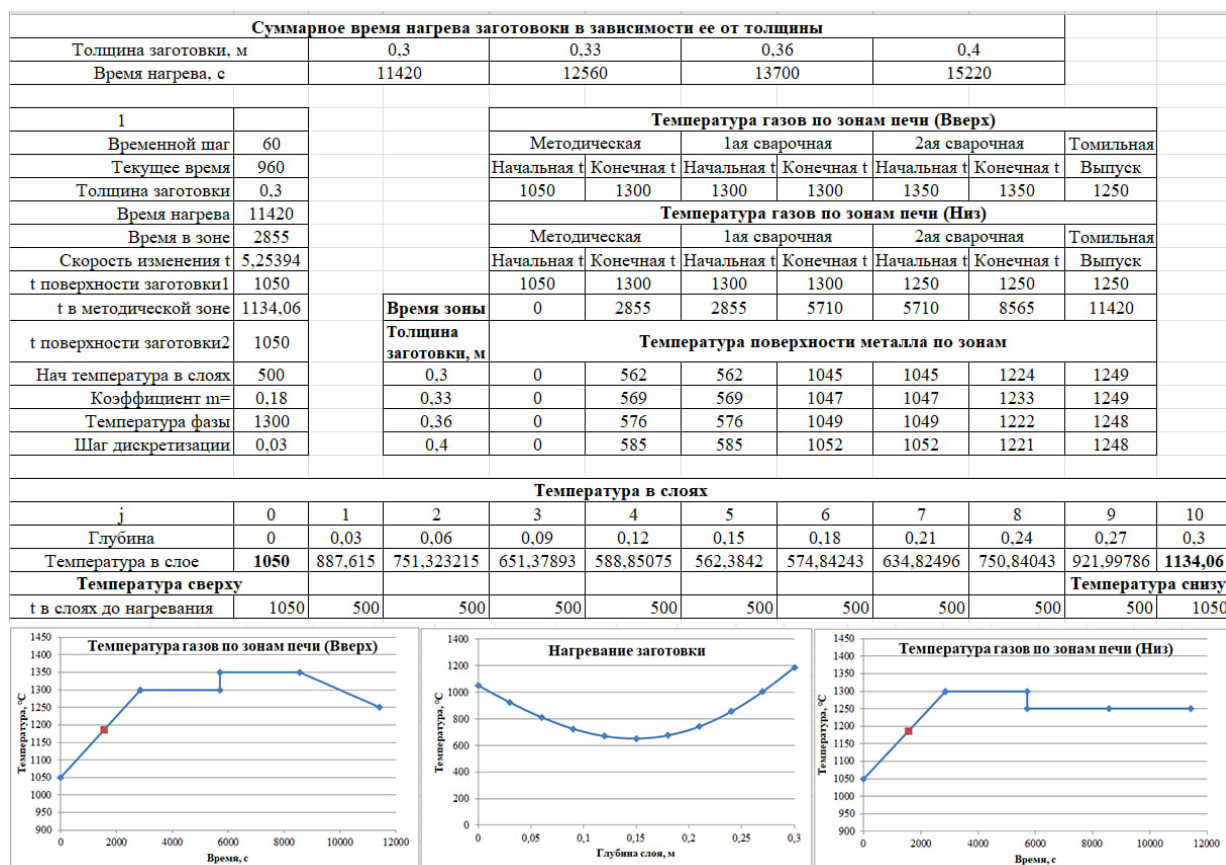


Рисунок 2 – Программная реализация процесса нагрева заготовки в Excel

На рисунке 2 представлены три графика для визуализации процесса нагревания заготовки в зависимости от ее размеров при постоянной произ-

водительности печи согласно технологической инструкции, представленной в работе [4].

Левый и правый графики отражают граничные условия φ_1 и φ_2 процесса нагрева заготовки. В таблицах, которые представлены на рисунке 2, отражают начальные и конечные температуры газов в каждой зоне методической печи.

Центральная диаграмма показывает, как изменяется температура заготовки по слоям во времени по мере ее прохождения через печь. Строка «Температура в слое» отображает температуру по слоям, а в крайних ячейках устанавливаются температуры на границах заготовки.

Разработанная модель работает следующим образом: при вводе толщины заготовки происходит обращение к таблице «Суммарное время заготовки в зависимости от толщины» (рисунок 2), где на основе введенной толщины определяется время для нагрева заготовки и время пребывания на каждой зоне.

Задача обучения заключается в оптимизации процесса нагрева заготовки, обеспечивая заданное температурное поле внутри нее при минимальной разнице температур между ее центром и поверхностью.

Библиографический список

1. Методическая печь [Электронный ресурс] – URL: <https://v-term.ru/catalog/oborudovanie-po-kategoriyam/promyshlennye-pechi/12> (дата обращения 19.03.2024)
2. Конструкции и тепловая работа печей [Электронный ресурс] – URL: <https://ppt-online.org/115987> (дата обращения 20.03.2024)
3. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с. ISBN 5-202-00925-9.
4. Гинкул С. И. и др. Исследование температурного режима нагревательных печей прокатных станов при изменении сортамента нагреваемого металла // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Металлургия». – 2010. – №. 12. – С. 201.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ

Кирчева А.С., Мамедов И.В., Буинцев В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alinakircheva@mail.ru, tamedowilkin15@gmail.com*

В данной работе рассмотрена проблема выбора режимов процесса цементации. Предложена схема для поиска оптимального технологического режима процесса термообработки с использованием математической модели. Разработана модель процесса цементации стали в программе Microsoft Excel на основе уравнений теплопроводности и диффузии. Разработанная модель позволяет оптимизировать режимы нагрева и концентрации науглероживателя для получения поверхности стали с заданными параметрами.

Ключевые слова: модель, цементация, диффузия, теплопроводность, науглероживатель.

Цементация стали представляет собой процесс термической обработки металла, в котором происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя обрабатываемого материала углеродом, с целью получения поверхности стали, обладающей высокой твердостью и износостойкостью [1]. Цементация проводится на низкоуглеродистых сталях (до 0,25 % углерода). Содержание углерода в зоне обработки повышается до 1-1,3%, с глубиной слоя 0,5-2 мм.

Производственные эксперименты по поиску оптимальных режимов термической обработки сопряжены с некоторыми трудностями. Каждый опыт требует серьезных затрат времени и средств на сам процесс цементации и лабораторные исследования результатов. В связи с этим, актуальна разработка математической модели процесса для использования её в вычислительных экспериментах по определению оптимальных режимов цементации.

Модели, основанные на теплопроводности и диффузии, представляют собой инструмент для решения этой задачи. Вычислительные эксперименты на этих моделях позволяют определить необходимые параметры цементации: температурный режим и концентрация науглероживателя в атмосфере печи.

Процессы теплопроводности и диффузии описываются изоморфными дифференциальными уравнениями в частных производных параболического типа, которые имеют вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_c}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \frac{\partial C_c}{\partial x} \right); \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(с·м·°С);
 T – температура детали, °С;
 D_c – коэффициент диффузии, м²/с;
 C_c – содержание углерода в детали, %;
 x – координата в направлении цементации, м;
 τ – время, с.

В работе [2] представлен один из методов сведения уравнения в частных производных к системам обыкновенных дифференциальных, который основан на выражении производной через значения функции в окрестности некоторой точки. Данная система уравнений удовлетворяет начальным и краевым условиям и принимает следующий вид:

$$\frac{\partial v_j(t)}{\partial t} = \mu[v_{j-1}(t) - 2v_j(t) + v_{j+1}(t)]; \quad (3)$$

$$v_j(0) = T_j, v_0(t) = \varphi_1(t), v_{n+1}(t) = \varphi_2(t), \mu = \frac{\lambda}{ch^2},$$

где h – шаг дискретизации пространства, м;
 c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С);
 $v(t)$ – функция, которая задает температуру в точке с координатами в момент времени t ;
 $j-1, j, j+1$ – предыдущая, заданная и следующая точки;
 μ – коэффициент температуропроводности;
 $v_j(0)$ – начальные условия;
 φ_1, φ_2 – граничные условия.

Аналогичная система уравнений выводится и для процесса диффузии. Диффузионный процесс зависит от температуры и является термически активированным, то есть при увеличении температуры коэффициент диффузии увеличивается.

Реализация модели представлена в программе Microsoft Excel на рисунке 1. Для визуализации использовался график, в котором на основной горизонтальной оси отображалась глубина слоя, на основной вертикальной оси – температура, на вспомогательной вертикальной оси – содержание углерода в слоях.

Модель позволяет провести вычислительные эксперименты по подбору режимов нагрева и концентрация науглероживателя, обеспечивающее заданную глубину цементации.

Для поиска оптимального режима нагрева-науглероживания проведен ряд экспериментов, в которых менялась температура и концентрация газа науглероживателя в печи. Согласно технологическим инструкциям в начальный период поддерживается максимально возможная температура и концентрация газа науглероживателя. При этом наблюдается превышение концентрации углерода в поверхности слоя в детали выше заданных значений. Дан-

ный этап представлен на рисунке 2, который длился 6 часов.

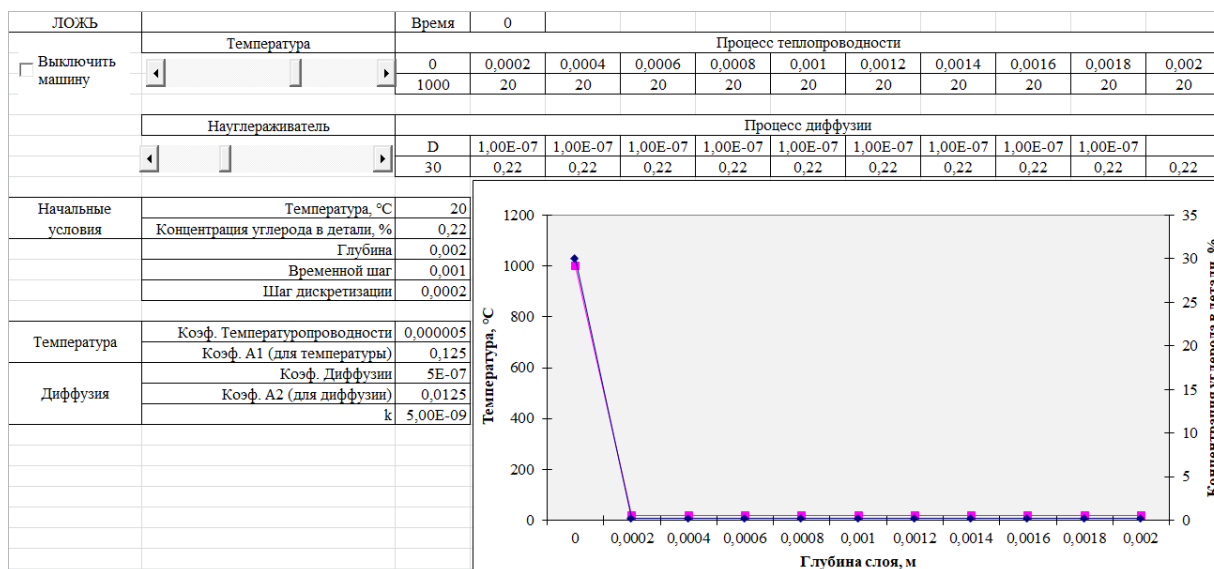


Рисунок 3 – Программная реализация процесса цементации в Excel

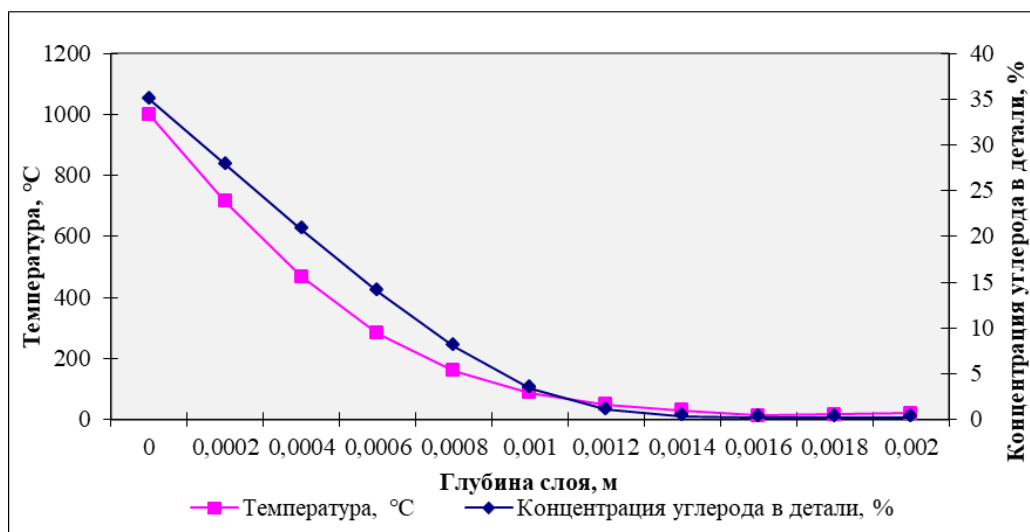


Рисунок 4 – Начальный период цементации

По истечению некоторого времени граничные условия по температуре и концентрация науглероживателя снижаются. Температура незначительно, а концентрация газа приближается к заданным значениям по углероду (рисунок 3). Такой режим выдерживается некоторое время необходимое для выравнивания концентрация углерода в поверхностном слое детали на заданную глубину. Полученные в результате этих экспериментов тепловой и углеродный режимы как по времени, так и по величине являются рекомендательными для реализации на производственном агрегате.

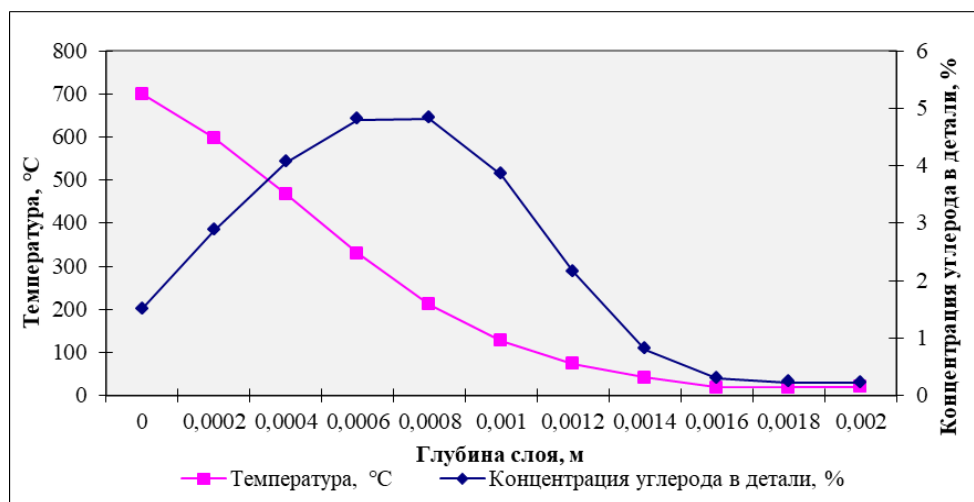


Рисунок 5 – Изменение граничных условий

На рисунке 4 представлен конец периода цементации. Весь процесс цементации длился 12 часов. Результатом проделанных действий стало насыщение поверхностного слоя детали до глубины 0,0008 метра до 1,5 % содержания углерода. Данные рекомендации позволяют быстрее подобрать оптимальный режим на реальном объекте.

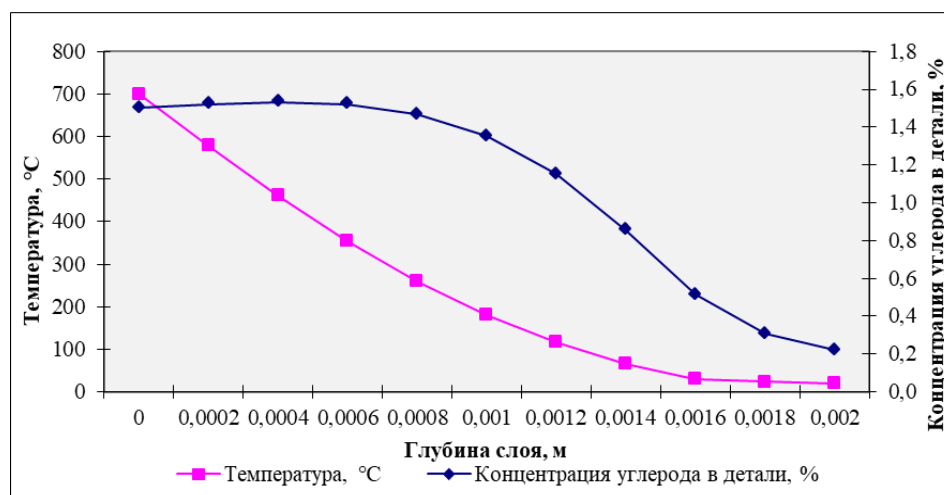


Рисунок 6 – Конец периода цементации

Кроме исследовательских целей данная модель может быть использована для начального обучения операторов-технологов и повышение квалификации действующих операторов. Приобретение знаний и навыков на модели значительно сокращает затраты времени и средств на обучение.

Библиографический список

1. Цементация, нитроцементация и азотирование стальных изделий : учебное пособие / М.В. Майсурадзе, М.А. Рыжков, С.В. Беликов, О.Ю. Корниенко, М.С. Карабаналов, А.Ю. Жилияков ; М-во науки и высшего образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021.— 102 с. ISBN 978-5-7996-3199-4
2. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в ме-

таллургии: учебник для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с. ISBN 5-202-00925-9.

УДК 669.15-198

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕЙ В УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ

Куделя В.С., Романенко Ю.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: incinabula9999@yandex.ru, romanenko_je@mail.ru*

Рассмотрен исследовательский и промышленный опыт применения каменных углей в качестве восстановителей при производстве ферросплавов углеродотермическим процессом. Приведены факторы, обосновывающие положительное влияние применения углей без термической обработки в ферросплавных процессах.

Ключевые слова: кокс, ферросплавы, ферросиликомарганец, феррохром, углерод-содержащий восстановитель, уголь

В настоящее время одним из приоритетных направлений в металлургии является разработка и ускоренное внедрение эффективных инновационных материало- и энергосберегающих технологий получения всех видов металлопродукции с вовлечением в производство альтернативных видов углеродистых восстановителей. Это связано с постоянным дефицитом, как кокса, так и коксующихся углей, наблюдающимся уже с середины 1950-х годов [1]. В связи с этим получили развитие исследовательские работы по замене традиционных восстановителей более дешевыми углеродистыми восстановителями, в том числе углями.

Технико-экономические показатели выплавки ферросплавов напрямую зависят от применяемого восстановителя и его свойств. Из множества физико-химических свойств углеродистых восстановителей наибольшее влияние на показатели производства оказывают:

- удельное электрическое сопротивление насыпной массы, формирует сопротивление шихтового слоя и распределяет активную энергию по зонам рабочего пространства, тем самым влияя на глубину погружения электродов в шихту. Более глубокая посадка электродов в шихту позволяет получить высокие ТЭП производства. При высоко сидящих электродах зона плавления перемещается вверх, что резко ухудшает ход процесса: увеличиваются тепловые потери с колошниковыми газами, уменьшается извлечение основных элементов из-за повышенного их улета [2];

- удельная поверхность углеродистых материалов, определяющая сорбционную способность углеродистой части шихты, и, следовательно,

скорость, полноту восстановления и степень извлечения ведущего элемента [3].

Помимо этого, материалы, с высоким содержанием летучих веществ, становятся активными (химически и с точки зрения электропроводности) только в нижних зонах печи, после того как выделяются летучие вещества и будет сформирована структура кокса. В то время как высокоуглеродистые материалы (кокс) становятся активными уже в зоне загрузки на колошник, что отрицательно сказывается на процесс производства ферросплавов при расстройстве хода печи (работа на коротких электродах).

Использование в качестве восстановителя угля с высоким содержанием летучих способствует интенсификации восстановительных процессов [4]. В зоне низких температур особое развитие имеют реакции восстановления высших оксидов ведущего элемента, например марганца, соединениями группы CH_4 , количественное содержание которых влияет на скорость процесса. С ростом температуры углеводороды разлагаются по реакции $\text{CH}_4 = \text{C}_{\text{ат}} + \text{H}_2$, и в реакциях восстановления низших оксидов ведущего элемента принимают участие углерод атомарный и водород. Установлено, что во всех температурных зонах метан является наиболее эффективным восстановителем [4], что подтверждается практическими результатами.

При выборе углеродистого восстановителя для электропечного процесса необходимо учитывать не только его активность (благоприятные условия восстановления ведущих элементов), но и возможность создания максимального электросопротивления ванны печи [5].

Значение удельного электросопротивления восстановителя зависит от содержания летучих веществ в материале. Максимальному содержанию летучих веществ соответствуют и большие абсолютные значения электросопротивления [6]. Угли, имеющие высокое содержание летучих веществ, обладают максимальным электросопротивлением и могут оказывать положительное влияние на ход процесса выплавки ферросплавов. Для увеличения экономических и технологических показателей применяют смеси разных восстановителей [7-9]. Путем смешения различных углеродосодержащих материалов можно в довольно широких пределах изменять физико-химические свойства восстановителя, в том числе и электросопротивление.

Электросопротивление марганцевых шихт с углем в несколько раз выше электросопротивления шихт с коксом. Это обуславливает глубокую посадку электродов, уменьшает потери марганца испарением и позволяет повысить рабочее напряжение при плавке сплава [10].

При введении в шихту каменного угля при производстве ферромарганца в электропечах установлено снижение удельного расхода электроэнергии, и замена части коксового орешка углем оказывает положительное влияние на выплавку ферромарганца из бедных марганцевых руд, как в лабораторных условиях, так и в промышленных.

Сотрудники Серовского завода ферросплавов совместно с УрО РАН [3] проводили промышленные испытания применения длиннопламенного

угля Шубаркольского разреза (Казахстан) при производстве ферросиликохрома. В результате промышленного опробования увеличилась производительность печи, уменьшился расход восстановителя (в пересчете на углерод) и расхода электроэнергии, возросло извлечение ведущего элемента.

Отмечен положительный опыт использования антрацита и длиннопламенного угля, как части коксового орешка, при выплавке ферромарганца бесфлюсовым способом в рудовосстановительных круглых открытых печах мощностью 6000 кВА. Было получено уменьшение удельного расхода электроэнергии на 5 – 7 % и увеличение производительности печей при выплавке ферромарганца [11].

В работе [12] в качестве восстановителя применяли антрацит и уголь марки Ж (28 – 32 % летучих веществ). В ходе экспериментов авторами было установлено, что для повышения степени извлечения марганца из руд необходимо применять углеродистый восстановитель с содержанием летучих веществ 28 – 32 %, т.е. угли, в количестве 15 % от общей массы восстановителя в шихте. Данные исследования проводились с углями марки Ж, поэтому для углей другой маркировки доля угля в шихте может варьироваться.

Наибольший интерес вызывает вопрос использования каменных углей марки Т (тощих) в металлургических процессах [13] из-за близости физико-химических свойств угля к коксу.

Основным источником тощих сортов углей в России являются разрезы и шахты Кузбасса. Эти угли прошли стадии контактно-термального метаморфизма в природных условиях. Содержание влаги в тощих углях колеблется в пределах 1–7 %, что не выходит за рамки показателей для кокса. Содержание нелетучего углерода весьма велико и близко к коксу. Зольность углей преобладающей части рабочих пластов Кузбасса составляет 12–18 %.

Состав золы угля и кокса близок. В золе преобладают кислотные оксиды. Температура плавления золы колеблется от 1200 °С до 1600 °С. Содержание в углях всех марок серы составляет 0,2–0,5 %, фосфора 0,003–0,08 %.

Применение угля не приведет к зарастанию газовых трактов металлургических агрегатов. Теплота сгорания сухой беззольной массы составляет для марок Т, ТС 35200 – 36500 кДж/кг и зависит главным образом от химического состава угля, определяемого в свою очередь степенью метаморфизма. Тепло выделяется в основном за счет сгорания содержащихся в угле углеводородов и водорода, поэтому она может быть выше, чем у кокса.

Угли характеризуются меньшей температурой воспламенения и большей теплотворной способностью. Угли имеют меньшую пористость, однако их реакционная способность близка к реакционной способности кокса. Таким образом, характеристики тощих углей в целом соответствуют требованиям, предъявляемым к металлургическому сырью как топливу и углеродсодержащему материалу.

Тощие угли испытаны при выплавке ферросплавов на четырех заводах: АО «Кузнецкие ферросплавы» - ферросилиций марок ФС25, ФС45, ФС75, АО «ЧЭМК» - силикомарганец, Серовский и Аксуский заводы ферросплавов

– углеродистый феррохромом [14].

Результаты промышленных экспериментов показали, что для сохранения, а в отдельных случаях и повышения технико-экономических показателей процесса следует учитывать особенности качества тощих углей и технологии. В производстве ферросилиция и силикомарганца использование тощего угля в шихте ограничено 15 – 30 % (по углероду) при обязательном участии в шихте активного восстановителя (полукокса, древесной щепы).

Вышеперечисленные результаты дают основание считать, что применение углей без термической обработки при производстве ферросплавов технологически возможно и обосновано с точки зрения оптимизации хода технологического процесса и экономически целесообразно с точки зрения снижения себестоимости продукции за счет сокращения удельного расхода электроэнергии, повышения производительности и снижения затрат на восстановитель.

Библиографический список

1. Воробьев В.П. Углеродистые восстановители ферросплавного производства. Альтернативные решения / В.П. Воробьев, А.Д. Голунов, А.В. Игнатъев // Сталь. – 2008. – № 8. – С. 67
2. Мизин В.Г. Углеродистые восстановителя для ферросплавов / В.Г. Мизин, Г.В. Серов. – М.: Metallurgy, - 1976. – С. 272.
3. Страхов В.М. Альтернативные углеродистые восстановители для ферросплавных производств / В.М. Страхов // Кокс и химия. – 2009. – № 1. – С. 20 – 25.
4. Шаталов С. В. Исследование механизма бесконтактного переноса углерода при восстановлении марганцевых руд с целью повышения степени извлечения марганца и получения кондиционного ферромарганца: дисс. канд. техн. наук, спец. 05.16.02 / С.В. Шаталов – Череповец, 2006. – 160 с.
5. Нефедов П.Я. О требованиях к качеству углеродистых восстановителей для производства рудной электротермии / П.Я. Нефедов // Кокс и химия. – 2000. - №8. С 24 – 32.
6. Камнева А.И. Теоретические основы химической технологии твердых горючих ископаемых / А.И. Камнева, В.В. Платонов. – М.: Химия, 1990. – 288 с.
7. Опытнo-промышленное освоение выплавки высокоуглеродистого ферромарганца бесфлюсовым способом с использование антрацита / Белан В.Д. и [др]. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 25 – 28.
8. Применение тощих каменных углей и полукокса при производстве углеродистого феррохрома / В.И. Кулинич и [др]. // Сб. «Физико-химические процессы в электротермии ферросплавов». – М.: Наука, 1981. – С. 153 – 155.
9. Кашлев И.М. Разработка технологии производства ферросилиция и электродной массы с использованием каменного угля: автореф. дис. канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2000. – 19с.

10. Кинетика восстановления марганца и хрома ангарским полукоксом / Н.В. Толстогузов и [др.]. // Сб. «Производство стали и ферросплавов». – Выпуск №4 – М: Metallurgia, 1975. – С. 5 – 13.

11. Использование нетрадиционных углеродистых восстановителей при выплавке ферромарганца ФМн78Б и передельного марганцевого шлака / П.А. Кравченко и [др.]. // Сталь. – 2008. – № 9. – С. 43 – 45.

12. Влияние фракционного состава шихты, количества и вида восстановителя на извлечение марганца из руды / С.В. Шаталов и [др.] // Известия Вуз. ЧМ. – 2005. - №9. – С. 12 – 13.

13. Страхов В.М. Использование тощих углей в качестве углеродистых восстановителей в электротермических производствах / В.М. Страхов, П.Я. Нефедов // Сталь. – 2008. – № 8. – С. 68.

14. Роцин В.Е. Диффузия ионов и катионов в кристаллических решетках оксидов при восстановлении и окислении металлов / В.Е. Роцин, А.В. Роцин // Металлы, 2003. – №1. – С. 3-9.

УДК 669.15-198

УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ И ХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ

Кудея В.С., Романенко Ю.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: incinabula9999@yandex.ru, romanenko_je@mail.ru*

Изучена возможность использования каменных углей Кузбасса в качестве восстановителей при производстве ферросплавов углеродотермическим процессом в условиях изменяющегося рынка кокса и коксового орешка.

Ключевые слова: кокс, ферросплавы, ферросиликомарганец, феррохром, углеродсодержащий восстановитель, уголь

Рентабельность производства ферросплавов и конкурентоспособность отечественной продукции на внешних рынках напрямую зависит от стоимости сырьевых материалов, применяемых при их производстве. Производство ферросплавов – восстановительный процесс, при котором одним из важнейших компонентом шихтовых материалов является восстановитель. При производстве крупнотоннажных ферросплавов в качестве восстановителя применяют углеродсодержащие материалы, доля которых в структуре себестоимости, например ферросиликомарганца, достигает до 20 % [1].

Традиционным восстановителем при производстве ферросплавов является кокс. Неизменяющийся тренд на увеличение цен на коксующиеся марки угля, и тем самым на кокс, негативно сказывается на металлургических компаниях. Одним из вариантов расширения сортамента углеродистых восстановителей при выплавке марганцевых и хромистых сплавов является приме-

нение природных ископаемых углей [2]. Использование углей не требует дополнительной подготовки и капитальных вложений. Стоимость же углей в несколько раз ниже стоимости кокса.

Однако ввиду большого разнообразия марок углей, отличия их качественных характеристик, данные по свойствам углей с точки зрения возможности их применения в металлургических процессах не обобщены и не систематизированы.

В статье рассмотрена возможность использования каменных углей Кузбасса в качестве сырья при производстве марганцевых и хромистых сплавов. В таблице 1 приведены характеристики каменных углей Кузбасса, а также состав коксового орешек для сравнительного анализа.

Таблица 1 – Характеристика углеродистых восстановителей

Показатели	Уголь длинно-пламенный ш. Инская	Уголь бурый р. Итатский	Коксовый орешек АО «Алтай-кокс»
Технический анализ, %			
A^d (зола)	5,64	7,83	11,92
V^{daf} (летучие)	43,53	46,76	1,83
W^t (влага)	15,4	35,3	5,0
S^d (сера)	0,26	0,68	0,89
Содержание углерода в рабочей массе, %	55,6	49,1	84,6
Реакционная способность, $см^3/г \cdot с$	4,47	5,47	0,72
Удельное электросопротивление, Ом·см	$\geq 1,9 \cdot 10^6$	$\geq 1,9 \cdot 10^6$	3,59
Пористость, %	15,4	33,1	48,9

Для разработки рекомендаций по применению длиннопламенных и бурых углей в качестве углеродосодержащих материалов были проведены кинетические исследования марганцевой руды, химического состава, %: 36,98 $Mn_{общ}$; 10,78 $Fe_{общ}$; 1,25 Al_2O_3 ; 14,5 SiO_2 ; 2,03 CaO , 0,11 P_2O_5 ; хромовой руды, химического состава, %: 52,25 Cr_2O_3 ; 2,2 – FeO ; 7,15 – Al_2O_3 ; 8,51 – SiO_2 ; 21,0 – MgO ; 2,03 – CaO , 0,44 – P_2O_5 ; а также железной руды, химического состава, %: $Fe_{общ}$ 52,3; SiO_2 14,24; Al_2O_3 2,51; P_2O_5 0,072; S 0,042. Предварительно исходные руды брикетировали с углеродосодержащими материалами в различных соотношениях.

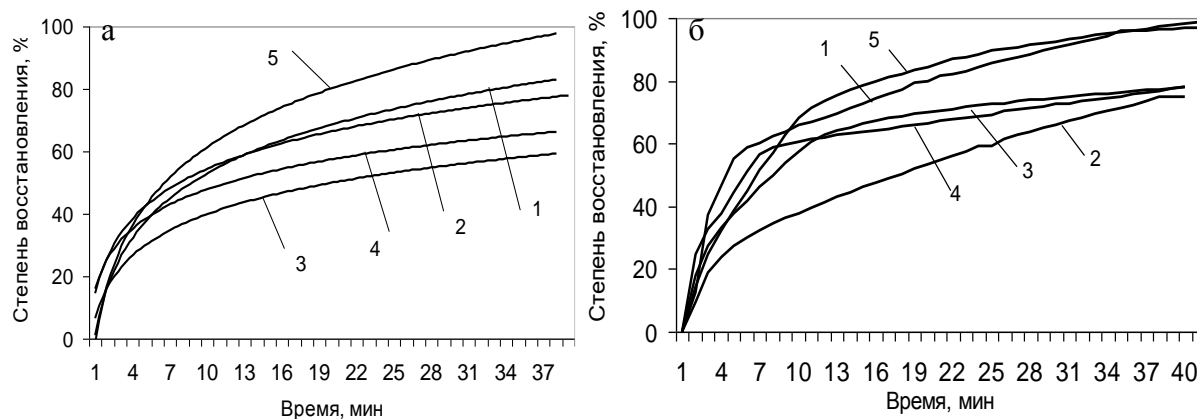
Кинетику восстановления образцов изучали гравиметрическим методом непрерывного взвешивания: фиксируя потерю массы образца, которая связана с термическим разложением компонентов и протеканием восстановительных процессов [4], рассчитывали степень восстановления элементов из оксидов руд.

На рисунке 1 приведены графики кинетической зависимости степени восстановления образцов марганцевой руды от времени при использовании различных восстановительных смесей при температурах 1773 и 1873 К.

Установлено, что марганецсодержащие брикеты с восстановительной

смесью 70 % кокс и 30 % уголь ДО, имеют более высокую степень восстановления по сравнению с брикетам, в которых восстановителем являлся кокс, особенно при температуре 1773 К.

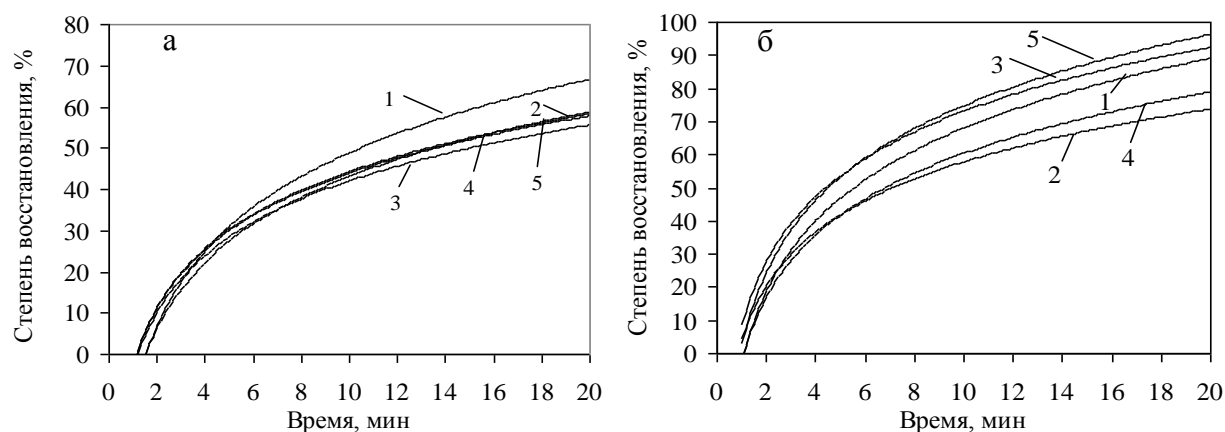
Химический анализ металлической фазы образцов, полученных с различными восстановителями, позволил установить, что содержание марганца в пробах, восстановленных смесью с длиннопламенным и бурый углем выше, чем при использовании только кокса [5].



1 – восстановитель кокс; 2–50 % бурого угля и 50 % кокса; 3–50 % длиннопламенного угля и 50 % кокса; 4–30 % бурого угля и 70 % кокса; 5–30 % длиннопламенного и 70 % кокса

Рисунок 1 – Зависимости степени восстановления элементов из оксидов марганцевой руды от длительности изотермической выдержки при температурах 1773 (а) и 1873 К (б)

Кинетические зависимости степени восстановления элементов хромовой руды от температуры приведены на рисунке 2.



1 – восстановитель кокс; 2–50 % бурого угля и 50 % кокса; 3–50 % длиннопламенного угля и 50 % кокса; 4–30 % бурого угля и 70 % кокса; 5–30 % длиннопламенного угля и 70 % кокса

Рисунок 2 – Зависимости степени восстановления элементов из оксидов хромовой руды от длительности изотермической выдержки при температурах 1873 (а) и 1973 К (б)

В результате исследований отмечены высокие восстановительные свойства смесей кокса с длиннопламенным углем, особенно в области высоких температур. Образец, в котором присутствует смесь из 70 % кокса и 30 % длиннопламенного угля при температуре 1973 К имеет самое высокое значение степени восстановления [6, 7]. Содержание карбида хрома в продуктах восстановления, полученных смесью кокса и длиннопламенного угля выше, чем при использовании кокса. Это объясняется тем, что длиннопламенные угли обладают высокой реакционной способностью по сравнению с коксом, кроме того газовая фаза образующаяся в процессе пиролиза углей повышает термичность процесса, тем самым повышает восстановление элементов хромовой руды.

Таким образом, установлена целесообразность использования в качестве углеродосодержащего материала длиннопламенных и бурых углей при выплавке марганцевых, хромистых сплавов, а также при получении железа прямого восстановления.

Библиографический список

1. Воробьев, В. П. Углеродистые восстановители ферросплавного производства. Альтернативные решения / В. П. Воробьев, А. Д. Голунов, А. В. Игнатъев // Сталь. – 2008. – № 8. – С. 67.
2. Романенко Ю.Е. Исследование температуры размягчения марганцевых руд Западно-Сибирского региона / Ю.Е. Романенко // Изв. вузов. ЧМ, 2010. – № 10. – С. 23 – 25.
3. Оптимизация технологических процессов путем применения альтернативных восстановителей: отчет о НИР / Сиб. гос. индустр. унив.; исполн.: Романенко Ю.Е., Лазаревский П.П. – Новокузнецк, 2010. – 55 с. - № ГР 01201151314.
4. Фазовые и вещевые превращения при углеродотермическом восстановлении ведущих элементов хромовой руды / С.М. Григорьев [и др.]// Изв. вузов. Черная металлургия. – 2000. - №3. – с. 29 – 31.
5. Твердофазное восстановление хрома углеродом / О.И. Островский [и др.]// Изв. вузов. Черная металлургия – 1995. - №1. –с.1 – 8.
6. Исследование восстановления хромита железа углеродом / А.В. Сенин и [др]. // Сталь. – 2004. - №11. – с.41 – 45.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Пимахин А.В.¹, Бессонова О.В.², Осколкова Т.Н.¹

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

²*АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский
металлургический комбинат»,
г. Новокузнецк, e-mail: avp730@yandex.ru*

В статье представлены результаты нагрева рельсовой стали марки 90ХАФ, связанные с обезуглероживанием. Выявлены основные факторы, влияющие на процесс обезуглероживания после нагрева, ими являются температура нагрева и время выдержки при данных температурах. Установлено, что с увеличением температуры нагрева (от 800 °С до 900 °С) и времени выдержки (от 10 до 50 мин.) приводит к формированию зоны частичного обезуглероживания от 0 до 175 мкм.

Ключевые слова: обезуглероживание, сталь, непрерывно-литая заготовка, рельсы, микроструктура, нагрев.

Рельсы являются важным элементом железнодорожного полотна, от исправного содержания которого зависит безопасность движения поездов. В настоящее время достигнут определенный прогресс по повышению качества и свойств рельсов. В первую очередь он связан с совершенствованием технологий выплавки, раскисления и внепечной обработки стали, переходом на непрерывную разливку [1]. Вместе с тем, не решен окончательно вопрос, связанный с обезуглероживанием рельсовых сталей в процессе нагрева. С одной стороны, для низкоуглеродистых сталей формирование обезуглероженного слоя приводит к меньшей склонности образования разрывов, отмечается высокая пластичность и вязкость [2]. С другой стороны, снижение концентрации углерода в поверхностных слоях может привести к снижению твердости, увеличивается износ при эксплуатации рельсов, приводит к образованию усталостных трещин [3-6]. Намины от накладок, являясь концентраторами напряжений, приводят к образованию трещин под головкой рельса. Неравномерное распределение углерода в поверхностных слоях подошвы приводит к различной интенсивности коррозионных процессов, что в свою очередь оказывает отрицательное влияние на долговечность рельсов [7, 8].

Нагрев металла перед прокаткой сопровождается окалинообразованием и обезуглероживанием поверхностной зоны, при этом диффузионные процессы, связанные с обезуглероживанием металла, протекают быстрее, чем окалинообразование [9].

В работе исследованию подвергалась рельсовая сталь марки 90ХАФ после прокатки, химический состав которой соответствует ГОСТ Р 51685-2022 [10] (таблица 1).

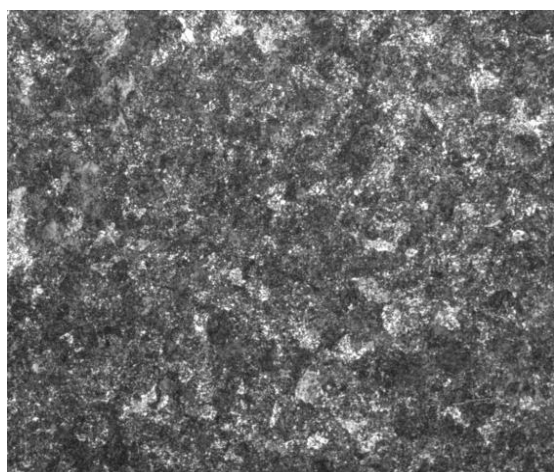
Образцы, вырезанные из головки рельса промышленного производства, подвергали нагреву до 800 °С с разными выдержками (10; 30 и 50 минут).

Исследования микроструктуры образцов в исходном состоянии и после испытаний проводились на оптическом микроскопе OLIMPUS – GX 51 и просвечивающем электронном микроскопе марки MIRA 3 TESCAN.

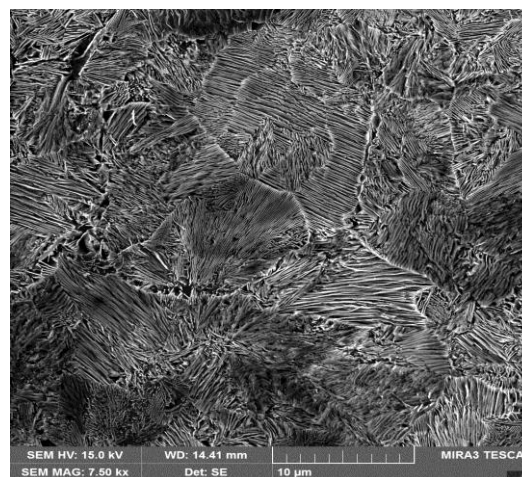
Микроструктура стали марки 90ХАФ после прокатки представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Химический состав рельсовой стали

Номер состава	Марка стали	Массовая доля элементов, %			(C + Cr), %
		C	Cr	V	
1	90ХАФ	0,85 – 0,92	0,29 – 0,33	0,08 – 0,09	1,15 – 1,25



а) x 500



б) x 24000

а – оптическая металлография; б – сканирующая электронная микроскопия

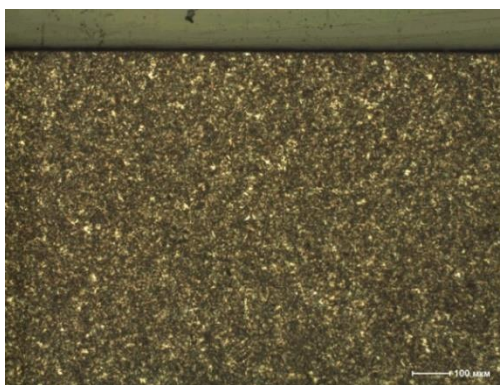
Рисунок 1 – Микроструктура стали марки 90ХАФ после прокатки

Металлографически выявлено, что микроструктура основного металла в головке исследуемого рельса удовлетворительная и представляет собой пластинчатый перлит, бейнит и карбидная сетка в микроструктуре отсутствует. Вместе с тем, наряду с перлитом регулярного строения присутствует значительное количество деформированного перлита. Встречаются колонии перлита не только с ломанными, но и с «волнистыми» пластинами, а также участки с переплетением перлитных колоний.

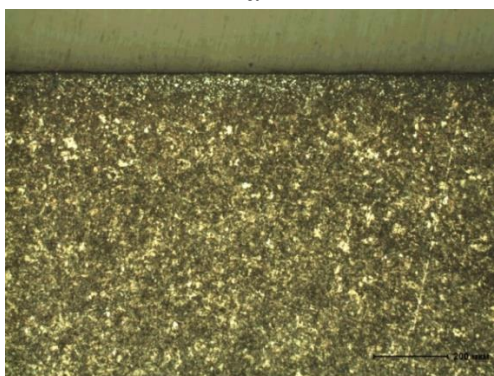
Микроструктуры стали марки 90ХАФ после нагрева при 800 °С и разных выдержках представлены на рисунке 2.

Микроструктура стали марки 90ХАФ после нагрева при 800 °С и выдержке 10 минут сохраняется без изменений, обезуглероженный слой отсутствует. Увеличение выдержки до 30 минут при этой же температуре тоже не привело к образованию обезуглероженного слоя. Выдержка 50 минут при температуре 800 °С поспособствовала формированию зоны частичного

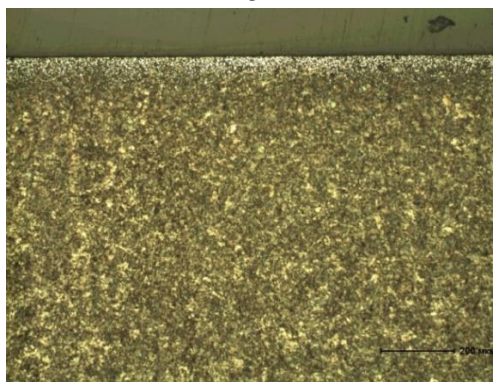
обезуглероживания толщиной 50 мкм.



а



б



в

а – выдержка 10 мин.; б – выдержка 30 мин.; в – выдержка 50 мин.

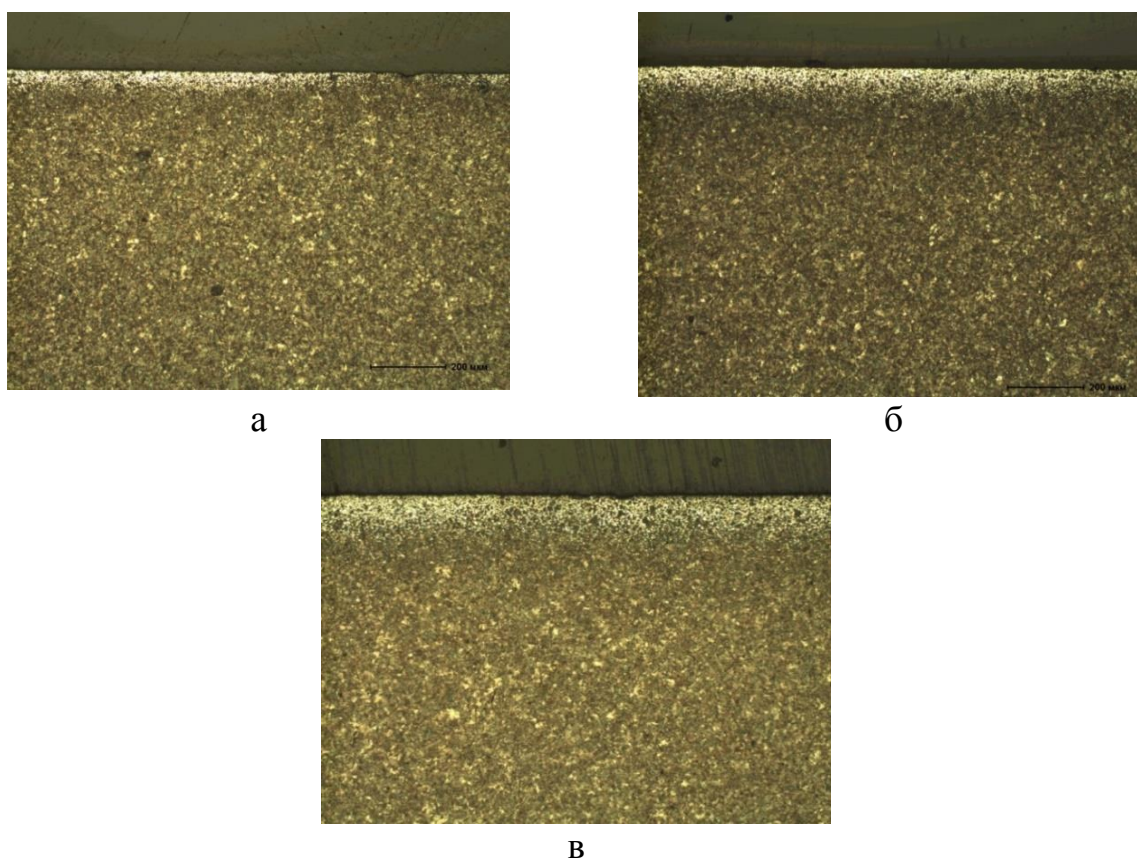
Рисунок 2 – Микроструктуры стали марки 90ХАФ
после нагрева при 800 °С, x100

Нагрев стали до температуры 850 °С с различным временем выдержки (10, 30 и 50 минут) позволяет выявить обезуглероженные слои, микроструктуры данной стали представлены на рисунке 3.

При выдержке 10 минут в поверхностном слое наблюдается неравномерная зона частичного обезуглероживания с максимальной толщиной 50 мкм.

Увеличение выдержки при данной температуре до 30 минут приводит к формированию зоны частичного обезуглероживания толщиной 75 мкм.

Выдержка 50 минут стали 90 ХАФ при температуре 850 °С приводит к формированию частичного обезуглероживания толщиной 100 мкм поверхностного слоя.



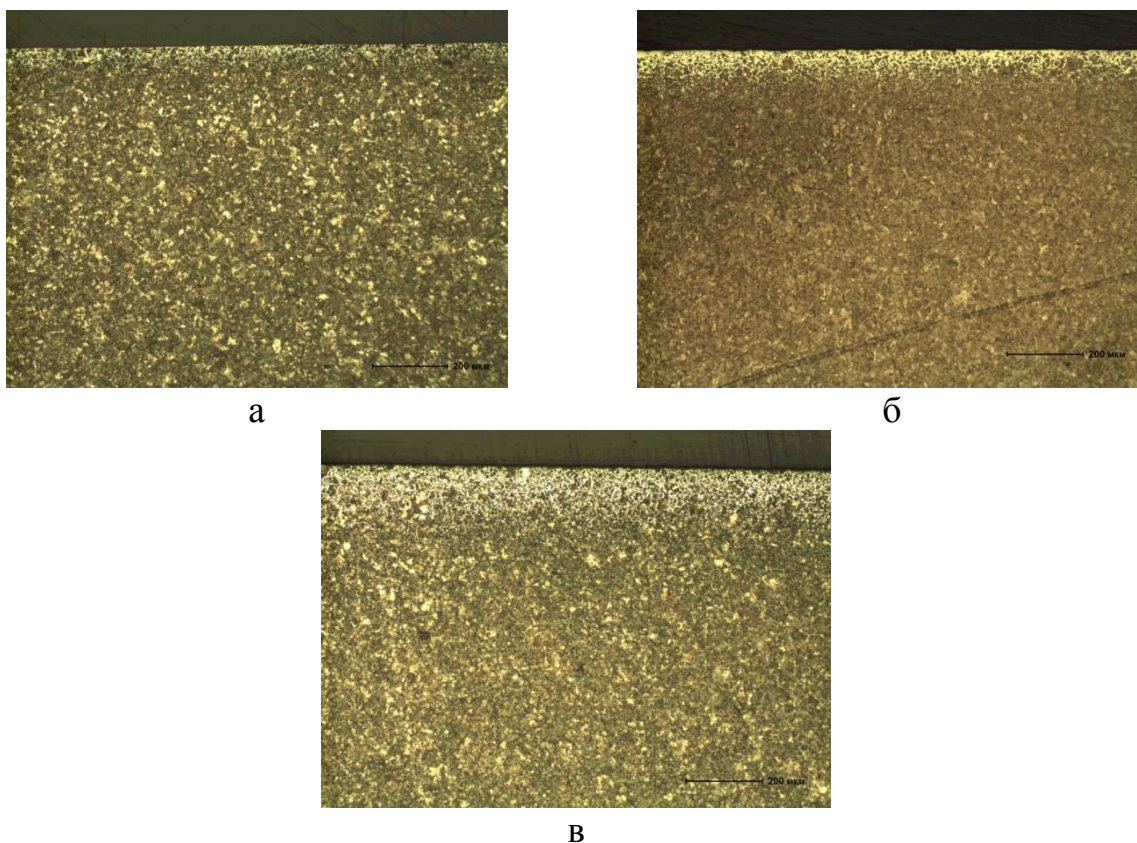
а – выдержка 10 мин.; б – выдержка 30 мин.; в – выдержка 50 мин.

Рисунок 3 – Микроструктуры стали марки 90ХАФ после нагрева при 850 °С, x100

Микроструктура стали марки 90ХАФ после нагрева до 900 °С с применением различных выдержек (10, 30, 50 минут) представлена на рисунке 4. Установлено, что структура основного металла остается неизменной при разных выдержках, вместе с тем, на всех образцах наблюдается поверхностное обезуглероживание.

При выдержке 10 минут зона частичного поверхностного обезуглероживания составляет 50 мкм, при выдержке 30 минут – 100 мкм, при выдержке 50 минут – 175 мкм.

Результаты влияния температурно-временного фактора на процесс обезуглероживания стали марки 90ХАФ представлены в таблице 2.



а – выдержка 10 мин.; б – выдержка 30 мин.; в – выдержка 50 мин.

Рисунок 7 – Микроструктуры стали марки 90ХАФ после нагрева при 900 °С

Таблица 2 – Влияние температурно-временного фактора на процесс обезуглероживания стали марки 90ХАФ

Выдержка, мин.	Толщина обезуглероженного слоя, мкм		
	800 °С	850 °С	900 °С
10	-	50	50
30	-	75	100
50	50	100	175

Таким образом, установлено, что процесс обезуглероживания рельсовых сталей зависит от температурно-временных условий: с увеличением температуры нагрева и времени выдержки происходит расширение зоны обезуглероживания.

Библиографический список

1. Козырев, Н.А. Производство рельсов из электростали / Н.А. Козырев, В.П. Дементьев. – Новокузнецк: Изд-во ИПК, 2000. – 267 с.
2. Карпенко, В.Ф. Технология производства железнодорожных рельсов и колес / В.Ф. Карпенко, Ю.М. Таптыгин, Н.Ф. Левченко, В.Н. Бардусов // Отраслевой сб. науч. тр. – Харьков: Изд-во УкрНИИ мет, 1989. С 11 – 16.
3. Юрьев, А.Б. Основные направления развития производства рельсов а ОАО «НКМК» / А.Б. Юрьев, Н.Х. Мухатдинов, Н.А. Козырев, Л.В. Корне-

ва // Сталь. – № 1. – С. 99 – 100.

4. Гусовская, И.В. Некоторые вопросы динамики обезуглероживания и науглероживания / И.В. Гусовская, А.И. Ващенко, Л.А. Шульц // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1974. – № 1. – С. 179 – 184.

5. Шур, Е.А. Повреждение рельсов / Е.А. Шур. – М.: Транспорт, 1971. – 112 с.

6. Павлов, В.В. Дефекты и качество рельсовой стали / В.В. Павлов, М.В. Темлянцев, Л.В. Корнева, Т.Н. Осколкова, В.В. Гаврилов. – М.: Тепло-техник, 2006. – 218 с.

7. Гурвич, А.К. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К. Гурвич, Б.П. Довнар, В.Б. Козлов [и др.]. – М.: Транспорт, 1983. – 318 с.

8. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.

9. Коновалов, А.В. Математическая модель окалинообразования и обезуглероживания металла в процессе нагрева / А.В. Коновалов, О.Ю. Муйземнек // Металлы. 2000. – № 4. – С. 40 – 43.

10. ГОСТ Р 51685-2022 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – Введ. 01.08.2022. – М.: Изд-во Российский институт стандартизации, 2023. – 118 с.

УДК 669.017: 625.143.482

МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НИОБИЕМ

Бессонова О.В.¹, Осколкова Т.Н.²

¹АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», Новокузнецк, e-mail: Olga.Bessonova@evraz.com

²Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, e-mail: oskolkova@kuz.ru

Проведен сравнительный анализ свойств рельсового металла эвтектоидного состава, микролегированного ниобием при различной технологии изготовления рельсов. Выявлено влияние температуры выдачи непрерывнолитых заготовок из печи на размеры, морфологию и особенности распределения нитридов и карбонитридов ниобия.

Ключевые слова: микролегирование, ниобий, микроструктура, неметаллические включения, температура выдачи из печи.

Повышение эксплуатационной стойкости железнодорожных рельсов возможно, благодаря улучшению микроструктуры, за счёт микролегирования карбидообразующими элементами и корректировки режимов выплавки, прокатки и термической обработки рельсов [1, 2]. Микролегирование ниобием широко применяется в малоуглеродистых сталях с целью формирования мелкого зерна в прокатке через механизм подавления рекристаллизации

аустенита с последующим торможением её за счёт выделения карбонитридов ниобия в интервале температур горячей пластической деформации [3]. При этом нет ясного понимания возможностей и особенностей микролегирования ниобием рельсовой стали.

В настоящей работе проведен анализ влияния такого параметра при производстве рельсовой стали эвтектоидного состава, микролегированной ниобием, как температура выдачи непрерывно-литых заготовок (НЛЗ) из печи (ПШБ) на размеры, морфологию и особенности распределения нитридов и карбонитридов ниобия. Химический состав исследуемой стали представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемой рельсовой стали

Марка стали	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	Nb	Ti	V	N
76ХФ	0,80	0,57	0,88	0,020	0,003	0,05	0,009

Температура выхода заготовок из печи соответствовала значениям 1160, 1220 и 1280.

Механические свойства, ударная вязкость и твёрдость на поверхности катания головки (ПКГ) рельсов, микролегированных ниобием, представлены в таблице 2.

С целью более глубокой оценки и сравнения таких параметров микроструктуры, как межпластинчатое расстояние и размер зерна, а также определение наличия, характера распределения и состав включений с ниобием (таблица 3, рисунок 1), проводили дополнительное исследование металла на образцах, вырезанных и приготовленных из зоны выкружки головок с применением сканирующего электронного микроскопа MIRA 3. Оценку параметров микроструктуры проводили на глубине 2 – 4 мм от поверхности головки, анализ включений – по всей исследуемой поверхности поперечного сечения шлифов.

Таблица 2 – Механические свойства и параметры микроструктуры

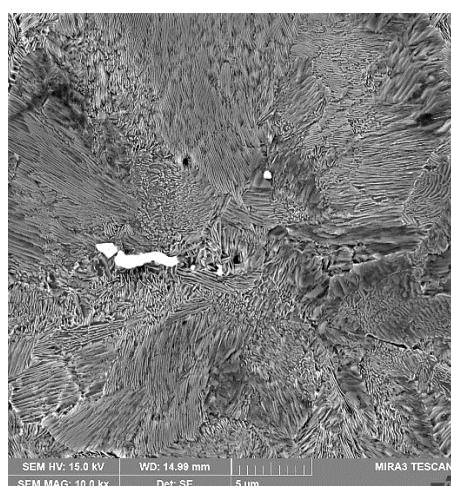
Температура выхода заготовок из ПШБ	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	КСУ, +20°C		Твёрдость на ПКГ	Параметры микроструктуры, мкм		
	Н/мм ²		%		Дж/см ²		НВ	Межпластинчатое расстояние	Диаметр зерна	№ зерна
1160	955	1375	12,0	35	22,0	23,0	399	0,099	16,9	9
1220	944	1358	11,0	35	21,0	21,5	393	0,102	17,0	9
1280	957	1368	12,0	39	22,0	23,5	398	0,098	16,5	9

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что в результате испытаний на растяжение и измерений твердости на поверхности катания головки рельсов, получен достаточно высокий комплекс механических характеристик. При этом значения ударной вязкости всех исследуемых рельсов при температуре испытаний +20 °С находятся на сопоставимом уровне.

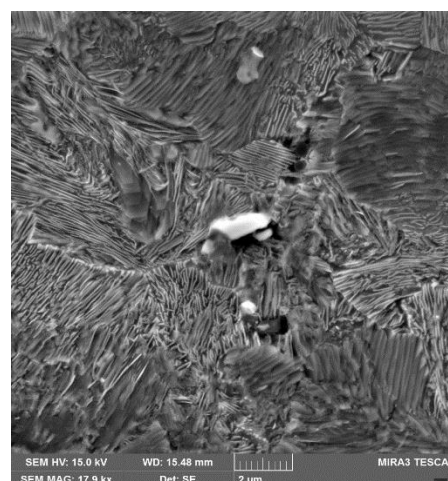
Значение межпластинчатого расстояния, полученное в результате измерений в металле исследуемых проб, находится в интервал 0,098 – 0,102 мкм. Средний размер диаметра зерна находится на сопоставимом уровне и соответствует 9 номеру (16,5 – 17,0 мкм).

Таблица 3 – Состав и размеры неметаллических включений

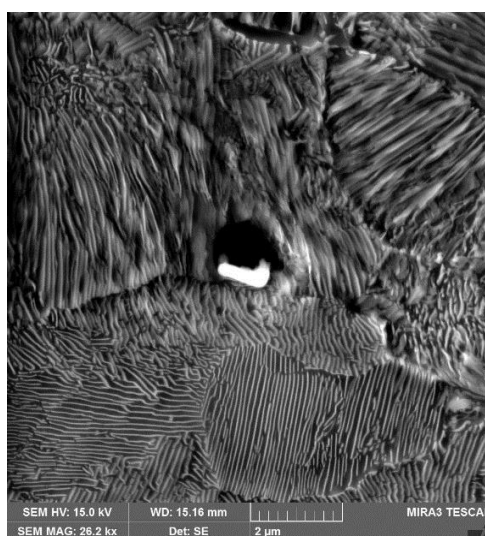
tввид из ПШБ, °С	Тип включения	Состав		Размеры включений, (макс), мкм	Номер рисунка
		Элементный	Количественный, %		
1160	Карбонитриды	<i>Nb – Ti – V</i>	70 – 25 – 5	до 8,0	1а
1220	Карбонитриды	<i>Nb – Ti – V</i>	50 – 50 – 3	до 2,0	1б
1280	Карбонитриды	<i>Nb – Ti – V</i>	70 – 28 – 2	до 1,5	1в



а



б



в

Рисунок 1 – Характер распределения карбонитридов (*Nb – Ti – V*) в микроструктуре исследуемого рельсового металла

В соответствии с данными таблицы 3 и рисунка 1 следует, что в микроструктуре металла исследуемых рельсов, изготовленных из раскатов НЛЗ с повышенной температурой выхода из ПШБ, включения карбонитридов имеют меньшие размеры (рисунок 1 в) и встречаются реже, преимущественно на границе перлитных колоний, а также в объеме зерна, по сравнению с количеством и размерами карбонитридов в металле рельсов, изготовленных из раскатов НЛЗ плавки с более низкой температурой выхода из ПШБ (1160 °С). Состав выявленных включений в микроструктуре металла всех исследуемых рельсов находится на сопоставимом уровне и представляет собой карбонитриды сложного состава с наибольшим содержанием ниобия (от 50 до 90 %), титана (от 15 до 50 %) и ванадия (от 2 до 8 %).

Выводы

В результате исследования металла рельсов, микролегированных ниобием в количестве 0,020 %, прокатанных из НЛЗ с температурой выдачи из печи 1160, 1220 и 1280 °С установлено:

1. При испытаниях на растяжение и измерений твердости на поверхности катания головки исследуемых рельсов получен достаточно высокий комплекс механических свойств. Значения ударной вязкости при температуре испытаний +20 °С находятся на сопоставимом уровне.

2. Межпластинчатое расстояние, измеренного в микроструктуре металла исследуемых рельсов соответствует интервалу значений 0,098 – 0,102 мкм. Средний размер диаметра зерна рельсов в результате измерений составил 16,5 – 17,0 мкм, что соответствует 9 номеру зерна.

3. При повышении температуры выхода металла из ПШБ размеры карбонитридов уменьшаются от 8,0 мкм ($t_{\text{вых.ПШБ}} = 1160$ °С) до 1 – 2 мкм ($t_{\text{вых.ПШБ}} = 1220 - 1280$ °С). Карбонитриды встречаются преимущественно на границе перлитных колоний, а также в объеме зерна. При этом состав выявленных включений соответствует друг другу и представляет собой карбонитриды сложного состава с наибольшим содержанием ниобия (от 50 до 90 %), титана (от 15 до 50 %) и ванадия (от 2 до 8 %).

Библиографический список

1. Титова Т.М. Резервы повышения качества рельсов, совершенствование технологии микролегирования рельсовой стали // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2005. - № 8. – С. 176 – 183.

2. Полевой, Е.В., Добужская, А.Б., Темлянцев, М.В. Влияние скорости охлаждения на формирование структуры рельсовой стали, микролегированной ванадием и ниобием // Машиностроение, метариаловедение: Вестник ПНПУ. – 2016. - № 4. – С. 7 – 20.

3. Снитко Ю.П., Введенский А.В., Королев Н.В. Расчет растворимости карбонитридов в рельсовой стали // Сб. докладов: Материалы юбилейной рельсовой комиссии, 2002. – Новокузнецк. – С.97.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Олифиренко И.А.¹, Осколкова Т.Н.²

¹*АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский
металлургический комбинат»,*

г. Новокузнецк, e-mail: Ivan.Olifirenko@evraz.com

²*Сибирский государственный индустриальный университет,*

г. Новокузнецк, e-mail: oskolkova@kuz.ru

Результаты, приведённые в настоящей работе, является освоением и дальнейшим исследованием методики оценки износостойкости железнодорожных рельсов, произведенных на АО «ЕВРАЗ ЗСМК», целью которой является физическая моделирование процесса адгезионно-деформационного механизма трения образцов, изготовленных из рельсов двух различных химических составов на роликовой машине трения DUCOM TR-25 (Трибометр).

Ключевые слова: трибометр, износ, износостойкость, рельсы, твёрдость, дефекты, трение, деформированная структура.

Одним из наиболее значимых факторов, определяющим срок службы рельсов в кривой на железных дорогах большой протяженности, является износ. Известно [1], что интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава зависит от многих факторов. Согласно современным представлениям, при контакте двух сопряженных поверхностей и их относительном перемещении в поверхностных слоях возникают механические и молекулярные взаимодействия, которые в конечном итоге и приводят к разрушению микрообъемов поверхностей, т.е. к их износу [2, 3].

В настоящей работе в качестве объекта исследования использовали рельсы типа Р65 текущего производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» составов, близких по содержанию к эвтектоидному, стали марки 76ХФ по ГОСТ Р 51685-2022 (таблица 1), условно обозначенных состав №1 и №2.

Таблица 1 - Химический состав ковшевой пробы рельсовых сталей

№ состава	Марка стали	Массовая доля элементов, %						
		C	Mn	Si	Cr	V	Ni	Cu
№1	76ХФ	0,76	0,79	0,57	0,41	0,04	0,08	0,12
№2		0,81	0,97	0,57	0,43	0,04	0,08	0,11

Сравнительный анализ содержания химических элементов показал, что образцы из рельсовой стали состава №2, отличается от рельсовой стали состава №1 повышенным содержанием С, Мn, Cr.

Испытания трением всех исследуемых образцов проводили при одинаковых режимах на роликовой машине трения производства фирмы DUCOM

модель TR-25 (Нидерланды). Машина оснащена датчиками износа, вихретоковым датчиком, двумя датчиками вибрации, которые проводят измерения в 3-х плоскостях (x, y, z). Стоит отметить ряд вычислительных параметров, которые машины фиксирует в виде графиков: коэффициент трения, степень проскальзывания, сила трения, скорость проскальзывания и скорость подъёма, соотношения скольжения к ролику (машина вычисляет параметры в соответствии с новыми вводными параметрами).

Для проведения лабораторных испытаний на роликовой машине DUCOM TR – 25 с целью оценки износостойкости образцов из рельсов составов №1 и 2, вырезали по одному образцу в соответствии с чертежом, представленным на рисунках 1 и 2.

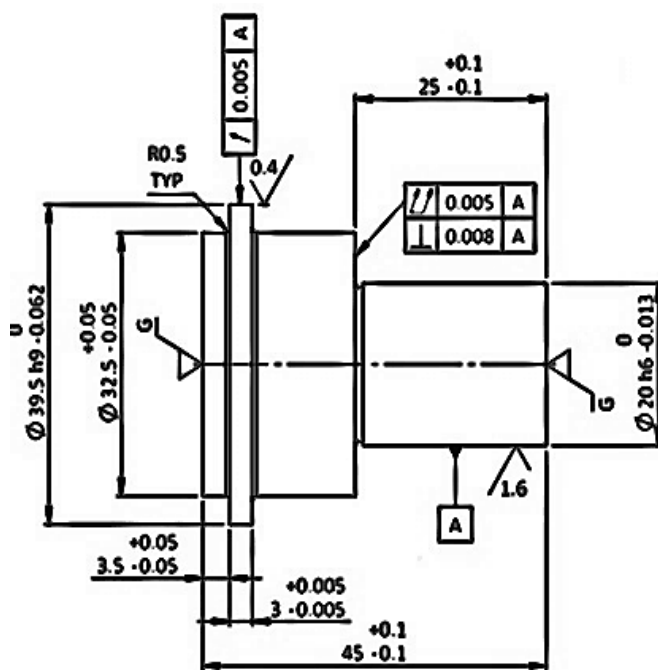


Рисунок 1 – Схема вырезки образца

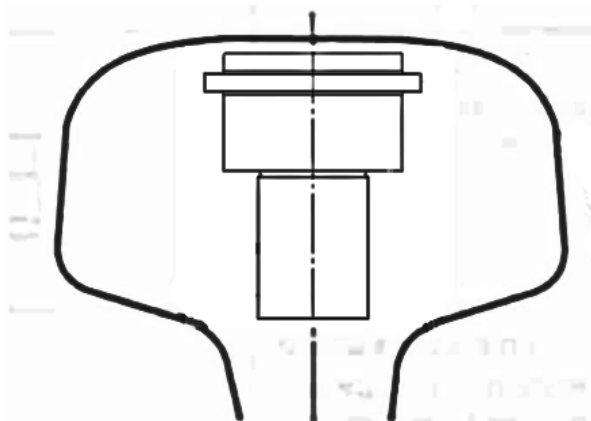


Рисунок 2 – Схема вырезки образца

В качестве контактного образца, использовали термоупрочнённый ролик с твёрдостью – $59,0 \div 59 \pm 2\text{HRC}$. Схема контактного образца, представлена на рисунке 3.

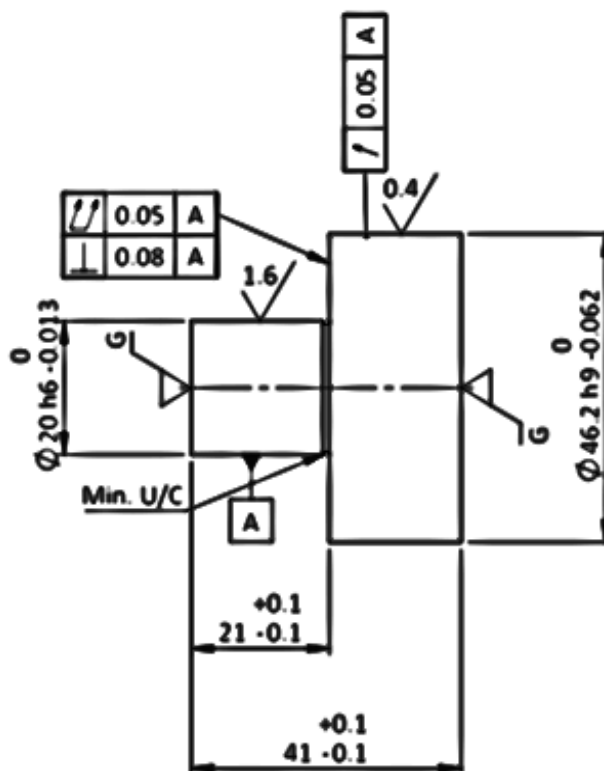


Рисунок 3 – Схема контактного образца

Оценка интенсивности износа рельсовых роликов проводилась с 52000 до 156000 оборотов с целью исключения влияния качества поверхности в начале испытаний и отслоения металла при последних циклах испытаний.

Твёрдость металла исследуемых образцов измеряли методом Виккерса на микротвердомере «Qness Q10A+» по 7 точкам по поверхности образца при нагрузке 5кг, результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты твёрдость образцов

Состав	Значения твердости, НВ						
	1	2	3	4	5	6	7
№1	405	395	384	387	392	402	402
№2	433	426	432	439	437	428	436

Из представленных данных, видно, что распределение твёрдости на образцах из рельсовой стали состава №2 выше на 7,85%, чем на образцах из стали состава №1.

На рисунке 4 представлены результаты интенсивности износа исследуемых рельсовых образцов составов №1 и 2.

Средняя интенсивность износа образцов из рельсов состава №2 составила $1,0665 \text{цикл} \cdot 10^{-5}$, что на 13,5% выше и менее подвержено износу рельсовой стали состава №1, интенсивность износа которого составила и

1,2324г/цикл·10⁻⁵. Необходимо отметить, что после 182 000 циклов образцы, вырезанные из рельсов состава №1, показали резкий рост потери массы образца (рисунок 4).

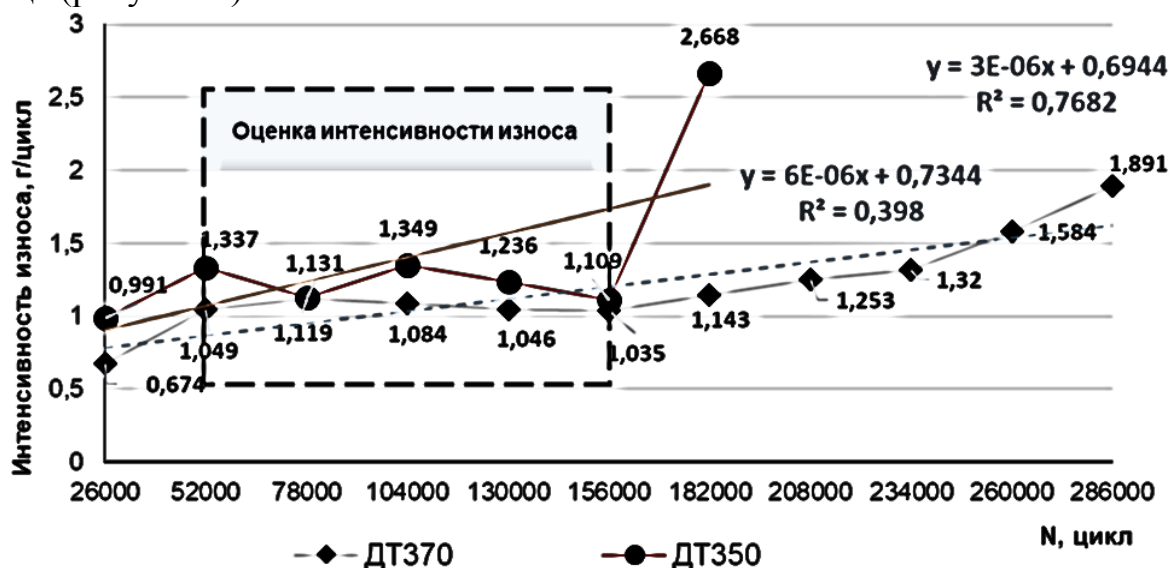


Рисунок 4 – Результаты интенсивности износа рельсовых образцов

Выводы

1. Значения твёрдости на образцах из рельсовой стали состава №2 с повышенным содержанием углерода, марганца и хрома выше на 7,85 %, чем на образцах из стали состава №1.
2. Средняя интенсивность износа образцов из рельсов состава №2 ниже на 13,5 %, чем на образцах из рельсовой стали состава №1.
3. После 182 000 циклов образцы, вырезанные из рельсов категории ДТ350, показали резкий рост потери массы образца.

Библиографический список

1. Шур Е.А. Как правильно сравнивать износостойкость различных рельсов. РСП Эксперт. 2018; № 1–2: 20 – 25.
2. Карпущенко Н.И., Котова И.А. Износ и сроки службы рельсов и колес подвижного состава. Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2019; № 2(80): 41 – 46.
3. Полевой Е.В., Юнин Г.Н., Юнусов А.М., Добужская А.Б., Галицин Г.А. К вопросу об износостойкости рельсов. Сталь. 2019; №7: 62 – 69.

III ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622:681.3.07

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕХОДА РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧАЮЩЕ- ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ «ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ»

Кротков И.А., Любогощев В.И., Домрачев А.Н.

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

В данной статье рассматривается дальнейшее развитие обучающе-тестирующей программы в части реализации модуля выбора и оценки параметров технологии перехода разрывных нарушений. Для нового модуля разработана методика оценки решений по переходу разрывных нарушений на основе существующих критериев влияния горно-геологических условий на показатели очистных работ.

Ключевые слова: технология перехода разрывного нарушения, методика оценки, обучающе-тестирующая программа, критерий эффективности решений.

Обучающе-тестирующая программа «Технология отработки пологих пластов» [1] является модульной системой, в которой для аттестации по теме «Технология отработки мощных пластов» реализованы четыре самостоятельных модуля: «Отработка пласта средней мощности с комбайновой выемкой угля», «Отработка пласта средней мощности со струговой выемкой угля», «Слоевые системы разработки» и «Технология отработки с выпуском угля из подкровельной пачки» [2, 3]. Действия обучаемого состоят в анализе исходных данных, выполнении промежуточных расчетов и выборе необходимых технических решений [3, 4].

На текущем этапе развития обучающе-тестирующей программы возникла потребность в совершенствовании алгоритма определения и оценки параметров перехода разрывного нарушения за счет реализации дополнительного модуля для формализации и оценки действий обучаемого. В основу этого модуля положены зависимости для расчета коэффициента влияния горно-геологических условий, приведенные в [5] и методология оценки риска обрушения очистных выработок [6]. На первом этапе алгоритм был реализован в электронных таблицах Open Office Calc (рисунок 1). Для оценки технических решений по переходу разрывных нарушений в модуле обучающе-тестирующей программы была разработана матрица влияющих факторов, структура которой приведена в таблице 1.

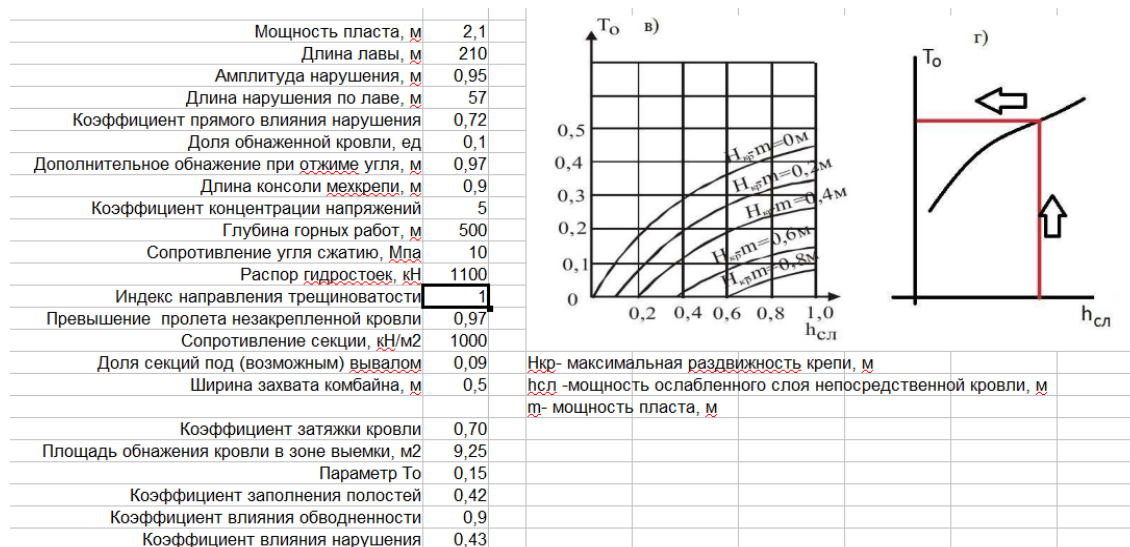


Рисунок 1 – Реализация алгоритма оценки параметров перехода разрывных нарушений в табличном процессоре

Для оценки эффективности принимаемых решений предлагается также использовать дополнительный критерий p_i вида:

$$p_i = \frac{w_i k_i}{k_{геол}} \quad (1)$$

где k_i – коэффициент влияния i -го фактора согласно [5];

w_i – весовой коэффициент i -го фактора;

$k_{геол}$ – интегральный коэффициент влияния горно-геологических условий [5].

Таблица 1- Матрица влияющих факторов

Области решений Факторы	Методы и критерии оценки принимаемых решений в части		
	Маневрирования ОМК	Упрочнения кровли и стенки забоя	Крепление кровли / заделки вывалов
Амплитуда нарушения	Угол подъема мех-комплекса и длина участка перехода [10]		
Отжим угля		Глубина отжима [9]	
Площадь обнажения кровли	Объем дополнительной присечки породы [10]	Коэффициент перетяжки кровли [5] Коэффициент устойчивости незакрепленной кровли [7,8]	Доля секций с дополнительным обнажением [7] Критерий Ю.Б. Грядущего [7,8]
Наличие/объем вывалов			Коэффициент заполнения вывалов [5]
Параметры механизированной крепи	Угол подъема механизированного комплекса [10]	Глубина отжима [9]	

Так, например, при выборе технологии заполнения вывалов пород кровли при $p_{пол} < 0,2$ положительно оценивается отказ от дополнительных мероприятий, при $0,2 < p_{пол} < 0,5$ возможно использование временной крепи, при $p_{пол} > 0,5$ требуется заполнение клетями из лесоматериалов или специальными полимерными составами.

Реализованный для эффективного использования модуля специальный интерфейс приведен на скриншоте (рисунок 2).

Крепость неп. кровли $f_{ок}$, М	4.1
МАХ время обнажения t_o , с	1200
Мощность пласта m , м	1.7
Глубина горных работ h , м	600
Длина лавы $l_{лав}$, м	300
Угол падения пласта α , град	9
Амплитуда нарушения h , м	1.3
Длина нарушения $l_{нар}$, м	65
Тип мехкрепи	Агрегатная мехкрепь
Сопротивление гидростойки P , кН	950
Сопротивление секции P , кН/2	560
Максимальная высота мехкрепи $H_{кр}$, м	0.25
Тип кровли	Средняя
Слой ослабленной кровли $H_{окр}$, м	0.3
Обводненность лавы	Лавы сухая (до 6м3/ч)
Категорийность шахты	Выше III категории
Плотность угля γ , т/м ³	1.3
Ширина захвата комбайна g , м	0.8
Устойчивость кровли	Кровля неустойчивая
Отсутствие мехкрепи сопряжения	<input type="checkbox"/>
Индивидуальная крепь у сопряжений в лаве	<input type="checkbox"/>
Продолжительность смены $t_{см}$, мин	360
Упрочнение груди забоя	Без упрочнения
Крепление обнажений кроали	Без крепления
Заполнение вывалов	Без заполнения
Длина участка перехода $l_{пер}$, м	20
Поворот в горизонтальной плоскости β , град	0
Коэфф. $K_{геол}$	0.11
Глубина отжима, м	2.95
Доля обнажения кровли	0.42
ПРОМЕЖУТОЧНАЯ ОЦЕНКА	1.75
ОШИБКА	требуется перетяжка кровли

Рисунок 2 – Интерфейс модуля оценки технических решений по переходу разрывных нарушений

Реализация модуля оценки эффективности технических решений при переходе разрывных нарушений позволит существенно повысить эффективность использования обучающе-тестирующей программы при выполнении лабораторных работ по курсу «Технология отработки пологих пластов».

Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021613518 «Подземная отработка пологих пластов», автор Домрачев А.Н., правообладатель Домрачев А.Н., дата государственной регистрации 10

марта 2021 г.

2. Домрачев А.Н. Разработка междисциплинарных компьютерных лабораторных работ как основа массового внедрения обучающе-тестирующих систем по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело» / А.Н. Домрачев, С.В. Риб / Вестник Сибирского государственного индустриального университета №3(25) / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - №3(25). - С.18-21.

3. Говорухин Ю.М. Разработка и внедрение в учебный процесс системы поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка/ Ю.М. Говорухин, А.Н. Домрачев. - Известия Тульского государственного университета. – Тула: Издательство ТулГУ, 2018. - выпуск 1. - С.159-165.

4. Домрачев А.Н. Совершенствование критерия оценки компьютерных лабораторных работ по курсу «Технология отработки пологих пластов» специальности 21.05.04 «Горное дело» / А.Н. Домрачев, С.В. Риб / Вестник Сибирского государственного индустриального университета / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - №4(26). - С.63-65.

5. Нагрузки на очистные забои действующих угольных шахт при различных горно-геологических условиях и средствах механизации выемки. - Люберцы: ИГД им. А.А. Скочинского, 1996. - 48 с.

6. Домрачев А.Н. Адаптация методики оценки риска обрушения выработок к условиям шахт юга Кузбасса// А.Н.Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. - С.81 — 89.

7. Кравченко, В.И. Предупреждение завалов очистных забоев // В. И. Кравченко – М.: Недра, 1970. – 200 с.

8. Грядущий, Ю. Б. Геомеханические основы управления вывалоопасными кровлями в очистных забоях / Автореферат на соискание уч. степени доктора технических наук. – Днепропетровск, 1997. – 35 с.

9. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35°. – Л., 1982. – 136 с.

10. Руководство по переходу геологических нарушений.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ В РОССИИ (2016-2023 ГГ.)

Коновалова О.Ю., Курдюков М.О., Ермаков А.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: ko.gd191@mail.ru*

В статье представлены показатели добычи угля за период 2016-2023 гг. и проведено сравнение открытого и подземного способов добычи. Авторами указана необходимость пересмотра открытого способа разработки на комбинированный в целях улучшения экологической обстановки в регионах страны, добывающие уголь.

Ключевые слова: угольная промышленность, объемы добычи угля, открытый и подземный способы добычи, промышленные отходы, Кузбасский угольный бассейн.

Производство угля в России занимает лидирующие позиции в мире. В недрах страны расположена пятая часть запасов угля. Угольные предприятия используют подземный и открытый способы добычи. Открытый способ, как наиболее распространенный, имеет существенную разницу в добываемых объемах в сравнении с подземным способом. Так, за период 2016-2023 гг. открытым способом извлечено 2561,7 млн. тонн угля. Подземным же способом такой показатель составил 843,4 млн. тонн. Таким образом, с каждым годом добыча угля открытым способом имеет положительную динамику (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 - Добыча угля в России 2016-2023 гг.

На территории Сибири и Дальнего Востока крупные промышленные объекты увеличивают объемы добычи угля с каждым годом, осваивая тем самым новые месторождения в значительном темпе.

Основные производственные мощности сосредоточены в Сибирском федеральном округе, являющийся основным экспортером каменного угля, доля которого в структуре российского экспорта составляет 77,7 %. Лидером по объемам добычи остается Кемеровская область. Далее следуют Красноярский край, Республики Хакасия и Саха (Якутия) и т.д. (рисунок 2) [2].

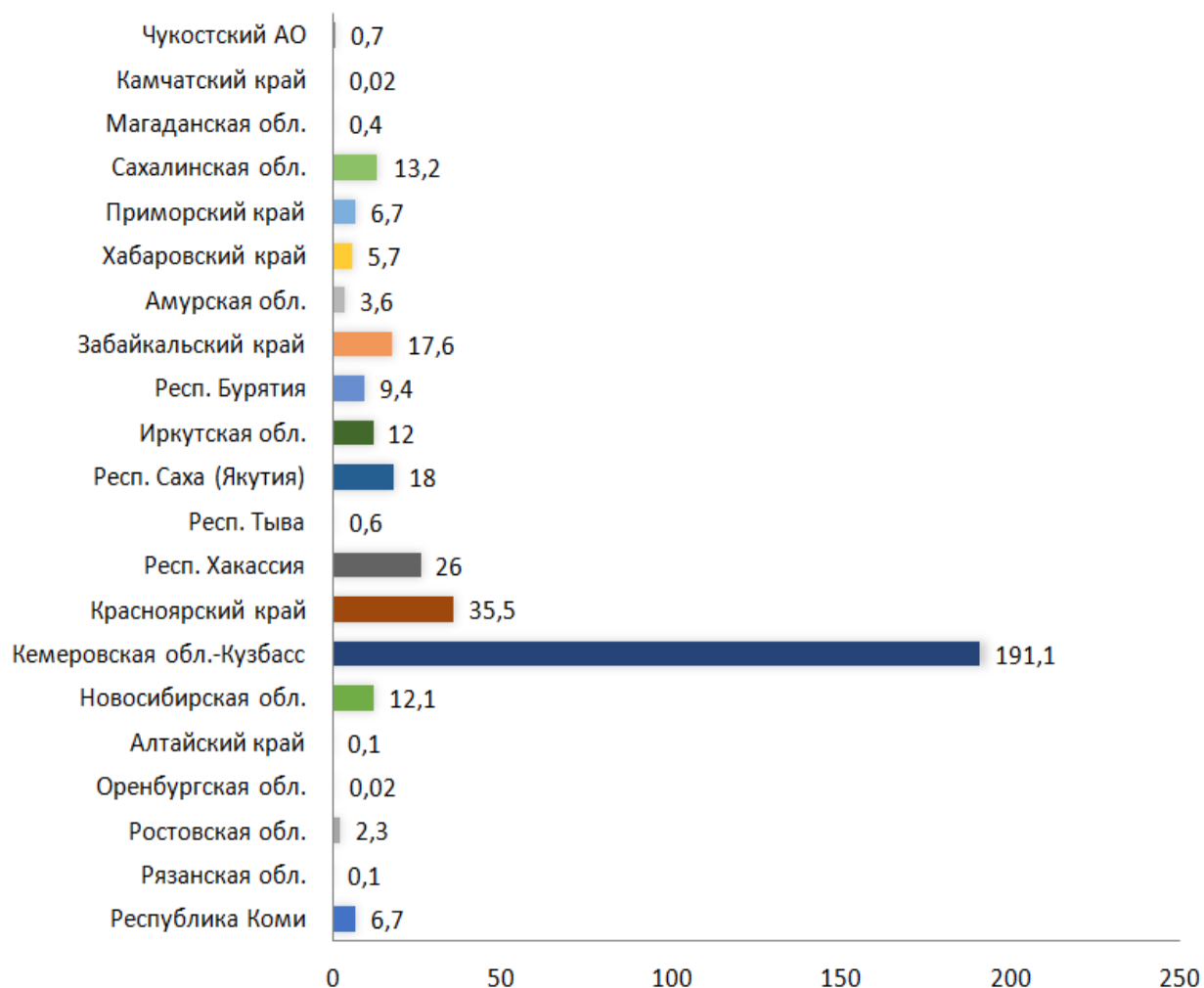


Рисунок 2 – Объемы добычи угля в России, млн. т (2020 г.)

В процессе добычи угля открытым способом объемы вскрышных работ, а соответственно и коэффициент вскрыши имеют тенденцию увеличиваться ежегодно (таблица 1). С 2018 по 2023 гг. коэффициент вскрыши на уровне за счет увеличения добычи на новых месторождениях (Якутия, Хакасия и т.д.), что не показательно. Можно предположить, что в ближайшие годы коэффициент вскрыши при постоянном увеличении будет равен к 2027 г. – 7,3, к 2031 г. – 7,8, к 2039 г. – 8,8.

Таблица 1 – Вскрышные работы

Отчетный год	Вскрышные работы, тыс. м ³	Коэффициент вскрыши
2016	1662466,0	5,8
2017	1948530,0	6,3
2018	2262165,0	6,8
2019	2263315,0	6,7
2020	1923263,0	6,7
2021	2099440,0	6,4
2022	2309377,0	6,8
2023	2293640,0	6,8

При таком увеличении вскрышных работ, образующиеся отвалы пород будут занимать огромные площади, а следовательно, и огромные массы отходов, вызывающие нарушения в экосистеме, разрушая литологический состав почвенного и растительного покрова. В результате чего возрастают значительные риски для экологии в целом. Несмотря на то, что затраты на экологические инвестиции имеют существенный рост, состояние природной и городской среды находятся не в наилучшем состоянии [3].

В связи с такой предположительной динамикой себестоимость угля увеличится в значительной степени, что экономически не целесообразно при открытом способе разработки. Решением проблемы будет являться переход на комбинированный способ разработки. В результате получим высокую производительность труда при меньших затратах, рациональное использование земельных площадей карьерного поля, уменьшение объемов отвалов за счёт применения технологий с закладкой выработанного пространства.

Библиографический список

1. Петренко, И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2022 года / И. Е. Петренко // Уголь. – 2023. – № 3(1165). – С. 21-33. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33. – ЭДН БГЗНД.

2. Чикишева Т.А., Комарова А.Г., Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Предварительная минералого-технологическая оценка отходов углеобогачительной фабрики «Кузнецкая» методом оптико-минералогического анализа в рамках КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс» / Глобус: геология и бизнес / Деловой журнал недропользователя. Выпуск №2 (76) 2023 – с.82.

3. Промышленник Сибири / Отраслевой журнал для собственников, руководителей, инженеров и специалистов промышленных предприятий // АО «СУЭК»: с заботой об экологии и окружающей среде. Выпуск №2 / 2023. Под общей редакцией Б.А. Смирнова. Красноярск, 2023- с.11.

ВАРИАНТЫ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Кротков И.А., Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, ivan.ru104@gmail.com*

Рассмотрены технологии, используемые в глубоководной добыче полезных ископаемых, а также основные вызовы, с которыми сталкиваются компании и ученые. Сделан обзор наиболее перспективных способов добычи на больших глубинах.

Ключевые слова: глубоководная добыча, горные работы, воздействие, окружающая среда, защита, экосистемы, морское дно, загрязнение, тяжелые металлы.

Глубоководная добыча полезных ископаемых представляет собой важное направление в современной горнодобывающей промышленности. С развитием технологий и ростом спроса на ресурсы, промышленность все больше обращается к эксплуатации морских ресурсов. Глубоководная добыча - это процесс извлечения полезных ископаемых, который осуществляется на дне океана. На значительной глубине формируются крупные сульфидные месторождения, содержащие ценные металлы, такие как серебро, золото, медь, марганец, кобальт, цинк. Для добычи таких месторождений применяются гидравлические насосы или ковшовые системы, которые поднимают руду на поверхность для последующей обработки [1].

Последние технологические достижения привели к использованию дистанционно управляемых транспортных средств (ТПА) для взятия проб минералов с перспективных рудников. После обнаружения участка создается горное судно или станция для добычи полезных ископаемых.

Существуют две преобладающие формы добычи полезных ископаемых: ковшовая система непрерывного действия (CLB) и гидравлическая система всасывания. Система CLB (рисунок 1) работает аналогично ленточному конвейеру, идущему от морского дна к поверхности океана, где корабль или горнодобывающая платформа добывают желаемые минералы и возвращают хвосты в океан.

При добыче с использованием гидравлического всасывания труба опускается на морское дно, по которой полезное ископаемое переносится на горное судно. Еще одна труба, идущая с корабля на морское дно, возвращает хвосты в район добычи.

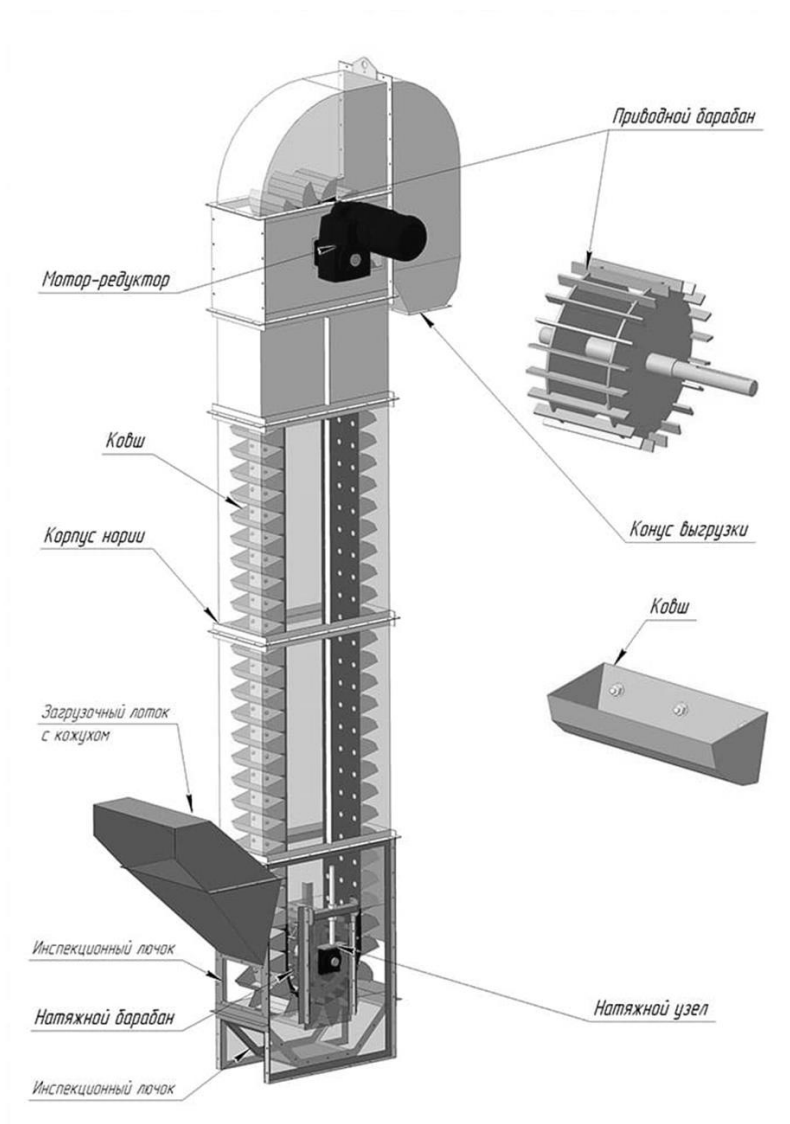


Рисунок 1 – Ковшовая система непрерывного действия CLB [1]

Глубокое море представляет собой богатый источник различных ресурсов, доступных для добычи. Эти ресурсы находятся в различных формах на морском дне. Например, алмазы добываются с морского дна компанией De Beers, а Nautilus Minerals Inc. занимается добычей золота и серебра.

Компания De Beers уже более полувека успешно извлекает алмазы из песчаных отложений. Начиная с глубин до 35 метров, но в 2006 году, после истощения легкодоступных запасов, инженеры De Beers вынуждены были заменить обычные земснаряды на плавучие буровые установки.

В 2015 году специально для освоения запасов на глубине 100–140 метров компания Marine & Mineral Projects построила новый гусеничный «пылесос» с дистанционным управлением - 320-тонный электрогидравлический гигант (проект Solwara 1). Этот уникальный аппарат способен за час очистить от песка площадку размером в два футбольных поля. Технологический цикл завершается на вспомогательном судне Mafuta, где драгоценный шлам непрерывно поступает на сортировочный конвейер. Ежеднев-

но с борта Mafuta доставляется около 700 крупных алмазов высшего качества.

Проект Solwara 1, лицензия на разработку которого принадлежит канадской компании Nautilus Minerals, является значимым в мире глубоководной добычи. Этот проект предполагает извлечение месторождения халькопирита, содержащего 2,5 млн тонн с 7,5% меди, 7,2 г/т золота и 37 г/т серебра, общей рыночной стоимостью \$1,5 миллиарда.

Водно-шламовая схема добычи руды, адаптированная инженерами Nautilus под условия Solwara 1, включает в себя три базовых элемента: подводную карьерную технику с дистанционным управлением, вертикальную систему подъема шлама и вспомогательное судно. Ключевым элементом технологии является первое в мире специализированное судно для глубоководных горных работ, строительство которого началось в апреле 2015 года. Это плавучее судно несет на себе весь технологический цикл месторождения: доставку оборудования в точку погружения; спуск, подъем и обслуживание машин; а также подъем, осушение и складирование шлама.

Глубоководная добыча, как и любая горнодобывающая деятельность, вызывает беспокойство по поводу ее потенциального воздействия на окружающую среду. Группы по защите окружающей среды высказывали опасения относительно разрешения добычи полезных ископаемых на морском дне в большинстве мировых океанов из-за возможного вреда глубоководным экосистемам и загрязнениями, содержащими тяжелые металлы [2].

Поскольку глубоководная добыча является относительно новой областью, полные последствия горных работ для этих экосистем остаются неизвестными. Однако некоторые исследователи предполагают, что удаление частей морского дна может нарушить бентический слой (слой, расположенный ближе ко дну водоема, обитаемый организмами, называемыми «бентосом»), повысить токсичность воды и вызвать загрязнение хвостовыми отходами.

Один из вариантов подхода к решению проблемы предложила компания Impossible Metals - селективная добыча глубоководных полиметаллических конкреций. В настоящее время разрабатывается парк робототехники (рисунок 2) AUV, использующий технологию манипулятора «взять и разместить» для индивидуального сбора конкреций, сводя к минимуму нарушение отложений и экосистем морского дна. Технология распознавания изображений позволит идентифицировать мегафауну, присутствующую на конкрециях, и оставить эти конкреции нетронутыми, сохраняя фауну, зависящую от конкреций [3].

К основным преимуществам этой системы относятся:

1. Низкое воздействие на окружающую среду – отсутствие фауны конкреций, отсутствие значительного шлейфа, отсутствие возврата воды, отсутствие воздействия на структуру отложений или фауну отложений. Низкая освещенность и шумовое загрязнение.

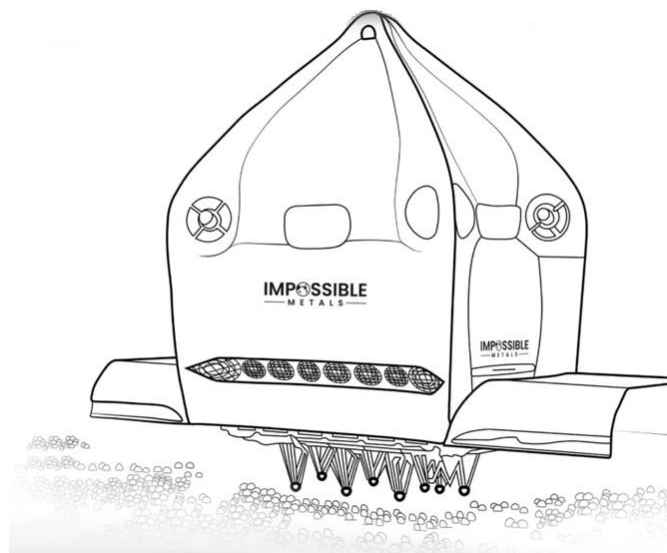


Рисунок 2 – Прототип робототехники AUV компании Impossible Metals [2]

2. Масштабируемость – отсутствие единой точки отказа, возможность начать с низкой производительности и увеличивать ее с течением времени.

3. Экономическая эффективность. Несмотря на то, что технология дноуглубительных работ, разработанная более 30 лет назад, имеет высокие капитальные/операционные расходы со сроком окупаемости 9 лет, наш автономный флот может окупить капитал через 3 года при тех же темпах производства.

Проведенный анализ технологий, используемых в глубоководной добыче полезных ископаемых, показал, что глубоководная добыча играет ключевую роль в обеспечении мировых потребностей в энергии и сырье. Однако, она также представляет собой вызовы с точки зрения технологии, экологии и экономики.

Новые технологии добычи со дна морей и океанов позволят сделать океан неисчерпаемым в обозримом будущем источником твердого минерального сырья. Дальнейшие исследования и инновации необходимы для устойчивого развития этой промышленности и минимизации ее негативного воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Рева Ю.В. Технические средства добычи минеральных ресурсов и полезных ископаемых из глубин Мирового океана / Ю.В. Рева // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskie-sredstva-dobychi-mineralnyh-resursov-i-poleznyh-iskopaemyh-iz-glubin-mirovogo-okeana> (дата обращения: 07.04.2024).

2. Кириченко Ю.В. Анализ экологического воздействия разработок подводных месторождений твердых полезных ископаемых / Ю.В. Кириченко, А.С. Каширский, Г.С. Иващенко // Горная промышленность, № 3

(145).2019. – С. 92–97.

3. ROBOTIC COLLECTION SYSTEM // Impossible metals 2022. – URL: <https://impossiblemetals.com/technology/robotic-collection-system/> (Дата обращения 07.04.2024).

УДК 681.5 [622.6 : 622.371]

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МАШИНАМИ И МЕХАНИЗМАМИ В УСЛОВИЯХ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩИХ РУДНИКОВ

**Марченко Л.А., Владимиров В.В., Карпов А.В.,
Гордеева А.П., Коряга М.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: toly123490@gmail.com*

В данной статье описываются направления диспетчеризации и автоматизации подземных работ в процессе добычи алмазов. Рассмотрены перспективные отечественные и зарубежные системы дистанционного управления машинами и оборудованием. Предложена перспективная схема дистанционного управления с размещением диспетчера на поверхности рудника.

Ключевые слова: система дистанционного управления, диспетчеризация, автоматизация, добыча алмазов, подземная добыча.

Российская компания «Алроса» обеспечивает порядка трети мировой добычи алмазов. Так, в 2021 году компания добыла 32,4 млн карат – это 27 % от мирового объёма [1].

Сегодня все запасы руды, содержащей алмазы, можно разделить на 3 категории. К первой категории относятся 48 % запасов, вовлечённые в эксплуатацию. Вторая категория – это запасы, находящиеся в прединвестиционной фазе и обладающие коммерческим потенциалом. Они составляют 29 % от всех запасов РФ, и данные активы подразумевают отработку подземным способом. Третья категория – те, по которым не приняты инвестиционные решения, составляют 23 % от общего количества.

Более половины добываемых сегодня российских алмазов – это результат работы открытых коренных месторождений. При этом почти половина имеющихся запасов предполагает подземную добычу, что влечёт за собой снижение уровня доходности.

Так как добыча на рудниках производится с помощью буровзрывных работ, вопрос об повышении эффективности БВР становится всё более актуальным.

Цикл БВР включает в себя: бурение шпуров, закладка взрывчатого вещества, взрывание, вентиляция и откатка отбитой горной массы.

Все эти процессы напрямую связаны с наличием бригады в забое выработки. Как следствие имеются постоянные затраты времени, связанные с

функционированием рабочего под землей: перерывы на отдых, обеспечение необходимой концентрации воздуха в выработках участка и пр.

Вариантом решения этой задачи может стать реализация автоматизации и дистанционной диспетчеризации рабочих процессов.

Следующие системы позволяют воплотить данную оптимизацию:

1. Система дистанционного управления от Снабремсервис [2]. Данная система устанавливается на погрузочные машины и позволяет оператору с помощью джойстиковой системы и системы радиуправления, находясь на расстоянии прямой видимости от аппарата производить откатку. Это экономит время на простоях, повысит уровень безопасности и комфорта рабочих (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пульт управления и приемник, использующие радиоканал [2]

2. RCT Contol Master Teleremote от RCT позволяет перенести оператора из кабины машин на эргономичную управляющую станцию с современными удобствами, такими как отопление, которое важно для рудника при экстремальных температурах [3]. Два центра управления разворачиваются на месте, один управляет грузовиками, бульдозером и экскаватором, а второй контролирует буровой станок. Обеспечение операторов удобной рабочей средой повышает производительность, поскольку они остаются более сосредоточенными на работе во время своей смены (рисунок 2).

3. Компания Epiroc занимается автоматизацией оборудования для открытых и подземных горных работ. Предлагаемые системы позволяют работать оператору как в зоне прямой видимости, так и дистанционно [4].

Система дистанционного радиуправления Scooptram позволяет повысить безопасность и эффективно. Система позволяет работать на достаточном расстоянии, чтобы во время выемки и погрузки породы оператор мог находиться вдали от опасной зоны.

Видеопомощник использует камеры на погрузочно-доставочной машине, работающей под землей, и оператор может следить за погрузкой горной масс с помощью монитора. При хорошем обзоре проще загрузить больше породы в ковш, что обеспечивает более высокую эффективность процесса погрузки и разгрузки материалов.



Рисунок 2 – Передатчик MTX1000 [3]

Оснащение погрузчика функцией помощника загрузки дополнительно улучшит работу в зоне прямой видимости за счет системы автоматического управления. Помощник загрузки выдает погрузочно-доставочной машине алгоритм выемки породы в автоматическом режиме. Достаточно просто направить погрузочно-доставочную машину к породе, включить функцию помощника загрузки и задействовать дроссель. Автономная работа под управлением помощника повышает точность и позволяет добиться стабильных результатов производства.

Автоматизация и дистанционное управление значительно увеличивают производительность и повышают уровень безопасности. Кроме того, они повышают стабильность повседневной работы и обеспечивают предсказуемые результаты.

Объединив вышеперечисленные преимущества с системой deep automation, позволит перенести рабочее место оператора из-под земли в более комфортные условия.



Рисунок 3 – Стандартный пакет для автоматизации Scooptram [4]

Deep Automation – это набор систем и приложений автоматизации от компании Epiroc, используемых для управления погрузчиками и грузовиками при подземных горных работах.

Система позволяет контролировать зоны безопасности, производственные задания и автономное движение в реальном времени, повышая безопасность, согласованность и производительность.

Deep Automation включает в себя:

1. Deep Insights – создание прозрачности данных о подземных операциях для непрерывного улучшения автоматизированного парка.

2. Deep Fleet Simulations – симуляцию производственной зоны перед разработкой шахты или внедрением решений автоматизации.

3. Deep Safety – гибкие зоны и управление доступом к производственной зоне, позволяющие безопасно и без перерывов проверять новые транспортные средства.

4. Deep Routes – запись, настройка и обучение маршрутов для умных машин.

5. Deep Control – управление безопасностью, производственными.

Из рассмотренных технологий автоматизации и диспетчеризации работы машин и оборудования, для условий подземной добычи, наиболее перспективными являются разработки компании Epiroc. Они позволяют удаленно управлять процессами за счет вывода диспетчера в закрытый модуль в подземных условиях или разместив его на поверхности.

Библиографический список

1. Добыча алмазов в России: запасы и перспективы: Журнал «Добывающая промышленность». – URL: <https://dprom.online/mtindustry/dobycha-almazov-v-rossii-zapasy-i-perspektivy> (дата обращения: 28.03.2024).

2. Система дистанционного управления: Инжиниринговая компания «Снабремсервис». – URL: https://iksrs.ru/production/remote_control_system (дата обращения: 28.03.2024).

3. Дистанционное управление : [Электронный ресурс] : RCT Powered by Epiroc. – URL: <https://rct-global.com/ru/automation-control/remote> (дата обращения: 28.03.2024).

4. Автоматизация и управление информацией. – URL: Epiroc продукция. – URL: <https://www.epiroc.com/ru-ru/innovation-and-technology/automation-and-information-management#> (дата обращения: 28.03.2024).

УДК 622.242.2

ПРИМЕНЕНИЕ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Ворсина А.М., Агеев Д.А., Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lika.vorsina.2001@mail.ru*

В статье рассмотрена проблема эксплуатации импортного бурового оборудования на разрезах Кемеровской области. Приведен сравнительный анализ бурового оборудования, применяемого на ООО «Разрез «Киселевский», ООО «Разрез «Южный», ООО «Разрез «Березовский».

Ключевые слова: импортозамещение, буровое оборудование, отече-

ственное буровое оборудование, угольный разрез, бурение, буровой станок.

На сегодняшний день в Кузбасский угольный бассейн входит 57 действующих разрезов. До 2022 года на разрезах использовались (82 %) импортные буровые станки. На данный момент ситуация на рынке и проблемы с поставками импортной техники в связи с введенными санкциями не исчезли. Необходимость замены горнодобывающего импортного оборудования на оборудование российского производства по-прежнему присутствует на разрезах Кузбасса [1,2].

Средняя доля использования импортного оборудования на шахтах и разрезах с 2015 по 2021 г. по отрасли выросла с 74,9 до 81,4% (в 1,2 раза), а с 2022 года по настоящее время наблюдается резкий спад использования импортного оборудования до 56,8-55,9 % (в 1,4-1,6 раза), (рисунок 1).

За последние девять лет добыча открытым способом выросла с 82,3 % в 2015 г. до 89 % в 2023 г. Среднемесячная производительность труда рабочего по добыче угля на открытых горных работах выросла за девять последних лет в 1,4 раза, а в целом по угольной промышленности России в 1,5 раза.

В настоящее время на разрезах Кузбасса сложилась следующая ситуация: с одной стороны, идет замена парка горного оборудования новыми импортными буровыми станками с глубиной бурения более 50 м, а с другой – наблюдается стабильность и даже уменьшение высоты отрабатываемого вскрышного уступа. Данный фактор негативно сказывается на производительность буровой техники и, следовательно, на эффективность работы горнотранспортного комплекса в целом. Рассмотрим данную проблему на примере бурового оборудования, установленного на трех разрезах Кузбасса.

Современная буровая установка – это сложный комплекс различных по назначению машин, механизмов, сооружений, приборов, инструмента, с помощью которых осуществляются все процессы, связанные с бурением скважин [3].

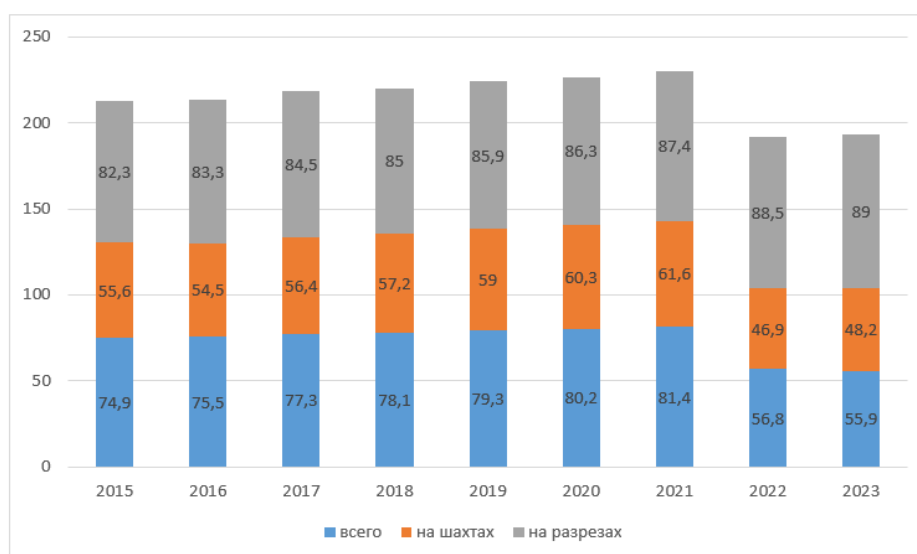


Рисунок 1 – Динамика средней доли используемого импортного оборудования на шахтах и разрезах России [1]

На ООО «Разрез Киселевский» парк буровых станков представлен импортными буровыми станками Ingersoll-rand DML (рисунок 2).



Рисунок 2 – Буровой станок Ingersoll-rand DML

На ООО «Разрез «Южный» присутствует тенденция в использовании бурового оборудования, поставленного из КНР (Китайской народной республики). В данный момент используется станок Zega D480A (рисунок 3).

ООО «Разрез «Березовский» заинтересован в технике российского производства, которые на данный момент эксплуатируются на предприятии. Парк буровых станков представлен из станков отечественного производства СБ-55Д-01 (рисунок 4).



Рисунок 3 – Буровой станок Zega D480A

Сравнение характеристик буровых станков представлено ниже в таблице 1.



Рисунок 4 – Буровой станок СБ-55Д-01

Комплектация буровой установки зависит от условий, в которых ей предстоит работать, назначения скважины, свойств грунта и способа бурения.

В сравнении с импортным оборудованием, российское имеет следующие преимущества:

- увеличение скорости бурения и производительности за счет оптимального соотношения между усилием подачи, крутящим моментом и скоростью вращения;
- устойчивая против скручивания конструкция мачты;
- все запчасти имеются в наличии;
- увеличенная устойчивость, за счет четырех горизонтирующих домкратов и подвески ходовой тележки «плавающего типа»;
- стоимость запасных частей не высокая;
- гидравлически управляемая система свинчивания и развинчивания труб;
- большая неподвижная задняя платформа увеличивает безопасность и доступность во время всех буровых операций [3].

Таблица 1 – Характеристика буровых станков

Предприятие	Наименование станка	Производство	Диаметр бурения (мм)	Глубина бурения (м)	Масса (кг)	Наибольший угол подъема (град)	Скорость передвижения (км/ч)
ООО «Разрез «Киселевский»	Ingersoll- rand DML	Импорт США	200-251	54,9	38600	20	2,7
АО «Разрез «Южный»	Zega D480A	КНР	152-203	35,0	25000	25	3,4
ООО «Разрез «Березовский»	СБ-55Д-01	Россия (г. Екатеринбург)	152-250	45,0	28500	30	3,2

Таким образом, на основании проведенного анализа эксплуатируемого бурового оборудования на разрезах Кузбасса, установлено, что импортные буровые станки не выгодно использовать из-за прекращения поставок оборудования и запасных частей в страну. Оборудование из КНР удобно в использовании за счет увеличенной скорости передвижения, но не эффективно, т.к. поломки происходят достаточно часто. Самым оптимальным вариантом на данный момент является буровое оборудование отечественного производства. Российским буровым станкам присуще следующее: высокая скорость передвижения; большой угол подъема; выход оборудования из строя происходит крайне редко; всегда есть необходимые и недорогие запасные части.

Библиографический список

1. Официальный сайт Министерства угольной промышленности Кузбасса / Угольная отрасль Кузбасса в цифрах. – URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/> (дата обращения 15.01.2024г.).
2. Федотенко В.С. Выбор комплексов горного и транспортного оборудования для разработки высокого вскрышного уступа / В.С. Федотенко // Вестник КузГТУ. 2012. №2(90). С. 31-36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-kompleksov-gornogo-i-transportnogo-oborudovaniya-dlya-razrabotki-vysokogo-vskryshnogo-ustupa/> (дата обращения 15.01.2024г.).
3. Буфина Н.Э. Материально-техническое оснащение добычи угля в Кузбассе открытым способом в конце 1990-х гг. Начале XXI в / Н.Э. Буфина // Известия АлтГУ. 2010. - №4-2. - С. 23-27.

УДК 622.822

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Ворсина А.М., Агеев Д.А., Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lika.vorsina.2001@mail.ru*

В статье рассматривается проблема эндогенной пожароопасности на угольных разрезах Кузбасса. Предложены мероприятия по предотвращению самовозгорания угля на отвалах и разрезах.

Ключевые слова: эндогенные пожары, угольные пласты, самовозгорание, разрезы Кузбасса.

Наиболее часто встречаемым видом аварий на угольных предприятиях Кузбасса являются эндогенные пожары (рисунок 1) [1-5]. Атмосфера заполняется токсичными газами, а скопления горючих газов и угольной пыли могут легко воспламениться. Эндогенные пожары причиняют разрезам огромный финансовый ущерб [5].

Пожароопасность разрезов обуславливается рядом объективных фак-

торов. По результатам многолетних исследований были выявлены категории, степень и критерии пожароопасности представленные в таблице 1.

Весьма значимым вопросом остается предотвращение окисления углей, которые в следствии нагреваются и самовозгораются. На сегодняшний день данная проблема до сих пор не решена.

Разработаны рекомендации по созданию и внедрению средств противопожарной защиты на разрезах Кузбасса, а также мероприятия по предотвращению самовозгорания отвалов.

Таблица 1 – Классификация разрезов по степени пожароопасности [1]

Категория пожароопасности	Степень опасности	Критерий пожароопасности
I	Неопасные	до 25
II	Мало опасные	26-50
III	Умеренно опасные	51-75
IV	Опасные	76-100
V	Повышенной опасности	101-125
VI	Весьма опасные	более 125

Мероприятия по предотвращению самовозгорания отвалов включают в себя:

- размещение горной массы, склонной к возгоранию, в отвалах из числа пассивных пород тонким слоем для абсолютной ее дезактивации;
- при создании породного отвала нужно изолировать горизонтальные и наклонные поверхности пассивными породами;
- выгружать горящую отвальную горную массу необходимо на породах, не содержащих горючих компонентов и после отсыпки необходимо принимать меры по ее тушению;
- в период формирования отвалов необходимо создание плавного перехода между сторонами отвала, откосами и горизонтальными частями;
- уплотнение отвальной массы специальными или транспортными средствами, высота уплотняемого слоя не должна превышать 0,5-1,0 м;
- на сопряжении горящего и не горящего отвалов формируется противопожарный барьер отрезной траншеей, ширина которой не менее 5 м;
- снижение уровня горючих веществ при добыче и обогащении полезного ископаемого, а также при складировании горной массы в породные отвалы.

В качестве основного способа профилактики на разрезах Кузбасса предлагается использование инертных (пассивных) пород. Толщина слоя инертного материала должна составлять:

- сыпучего песчаного, песчано-глинистого и глинистого – 0,8-1,0 м;
- кускового (алевролиты, песчаник) – 2-3 м (с учетом коэффициента неравномерности – 4,5 м).

Схема размещения углесодержащих пород во внешнем отвале представлена на рисунке 1.

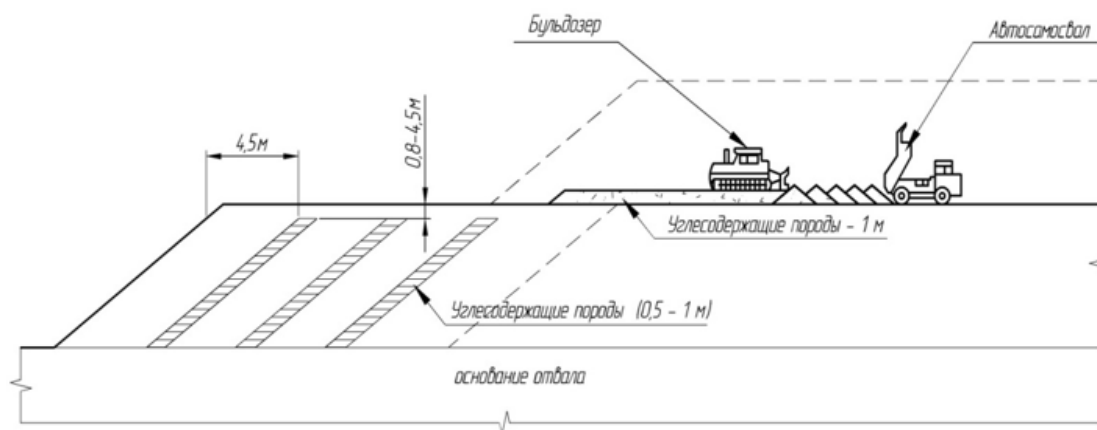


Рисунок – Схема размещения углесодержащих пород во внешнем отвале

Рекомендуются следующие мероприятия по предотвращению самовозгорания пластов угля:

- своевременное выявление источников самонагревания угля;
- изоляция рабочих площадок, угольных пластов, а также проработанного пространства пассивными породами для предотвращения распространения очагов возгорания. Толщина слоев инертных пород составляет 0,20-0,25 м.
- обеспечение оперативной и абсолютной выемки угля;
- обновление угольных отложений согласно фронту горных работ на угольных и породно-угольных уступах, не превышающее инкубационный период самовозгорания угля;
- тщательная зачистка абсолютно всех элементов угольных уступов от разрыхленного угля, «kozyрьков» и нависей;
- своевременная отработка угольных и породно-угольных блоков, подготовленных к выемке с помощью взрывных работ;
- своевременное устранение угольных и породно-угольных скоплений, образовавшихся в результате неполной разовой выемки угля в блоке, при оползне или от зачистки отработанных площадей;
- обработка пассивными изолирующими материалами угольных и породно-угольных уступов въездных траншей, нерабочих бортов, а также породных отвалов;
- в зимний период обработка вскрытых пластов угля сухими инертными породами. Толщина слоя инертных пород составляет 0,20-0,25 м. Породы предусматривается уплотнять бульдозером.

Для предотвращения эндогенных пожаров антипирогенами в летний и весенний периоды в качестве антипирогена рекомендуется 10-15 % водного раствора хлорида кальция.

Вывод. Предотвращение самовозгорания угля на разрезах наряду с ее важностью является одной из трудноразрешимых задач. На сегодняшний день проблема с самовозгоранием угля на разрезах Кузбасса запрашивает

новейшие исследования и технологические решения, результат которых может решить данную проблему. Перечисленные выше методы могут благотворно повлиять на снижение уровня эндогенной пожароопасности.

Библиографический список

1. Руководство по использованию комплекса техногенных мероприятий для профилактики и тушения пожаров на разрезах / Standart.GOST. – URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293736802> (Дата обращения 20.01.2024).

2. Моисеев А.А. Анализ причин возникновения и разработка рекомендаций по профилактике и тушению эндогенных пожаров на шахтах Юга Кузбасса / А.А. Моисеев, А.М. Никитина, С.В. Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. 2020. С. 133-138.

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

4. Борзых Д.М. Предупреждение и локализация эндогенных пожаров в угольных шахтах/ Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 4. Естественные и технические науки. – С. 89-92.

5. Белавенцев Л.П. Профилактика очагов самовозгорания на угольных разрезах / Л.П. Белавенцев, А.Я. Каминский, С.А. Лебедев // Вестник Научного центра, 2008. - №2. - С. 15-17.

УДК 622.015 : 622.271.3.004.4

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Трабер Н.С., Ворсина А.М., Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nikitatraber01@gmail.com*

В статье рассматривается целесообразность использования роботизированных технологий на разрезах, оценивается технико-экономическая эффективность применения автоматизированных систем, таких как беспилотные автосамосвалы при добычи полезных ископаемых.

Ключевые слова: автоматизация, роботизация, повышение безопасности, беспилотные самосвалы.

Сегодня в развитых государствах наблюдается внедрение инновационной технологической волны, которую принято называть «Индустрия-4.0». Данная инициатива охватывает разнообразные сферы промышленности, включая горнодобывающий сектор [1,2].

Горнодобывающая промышленность обладает большим потенциалом для автоматизации. Одним из главных достоинств роботизированных систем является повышение уровня безопасности за счет вывода человека из зоны ведения горных работ. Основным направлением для достижения безлюдной выемки полезных ископаемых является комплексная механизация и автоматизация производства с последующим внедрением робототехники, выполняющей тяжелые операции.

На сегодняшний день производится такая роботизированная горно-промышленная техника, как беспилотные самосвалы Камаз-6959, Komatsu, Caterpillar, Scania и др. Такая техника решает сразу несколько производственных задач, снижает производственный травматизм, профессиональные заболевания и способствует повышению экономической выгоды [3].

В 2016 году компания Komatsu представила свой инновационный проект - автономный карьерный самосвал без кабины водителя, которого заменил центральный контроллер. При этом существенно изменена компоновка и эргономика машины.

Основным отличием подобных машин является их способность двигаться вперед и назад с равной скоростью, полный привод и управление, как вращением всеми четырьмя колесами, так и поворотом. Вследствие этого, уменьшается время на постановку машины под погрузку и разгрузку. Поскольку отсутствует необходимость в развороте автомобиля, то экономится место в призабойной и разгрузочной зонах, следовательно, требуется минимум вскрышных работ.

Использование лидаров, радаров, ультразвуковых датчиков и оптико-электронной системы (рисунок 1) обеспечивает точность позиционирования самосвала до 1 см. Система управления технологическим транспортом исключает возможность столкновения с обычными транспортными средствами, управляемыми водителями, в той же рабочей зоне. Если человек или другое транспортное средство окажутся вблизи от беспилотного самосвала при его движении, то датчик препятствий активируется, и самосвал останавливается в аварийном режиме.

ПАО «БЕЛАЗ» совместно с компанией «ВИСТ Групп» (Россия) представили беспилотный самосвал БелАЗ-75137R, который самостоятельно спускается в карьер и поднимается оттуда с грузом. Он может работать в трех режимах: традиционном (оператор-водитель управляет машиной из кабины самосвала), дистанционном (оператор управляет машиной с удаленного рабочего места) и автономном (оператор удаленно только контролирует бортовую систему).

Для повышения безопасности используется ряд систем:

- CDS (система обнаружения столкновений): когда границы цифровых пузырьков пересекаются, CDS подает предупреждение.
- ODS (система обнаружения препятствий): при обнаружении препятствий система остановит самосвал.
- ESB (кнопка аварийного останова): эта система останавливает все беспилотные машины, находящиеся в эксплуатации [4].



Рисунок 1 – Распределение датчиков для беспилотного вождения [5]

Роботизированный комплекс (рисунок 2) состоит из роботизированных самосвалов, терминала дистанционного управления, системы управления, системы связи и системы видеонаблюдения, автоматических шлагбаумов.

Роботизированные самосвалы представляют собой карьерные самосвалы, поддерживающие автономное управление их работой посредством передачи к ним цифровых команд и получения от них обратной связи, но помимо ручного и автоматического управления, они могут управляться оператором дистанционно.

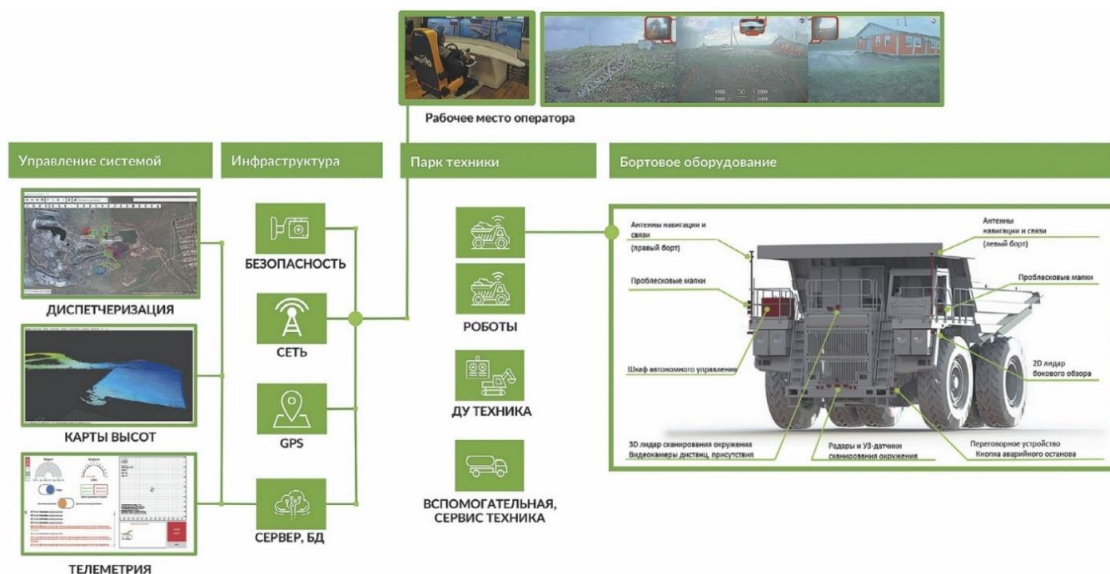


Рисунок 2 - Структура роботизированной системы грузоперевозок [5]

Система управления представляет собой комплекс серверных приложений, установленных на серверном оборудовании и работающих непрерывно в целях оперативного контроля производственной обстановки. Задачи, решаемые под управлением системы:

- движение по маршруту между его конечными точками;
- выполнение маневров под погрузку и на разгрузку;
- построение цифровой карты маршрута движения.

Терминал дистанционного управления (ДУ) состоит из кресла, педалей, руля и видеоэкранов.

Программное обеспечение терминала ДУ интегрировано с системой управления. Управляющие действия на терминале ДУ отключают автоматическое управление роботизированными самосвалами.

Консоль машиниста экскаватора – это микрокомпьютер с сенсорным экраном, устанавливаемый в кабине экскаватора и работающий под управлением встроенного программного обеспечения, интегрированного с системой управления. Консоль машиниста обеспечивает оперативное взаимодействие экскаватора с роботизированными самосвалами при подготовке и выполнении погрузки [5, 6].

По сравнению с традиционным горнотранспортным оборудованием затраты на автономную технику безусловно выше. Однако достаточное количество требуемой инфраструктуры (например, GPS и сети связи) уже есть на многих крупных горнодобывающих предприятиях.

Применение автономного автотранспорта обеспечивает сокращение расхода топлива на 10-15 %, износа шин на 5-15 % и расходов на техническое обслуживание на 8 % [4].

Минусы автоматизации во всех отраслях практически одинаковы:

- беспилотные автотранспортные средства работают по четким логическим правилам, которые для людей могут быть неочевидны. Автономные перевозки требуют новых навыков работы по сравнению с пилотируемыми операциями;

- любая компьютеризация приносит программную уязвимость и угрозу взлома системы;

- в случае массового внедрения автономных систем получим увеличение технической безработицы.

Рассмотрим анализ производственного травматизма на примере АО «УК «Кузбассразрезуголь», в частности, Краснобродский угольный разрез. За шесть лет с 2013 года по 2018 год на разрезе произошёл 41 несчастный случай. В результате выше указанного анализа выявлена самая травмоопасная должность – это эксплуатация карьерных автосамосвалов. Наибольшее количество несчастных случаев произошло в результате воздействия на работников таких опасных факторов, как обрушение, обвалы и падение предметов, падение пострадавшего с высоты, а также дорожно-транспортные происшествия.

На Кузбасских угольных разрезах в основном используются БелАЗы-75306 грузоподъемностью 220 т. Предлагается ввести в эксплуатацию автоматизированные беспилотные автосамосвалы той же грузоподъемности, что позволит решить сразу несколько производственных задач: снизить производственный травматизм, профессиональные заболевания, повысить экономическую эффективность предприятия на 15-20 %, вовлекать в оборот низкорентабельные месторождения. Эффективность производства может достигаться за счет минимизации времени простоев роботизированной техники. Обед, пересменки и т.д. – все эти вынужденные простои техники отсутствуют в случае применения автономной карьерной техники.

С 2024 года рынок роботов будет только расти в среднем на 10-12 % в год.

Библиографический список

1. Гельгенберг И. О. Возможности роботизации карьерной техники на примере автосамосвалов при открытой добыче / И. О. Гельгенберг // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 17–18 мая 2022 года / Под общей редакцией С.В. Коновалова. Том Выпуск 26. Часть V. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2022. – С. 353-357.

2. Дадынский Р. А. Цифровые технологии вспомогательных процессов в горном производстве / Р. А. Дадынский, А. М. Никитина, С. В. Риб // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – № 9. – С. 189-192.

3. Тищенко И.В. Автоматизация и роботизация добычи твердых полезных ископаемых / И.В. Тищенко, Ю.В. Ванаг // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2022. – Т. 2. - № 3. – С. 325-333.

4. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых / М.Л. Хазин // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова – 2020. – Т. 18. - № 1. – С. 4-15.

5. Клебанов Д.А. Применение автономной и дистанционно-управляемой техники на открытых горных работах / Д.А. Клебанов, М.А. Макеев, Д.Н. Сиземов // Горная промышленность. – 2020. – №6. – С. 14-16.

6. Роботизация и цифровизация в горнодобывающей промышленности. БЕЛАЗ об инновационных решениях. – URL: https://www.belarus.by/ru/press-center/speeches-and-interviews/robotizatsija-itsifrovizatsija-v-gornodobyva-jusc-hej-promyshlennosti-belaz-ob-innovatsionnyxreshenijax_i_0000148173.html/ (дата обращения: 04.04.2024). – Режим доступа: свободный.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Апенкин Д.Е., Волошин В.А., Марченко Д.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail:denisden2002@gmail.com*

В статье сформулированы основные направления составления паспортов буров взрывных работ на разрезах Кузбасса, расположенных в границах населенных пунктов. Вопросы охраны окружающей среды занимают первостепенное место. Анализ сейсмических последствий массовых взрывов проводится на основе мониторинга сейсмической активности при ведении взрывных работ рядом с населенным пунктом. Эффективность проводимых работ мониторинга определяется снижением скорости колебаний фундаментов зданий и сооружений социального назначения в зоне действия массового взрыва действующих разрезов.

Ключевые слова: угольный разрез, массовый взрыв, сейсмомониторинг, замедление, количество серий взрывания.

Контроль за воздействием массовых взрывов на угольных разрезах проводится представителями Института горного дела и геосистем СибГИУ методом онлайн мониторинга с использованием сейсмодатчиков и переносных замерных станций ZETLAB отечественного производства. Проведение мониторинга за работой угольного разреза «Междуречье» проводится на протяжении четырех лет. Показания сейсмомомеров увеличиваются по мере приближения разреза к зданиям и сооружениям социально значимых объектов. Для ограничения роста скорости смещений сейсмопоказаний при взрывах на разрезе проводились мероприятия по снижению влияния взрывов на колебания поверхности. Схемы зарядов на разрезах представлены на рисунке 1.

Ограничение влияния массовых взрывов на фундаменты сооружений возможно двумя способами: сокращение объема взрывчатого вещества при приближении разреза к населенным пунктам или изменения схемы взрывания и параметров заряжения скважинных зарядов.

В 2021 году, в целях совершенствования ведения буровзрывных работ, было предложено использовать специальное устройство для формирования скважинного заряда «Рукав зарядный универсальный» (РЗУ) (рисунок 2). Особенностью применения данного устройства РЗУ является возможность формирования скважинного заряда взрывчатого вещества, диаметром менее диаметра забуренной скважины. При использовании создается кольцевой воздушно-водный промежуток между зарядом взрывчатого вещества в рукаве и стенками скважины. Не расходуется энергия взрыва на переизмельчение горной массы в ближней от заряда части увеличивается коэффициент полез-

ного действия взрыва.

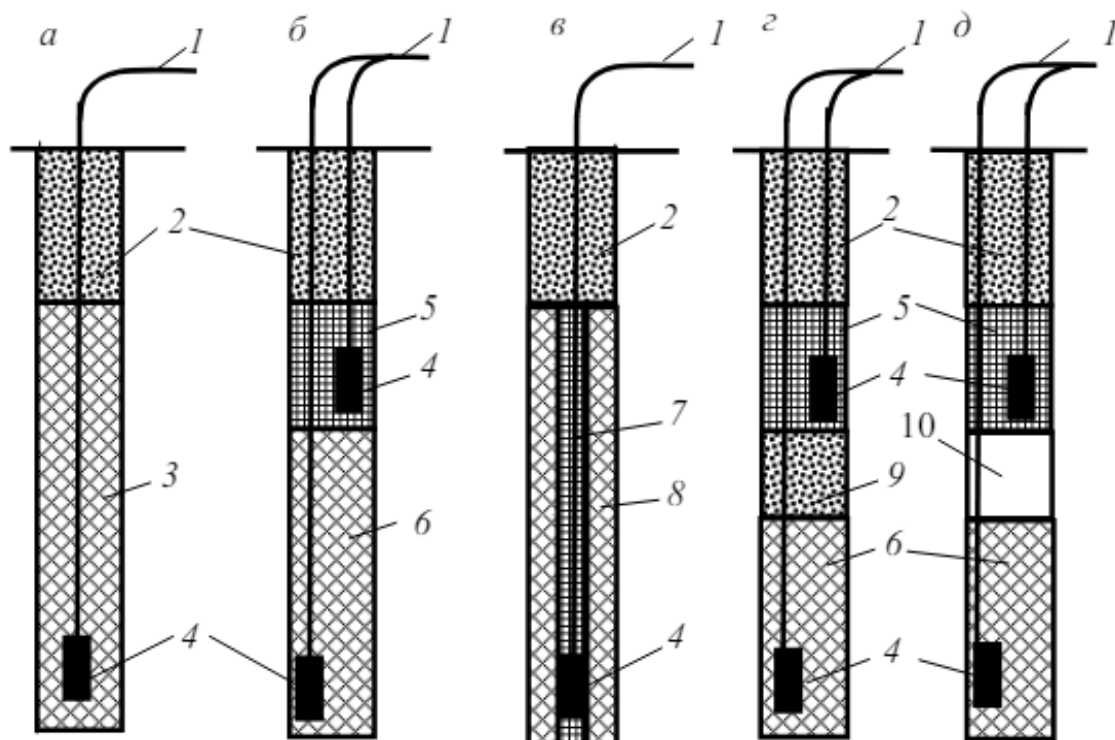


Рисунок 1 - Конструкции скважинных зарядов: а – однородные сплошные; б – комбинированные; в – «цилиндр в цилиндре»; г – рассредоточенные инертным материалом; д – воздушным промежутком; 1 – проводник начального импульса; 2 – забойка; 3 – заряд ВВ; 4 – промежуточный детонатор; 5 – верхняя часть заряда ВВ; 6 – нижняя часть заряда ВВ; 7 – внутренний цилиндрический заряд ВВ; 8 – внешний цилиндрический заряд ВВ; 9 – инертный промежуток; 10 – воздушный промежуток

В условиях разреза «Междуречье», по результатам проведенного эксперимента выявлено, что скорость смещения грунта в одних и тех же точках при использовании разных паспортов отличается на 10–12 %.

В 2022 году на разрезе прошли испытания новой схемы взрывания с внедрением пеногелей - помещенный в скважину заряд, в качестве промежутка, рассредотачивающего заряд по длине, над зарядом, либо в кольцевой зазор между гидроизолирующей оболочкой заряда ВВ и стенкой скважины, гелевая пузырьковая среда, растягивает импульс взрыва, создавая оптимальные условия для распределения энергии взрыва в массиве. Более интенсивное затухание массовой скорости его частиц по сравнению с массовой скоростью частиц горного массива способствует пережатию канала скважины, а способность сжатия пузырьковых смесей, повышает время воздействия взрывчатых веществ на массив, обеспечивая увеличение удельного импульса, а следовательно, более равномерное дробление. Для приготовления пеногеля используется 1,5–3,0 % водные растворы пеногелеобразующих веществ.

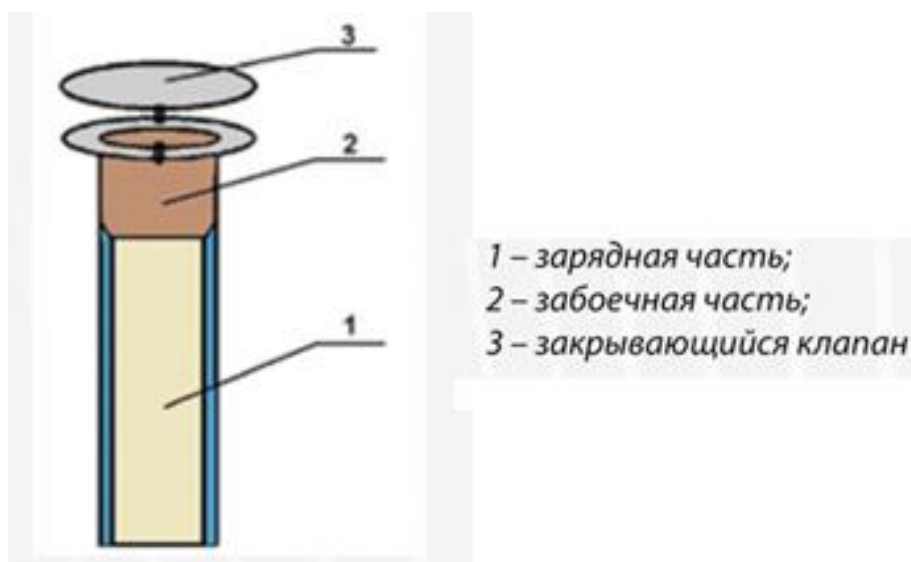


Рисунок 2 – Рукав зарядный универсальный

В ситуации на разрезах, расположенных близко к населенным пунктам, например разрез «Кедровский», расстояние от границы горного отвода которого, до ближайших строений поселка составляет всего несколько сотен метров. Следовательно, в ближайшее время возникнет необходимость проведения взрывных работ, учитывающих снижение сейсмического воздействия.

Естественным решением является использование капсулей детонаторов с электронным замедлением только в наиболее широкой зоне взрывного блока, где наиболее вероятно наложение взрыва зарядов в случае использования пиротехнических скважинных капсулей детонаторов.

Цена капсулей детонаторов с электронным замедлением «Искра-Т» в 8-10 раз выше, чем цена соответствующих пиротехнических устройств «Искра-С». Это обстоятельство является основным фактором, который ограничивает использование капсулей детонаторов с электронным замедлением «Искра-Т» в любых горнотехнических условиях.

В связи с недостаточной эффективностью принятых решений по применению РЗУ и пеногелевой забойкой и высокой дороговизной метода электронных замедлений и контроля сейсмической активности становится увеличение времени замедления взрывания зарядов и блоков.

В 2023 году руководителями разреза «Междуречье» и сотрудниками СибГИУ проведены исследования по влиянию скорости колебаний поверхности после массового взрыва за счет увеличения времени взрывания, что позволит снизить массу одновременно детонирующего взрывчатого вещества, что привело к эффективному снижению интенсивности сейсмической активности. Общий объем используемого взрывчатого вещества остается неизменным и объем взорванной горной массы остается прежним. Результаты, проведенных в лабораторных условиях экспериментов, так же подтвердили свою эффективность метода на практике при ведении взрывных работ на разрезе «Междуречье» (рисунок 3).

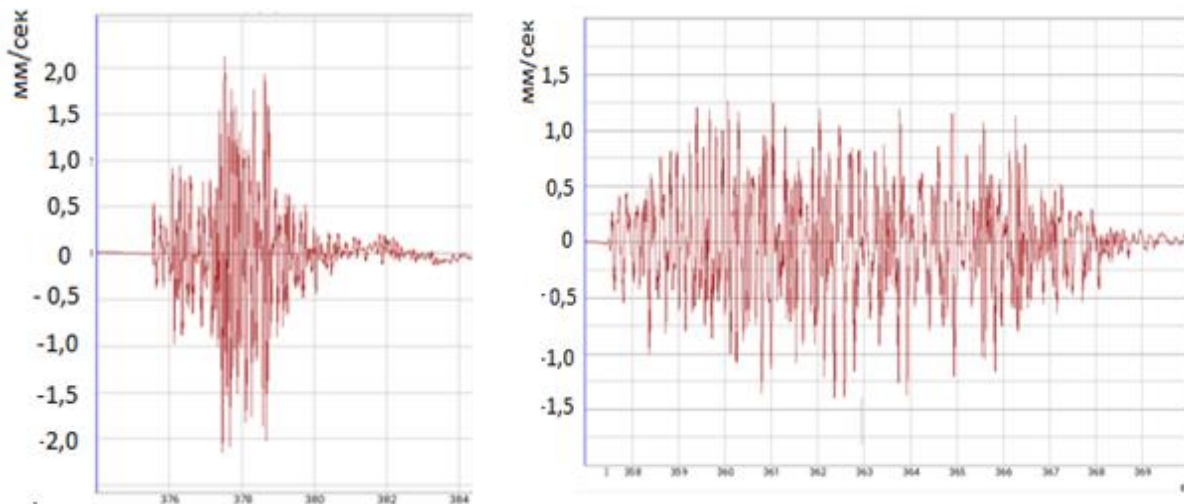


Рисунок 3 – Результаты мониторинга сейсмической активности до увеличения времени взрывание (слева) и после (справа)

Так, в декабре 2023 года сейсмический максимум достигал 0,2 см/с при допустимых 0,5 см/с, однако внедренная в январе 2024 года методика увеличения количества серий взрывания в скважинах при первоначальном объеме суммарного заряда позволила снизить максимальное значение до 0,14 см/с, тем самым подтверждая свою эффективность на практике.

Библиографический список

1. Клебанов А.Ф., Бондаренко А.В. Перспективные решения в автоматизации открытых горных работ / Сборник тезисов докладов IV Международной научнопрактической конференции «Техгормет-21 век». СПб.: НМСУ «Горный», 2013. С.38.
2. Репин Н.Я. Подготовка горных пород к выемке: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Открытые горные работы" направления подготовки "Горное дело" – М. : Мир горной книги, 2009. – 188 с.
3. Сысоев, А.А. Сравнительная оценка пиротехнических и электронных капсулей-детонаторов на основе вероятностной модели инициирования системы скважинных зарядов / А.А. Сысоев, С.А. Кондратьев, И.Б. Катанов // Взрывное дело. 2020. № 126/83. С.85-99.
4. Кокин, С.В. Управление параметрами массового взрыва / С. В. Кокин, Д.М. Пархоменко, А.В. Бервин // Взрывное дело. - 2019. № 125/8. - С. 39-52.

МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА РАЗРЕЗАХ

Ефименко И.А., Волошин В.А., Апенкин Д.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: ivan.efimenko2018@gmail.com*

В данной статье рассматривается использование нового прибора «Монолит 2» для исследования влияния сейсмических колебаний, возникающих при взрывах на разрезах на различные технологические объекты.

Ключевые слова: разрез, взрыв, сейсмика массовых взрывов, «Монолит 2», макет.

Разрушение горных пород является одним из основных физических процессов горного производства и реализуется в таких технологических процессах, как отбойка горных пород, разделка негабаритов, дробление и измельчение горной массы. На карьере наиболее распространено разрушение горных пород посредством взрыва. Взрыв – чрезвычайно быстрое изменение состояния вещества, сопровождающиеся таким же быстрым превращением его потенциальной энергии в механическую работу [3].

В связи с этим при разработке полезных ископаемых открытым способом одной из наиболее серьёзных проблем является сейсмическая безопасность взрывных работ. Цель работы: разработка новых приборов для мониторинга сейсмических событий на угольных разрезах. Сейсмическое действие взрыва – колебания твёрдой среды за пределами зоны разрушения, где взрывная волна переходит в упругие сейсмические волны. Источником сейсмической энергии при взрыве является заряд взрывчатого вещества [1].

Сейсмика массовых взрывов – это не только сейсмическое воздействие на инфраструктуру предприятий и застройку регионов, но также и сейсмическая нагрузка на геофизическую среду, приводящая к накоплению необратимых деформаций в среде, вызывающая образование оползней и обрушение склонов, влияющая на гидрорежим региона [2].

Из-за большого радиуса распространения сейсмических колебаний от места проведения взрывных работ, большое значение имеет определение расстояний, за пределами которых колебания грунта становятся безопасными для сооружений [1].

Для уменьшения сейсмического воздействия от взрывных работ применяются следующие решения:

- 1) оптимизация паспорта взрывных работ с определением минимально допустимого расстояния, на котором сейсмические события не приведут к существенным разрушениям зданий и сооружений;
- 2) определение максимально допустимого объёма взрывчатого вещества взрываемого на разрезе;

- 3) увеличение количества взрывных серий;
- 4) изменение свойства взрывчатого вещества, а также конструкции скважины для взрывания с применением инновационных решений, которые сегодня применяются на разрезах Кузбасса.

Нам необходимо определить максимально допустимые значения величины взрывчатого вещества, а также минимальное расстояние, при котором сейсмособытия на разрезе во время взрывов не приведут к существенным изменениям фундаментов зданий и сооружений на поверхности, а также не повлияют на устойчивость горных выработок.

В лаборатории института Горного дела СибГИУ для исследований влияния массовых взрывов на сейсмические зоны зданий, сооружений, подземных выработок, борта водохранилища, водопроводы, а также линии электропередач мы сконструировали макет, который благодаря применению различных материалов имитирует среду распространения сейсмического колебания. Это и горные породы, и водная среда, и поверхность, на которой строятся здания и сооружения специального назначения. На макете конструировались различные расстояния от эпицентра взрыва, находящегося на разрезе, также были сконструированы различные условия взрывания по серии и по мощности взрыва. Для создания поверхности рельефа и разреза использовался метод подбора композиционных составов, подобных грунту на различных разрезах.

Колебания, действующие в момент имитации взрыва, определяются в разных средах в условиях подземных выработок, на поверхности у фундамента зданий и сооружений, а также у водохранилищ. Для этого используется прибор «Монолит 2» (рисунок 1), который разработан студентами института Горного дела совместно с институтом информационных технологий. Этот прибор позволяет на коротком расстоянии определить значение критических величин колебаний породы в разных горно-геологических условиях, основываясь на методе эквивалентных материалов.



Рисунок 1 – Прибор «Монолит 2»

Прибор «Монолит 2» прошёл испытания в полевых условиях, так для эксперимента устанавливались три прибора «Монолит 2» по периметру здания, на котором проводились исследования (рисунок 2). Данные с приборов показали существенные отличия в показаниях, что позволило сделать некоторые выводы о распространении волн сейсмических колебаний при массовых взрывах и их влиянии на здания и сооружения.

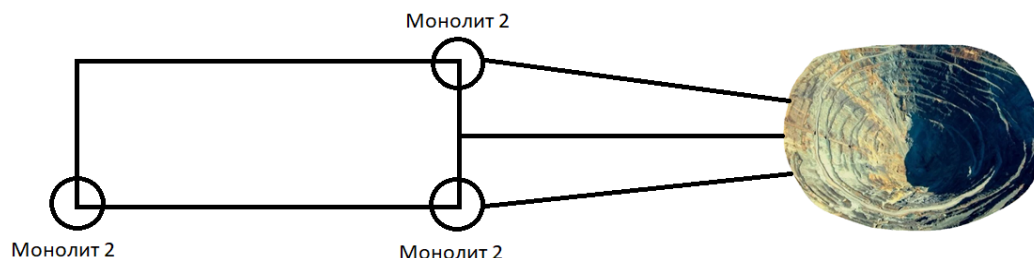


Рисунок 2 – Схема полевых испытаний прибора «Монолит 2»

Таким образом, «Монолит 2» можно рекомендовать для использования при мониторинге сейсмособытий при массовых взрывах на разрезах. Полученные критические значения можно допускать при составлении паспортов буровзрывных работ.

Библиографический список

1. Коршунов Г.И. Сравнительный анализ методик по сейсмической безопасности охраняемых объектов (опоры ЛЭП) / Г.И. Коршунов, И.А. Бульбашева, П.И. Афанасьев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S5-2. – С. 80-88. 2.
2. Сейсмическое и акустическое действия массовых взрывов с использованием эмульсионных взрывчатых веществ на железорудных карьерах КМА: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 25.00.10 Год защиты: 2003.
3. Городниченко, В. И. Основы горного дела: учебник: [16+] / В. И. Городниченко, А.П.Дмитриев. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва: Горная книга, 2020. – 488 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=687301> (дата обращения: 10.04.2024). – Библиогр.: с. 478-450. – ISBN 978-5-98672-513-0. – Текст: электронный.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО КРЕПКИМ ПОРОДАМ

Марченко Д.И., Волошин В.А., Володина А.В., Апенкин Д.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: danil-marchenko-2024@mail.com*

Применения комбайнов избирательного действия таких как КП-21 в горных выработках угольных шахт весьма перспективно и целесообразно в настоящих условиях. Однако, при проведении выработок с присечкой горных пород крепостью выше семи по шкале проф. М.М. Протодяконова требуются дополнительные работы разупрочнению пород. Комбайн КП-21 в этих условиях подвержен высокой аварийности, а также быстрому выходу из строя основных механизмов и агрегатов. С этой целью предложено использование комбинированного способа проведения выработки комбайном КП-21 с навесным гидромолотом установленном на комбайн.

Ключевые слова: проходческий комбайн КП-21, крепость пород, горная выработка, комбайн с гидромолотом.

Рост добычи на угольных шахтах зависит во многом от своевременной подготовки выемочных участков, а также роков развития горных работ на новых полях (блоках) шахты. Горно-подготовительные работы требуют создания новых более производительных технологий комбайновой проходки горных выработок, особенно в условиях проведения в породах с крепостью выше 7 по шкале профессора М.М. Протодяконова. Основными способами проведения горных выработок в мировой практике являются буровзрывной и комбайновый (на основе комбайнов избирательного действия). Эффективность горнопроходческих работ в значительной степени определяется конструкцией применяемых средств механизации, их технической производительностью и энергоемкостью разрушения горной массы, которые во многом зависят от прочности и способа разрушения горных пород. Среди известных способов разрушения наибольшее распространение получили механические: взрывной, резание и ударный. Расширяется область применения гидравлического, термического и комбинированных способов.

Буровзрывной способ характеризуется относительно малой энергоемкостью разрушения пород, простотой и универсальностью, однако имеет и недостатки: высокую стоимость ВВ, цикличность работ, повышенную опасность, сейсмическое воздействие на окружающую среду, и др. Поэтому, несмотря на постоянно проводимую его модернизацию, этот способ разрушения продолжает вызывать беспокойство за последствия его широкого применения.

На шахтах Кузбасса наибольшее распространение при проведении

горных выработок получил комбайном КП-21 (рисунок 1). Комбайн проходческий КП-21 предназначен для механизации отбойки и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных $\pm 18^\circ$ горных выработок трапециевидной и прямоугольной форм сечения, площадью от 10 до 28 м², прочностью присекаемых пород на одноосное сжатие до 100 МПа и показателем абразивности до 15 мг по Л.И. Барону и А.В.Кузнецову, кусковатостью нагружаемой горной массы не более 300 мм [1].



Рисунок 1 – Комбайн проходческий КП-21

У комбайна КП-21 есть и свои минусы. Главный недостаток – ограниченный ресурс при работе по породному забою. При проведении выработок по породе отмечаются: отрыв головок болтов крепления фланцев тормозов короны исполнительного органа, выход из строя подшипников редукторов нагребных лап и рабочего органа, излом звезды конвейера, износ листов поворотной части конвейера, что негативно влияет на ресурс комбайна. У проходческих комбайнов имеется существенный недостаток – зависимость массы комбайна от мощности. Как показывает практика, легкие и средние комбайны применяют на отработке полезных ископаемых с коэффициентом крепости до 4 по шкале М.М. Протодяконова. При отработке пород крепостью свыше 4—6 необходимо применять тяжелые комбайны, эксплуатационная масса которых может достигать 120 т [2].

Для проведения выработок по породе требуется более тяжелая техника, чем комбайн КП-21, например EBZ200 Китайского производства или П220, КСП-35 отечественного производства. Однако эти комбайны малопродуктивны при проведении выработок по углю. Горные инженеры угольных шахт стоят перед выбором – применять тяжелую технику для всех условий с потерей темпов проведения в маршевых выработках или нести повышенные затраты на запасные части комбайна КП-21 при работе в породном забое.

Для решения проблемных вопросов авторы статьи предлагают несколько путей:

1. Буровзрывной способ проведения выработок (далее БВР) в сотрясательном режиме (это взрывные работы на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа, которые выполняются в определенном режиме, направленном на защите людей от выбросов угля, породы и газа)

2. Гидромолот технология проведения по крепким породам.

Авторы статьи предлагают наиболее перспективный способ ведения горных работ с использованием гидромолота для создания систем трещин и отрыва крепких фракций. Способ проведения выработок гидромолотом востребован на рудных шахтах, а также в тоннелестроении.

Применяемые за рубежом проходческие комбайны, оснащенные ударным исполнительным органом [4], идентичны по своей конструкции и отличаются лишь габаритными размерами, ходовыми механизмами и энергетическими параметрами ударных устройств. Они предназначаются для проведения выработок по углю и горным породам прочностью $60\div 100$ МПа, а также для дробления крупных кусков породы на почве выработки, и состоят из ходовой части, привода, телескопической стрелы и, как правило, одного ударного механизма, работающего по схеме «в лоб забоя».

Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране, в том числе в ИГД СО РАН [3], показали, что эффективность ударного разрушения горных пород во многом зависит от выбранной схемы разрушения.

Применение гидромолотов на открытых горных работах показало повышение производительности горных работ, снижение себестоимости добычи по сравнению с буровзрывным способом отбойки, повышение качества дробления, улучшение качества добываемого полезного ископаемого. Производительность гидромолота по породам средней крепости на открытых горных работах достигает 700 м^3 в смену.

Скорость подвигания забоя при использовании гидромолотов на проходке тоннелей может поддерживаться круглосуточно и составлять $3,5 \text{ м}$ в смену, что в $1,5$ раза превышает показатели буровзрывного способа отбойки, например, тоннель сечением 90 м^2 был пройден со скоростью 3 м в смену.

Известны различные схемы отбойки, характеризующиеся одним принципом: отбойку производят на обнаженную поверхность в плоскости забоя, заключающаяся в формировании ниши в нижней части забоя размерами $1 \times 1 \text{ м}$. После формирования ниши, осуществляется отбойка вышележащих слоев горной породы.

Проходческие комбайны хорошо зарекомендовали себя на подземных горных работах в условиях отработки слабых руд и руд средней крепости. Применение комбайнов позволяет осуществить переход на циклично-поточные схемы ведения очистной выемки, при которых производительность по добыче зависит от физико-механических свойств руды. Комбайны избирательного действия способны отделять полезное ископаемое от массива селективно, что способствует повышению качества рудной массы [4].

Гидромолот, применяемый на отбойке руды, установлен на проходче-

скую машину с нагребными лапами и скребковым перегружателем, что обеспечивает циклично-поточный характер ведения очистных работ. При этом эксплуатационная масса машины-носителя 17—35 т. Циклично-поточная технология позволяет исключить большинство непрекрываемых перерывов на перестановку оборудования и проветривание [3].

С целью обоснования повышения производительности и экономической эффективности рассмотрено три варианта технологических схем проведения горной выработки:

- первый вариант, традиционный способ КП-21;
- второй вариант, проходческий комбайн с гидромолотом (рисунок 2);
- третий вариант, проведение комбайном КП-21 с сотрясательным взрыванием.

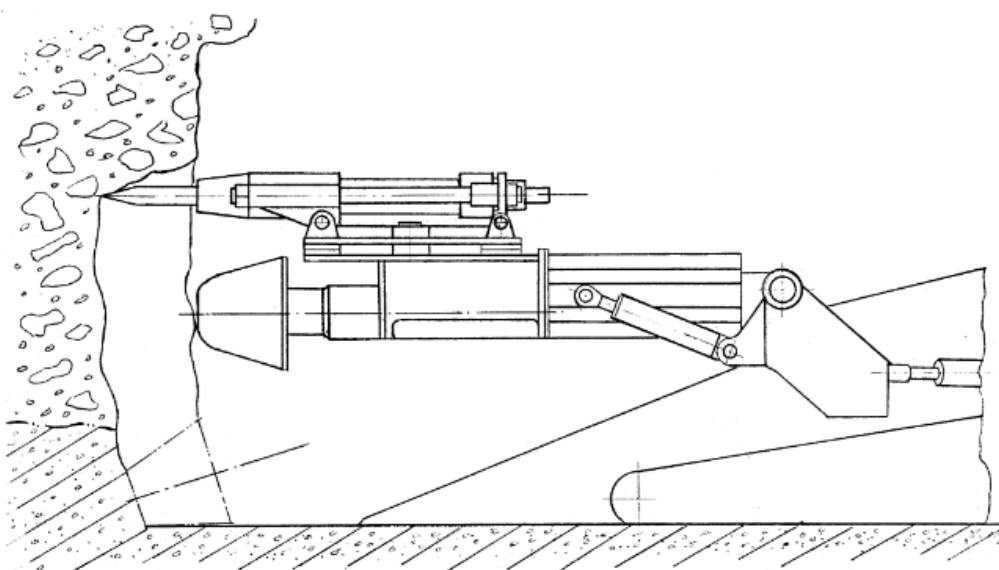


Рисунок 2 - Общий вид проходческого комбайна с гидромолотом

Проведено сравнение вариантов по технико-экономическим показателям: по сменной производительности; сравнение по себестоимости добычи 1 м³ породы.

Результаты технико-экономического сравнения технологических схем приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительные параметры работы забоев по вариантам

Наименование показателя	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Производительность, м ³ /смен.	60	110	50
Себестоимость, руб./ м ³	307	284	348

Повышение сменной производительности выемочного блока при второй технологической схеме обусловлено производством работ по циклично-поточному методу и более высокой скоростью подвигания забоя. Более высокая экономическая эффективность второй технологической схемы выражается в снижении затрат на материалы, энергию и заработную плату горно-

рабочих. При второй технологической схеме показатели себестоимости по статьям затрат снижаются в 1,5-2 раза.

Наибольший эффект от применения второй технологической схемы ожидается при проходке выработок по смешанному забою с присечкой крепких пород, проведение которых в настоящее время остается актуальной задачей угольных шахт. Повышение темпов проведения выработок по породным забоям позволит сократить время подготовки новых выемочных полей и блоков, что обеспечит своевременный ввод в эксплуатацию механизированных выемочных участков.

Библиографический список

1. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Г. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. М.: ННЦГП-ИГД им. А.А. Скочинского, 2004. - 645с.
2. Безвзрывная технология открытой добычи твердых полезных ископаемых / [Маттис А.Р. и др.] Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. - 337с.
3. Марков В.С., Лабутин В.Н., Ёлшин В.К. Безвзрывная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 176 с.
4. Лабутин В.Н., Марков В.С. Перспективы применения комбинированного способа разрушения горных пород / ГИАБ. - №12, - 2015.

УДК 622.2.012:004.9

КОМБИНИРОВАННАЯ ДОСТАВКА ГОРНОЙ МАССЫ НА РУДНЫХ КАРЬЕРАХ РОССИИ

**Апенкин Д.Е., Волошин В.А., Володина А.В.,
Ефименко И.А., Марченко Д.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: denisden2002@gmail.com*

Транспортирование горной массы на карьерах – один из самых трудоемких и ресурсозатратных процессов добычи полезного ископаемого открытым способом. В условиях сокращающихся инвестиций и нехватки рабочих ресурсов требуется находить новые схемы логистической цепочки. Поиск альтернативных способов перевозки грузов, заменяющие автотранспорт является актуальной задачей, стоящей перед горными инженерами угольных и рудных карьеров России и Кузбасса.

Ключевые слова: перевозка горной массы, грузовая подвесная канатная дорога, конструкция и монтаж ГПКД, сокращение трудозатрат, экономия производства, автоматизация производства.

Эффективность разработки месторождений полезных ископаемых в

большой степени зависит от затрат на транспортировку горной массы до места погрузки или обогатительной фабрики. Затраты на транспорт предприятий, добывающих полезное ископаемое открытым способом, колеблется в себестоимости продукции от 40 до 60 %. Снижение затрат на транспортирование является наиболее важной задачей сегодняшнего дня. Проблема безопасной работы карьеров и разрезов в немалой степени зависит от способа транспортирования полезного ископаемого. Наряду с автотранспортом для транспортировки используется конвейерный, железнодорожный, гидравлический, а также широко применяемый в СССР грузовой канатно-подвесной транспорт. Грузовые канатно-подвесные дороги (далее ГПКД) получают сегодня вторую жизнь в мире.

В условиях пересеченной и горной местности ГПКД успешно применяются для перевозок полезных ископаемых и отходов производства в угольной, металлургической, химической промышленности, на предприятиях по добыче и переработке нерудного сырья и успешно конкурируют с автомобильным и железнодорожным транспортом. По сравнению с этими видами транспорта ГПКД имеют следующие преимущества:

- независимость от рельефа местности, что позволяет прокладывать их по кратчайшему расстоянию;
- независимость дороги от атмосферных условий;
- возможность подъема груза на значительную высоту и выгрузки его как в конечном пункте, так и по трассе дороги;
- возможность поворота трассы дороги в одном пункте на угол до 180° . Это свойство является особо важным при прокладке трассы канатной дороги в условиях промышленной площадки.

В мире накоплен солидный опыт применения канатного транспорта. Так, в Африке эксплуатируется одноканатная грузовая дорога протяженностью 76 км и производительностью 150 т/ч. Двухканатные дороги большой протяженности построены в Бразилии (51 км), Индии (64,4 км), Колумбии (75 км), Швеции (98 км). Фирма "Полиг-Гекель-Блейхерт" (ФРГ) совместно с индийскими фирмами построила в 250 км от Калькутты кольцевую дорогу протяженностью 62 км, производительностью 400 т/ч с восемью тяговыми участками.

Грузовые подвесные канатные дороги (ГПКД) широко применялись в СССР и за рубежом в семидесятые-восемидесятые годы прошлого столетия. Количество ГПКД только в СССР в эти годы достигло 190 единиц, объем перевозок – 116 млн т в год, а общая протяженность линий канатно-подвесного транспорта достигла 600 км.

Подвесные канатные дороги могут транспортировать любые грузы при использовании минимального количества опорных систем при преодолении водных преград, линий электропередач, засеянных площадей, всевозможных массовых застроек и других препятствий.

Различают дороги двухканатные и дноканатные. Двухканатные дороги, наиболее распространенные у нас, имеют несущие (грузовой и порожняко-

вый) и тяговый канаты. У одноканатной дороги функции несущего и тягового органа выполняет один канат. Этот тип канатной дороги у нас не имеет широкого распространения.

Подвесные канатные дороги сооружаются как с кольцевым, замкнутым движением нескольких вагонеток, так и с маятниковым движением одной или двух вагонеток. При кольцевом движении вагонетки в одном направлении перевозят груз, в обратном направлении следуют порожняком. Возможна транспортировка грузов в обоих направлениях. При маятниковом движении по каждому несущему канату передвигается только одна вагонетка, совершающая реверсивное движение вперед и назад между конечными пунктами дороги. Проектирование грузовых канатных дорог в России ведется в основном на базе применения типизированного оборудования и регламентируется техническими условиями и инструкциями проектного института Союзпроммеханизация. На выпуске ГПКД специализируется, в частности, завод «Серп и Молот» в Казани.

Канатная дорога состоит из станций и линии. При протяженности дороги до 1 км и прямой трассе обычно предусматриваются две конечные станции (рисунок 1) -погрузочная 8 и разгрузочная 1, между которыми натягиваются два несущих каната 6. Эти канаты при входе на станцию отклоняются на башмаках внутрь колеи дороги. С одной стороны они укреплены неподвижно при помощи анкеров, а с другой натягиваются натяжными канатами и грузами 2.

Работа предприятий, добывающих полезное ископаемое открытым способом в условиях низких температур существенно ограничено в выборе технологий транспортирования. Работа в условиях севера существенно влияет на надежность транспортного оборудования, ухудшая физическое состояние узлов и расходных материалов, усугубляя износ и снижает наработку агрегатов на отказ. Температурный фактор является одним из значимых параметров, влияющих не только на надежность и безотказность техники, но и на безопасность труда. Поэтому сегодня остро стоит вопрос сокращения персонала на трудоемких процессах открытых горных работ.

В настоящее время одним из основных способов перемещения горной массы на предприятиях, добывающих полезные ископаемые открытым способом, является использование автосамосвалов.

Для повышения производительности работ по транспортировке, снижения количества используемых автосамосвалов и рисков аварий автосамосвалов предлагается создание комбинированного способа транспортировки горных пород, путем внедрения грузовых подвесных канатных дорог. Это позволит снизить количество людей, задействованных в процессе транспортировки, что положительно влияет на безопасность и позволит автоматизировать транспортировочный процесс и исключит ряд недостатков ГПКД, а именно сложность погрузки в транспортные сосуды, длительные интервалы времени погрузки.

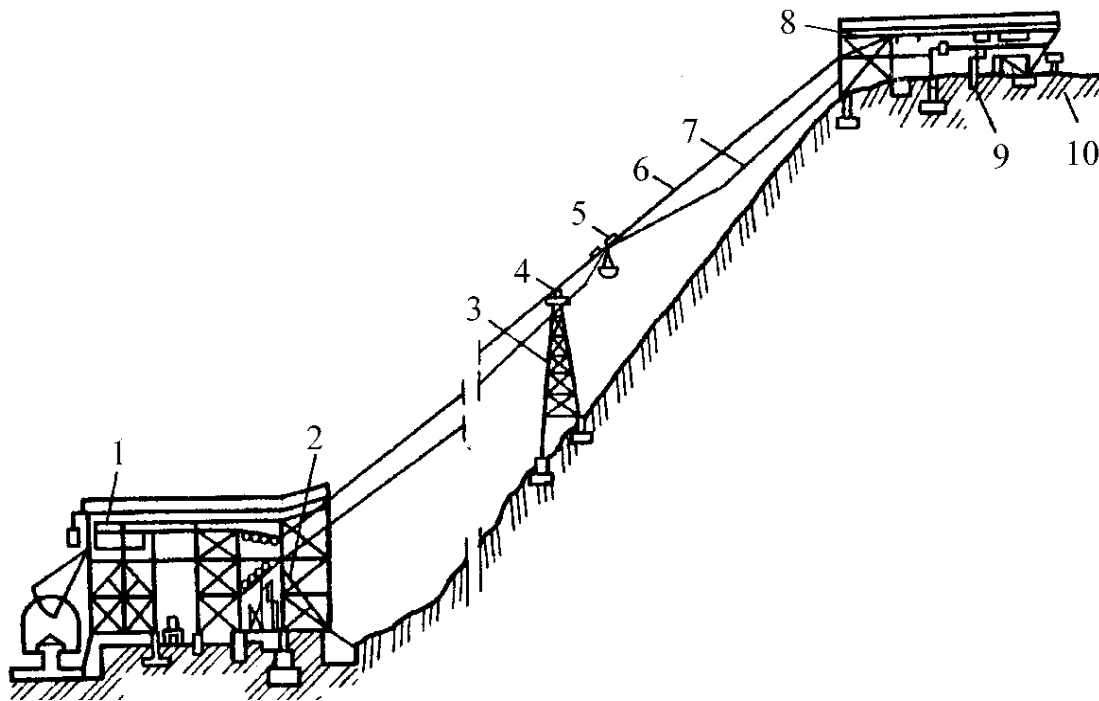


Рисунок 1 – Грузовая подвесная канатная дорога

С учетом реальной производительности (630 т/ч) их рационально применять при годовой перевозке от 0,5 до 4–5 млн т груза на расстояния 15–20 и более километров. ГПКД успешно эксплуатируются во всем мире: как в южных широтах, так и на севере, в том числе, за Полярным кругом.

Наибольшее распространение в мире получили двухканатные кольцевые дороги, достигаемая производительность которых достигает 650 т/ч. Такие дороги применяются практически при любых условиях местности. Возможности одноканатных кольцевых дорог, т.е. дорог с совмещенными опорной и тяговой функциями каната, ограничены по сравнению с двухканатными дорогами.

Несмотря на большую разницу высот, канатная дорога может пролетать по прямой «воздушной» линии, и путь транспортирования составит 10 км. Грунтовая автодорога будет значительно длиннее (примерно 18 км).

Экономические показатели перевозки грузов: на этапе строительства карьера или разреза, при начальном капиталовложении выгоднее применение грузового автотранспорта, однако по эксплуатационным расходам, стоимости транспортирования 1т полезного ископаемого, несомненное преимущество имеют канатные дороги. Более высокие капиталовложения на ГПКД окупают себя уже через 2,5 года. Следует также иметь в виду дефицит и постоянно растущие цены на дизельное топливо (средний грузовой автомобиль расходует почти 3 тыс.т дизельного топлива в год) кроме того, автотранспортировка сопряжена еще и с безопасностью движения по трассе.

При транспортировании грузов с помощью ГПКД под уклон торможение осуществляется посредством двигателя, работающего как генератор,

т.е. ток подается в сеть. Но и при транспортировании в гору подвесная канатная дорога – очень экономичный потребитель энергии вследствие небольшого сопротивления передвижению вагонеток.

Внедрение грузовых подвесных канатных дорог в комбинации с автотранспортом существенно снизит затраты на транспортирование горной массы при работе в условиях низких температур, позволит осуществить переход на автоматизированное управление производством с ограниченным присутствием человека, обеспечит безопасность работы на производстве и существенно снизит выбросы вредных веществ в атмосферу.

Внедрение комбинированного транспорта на угольных карьерах Кузбасса позволит снизить на 25 % затраты на транспортирование горной породы и является перспективным технологическим решением с обширными перспективами.

Библиографический список

1. Зенков Р. Л., Иванов И. И., Колобов Л. Н. Машины непрерывного транспорта. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование». 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

2. Земсков А. Н., Полетаев И. Г. Особенности применения грузовых подвесных канатных дорог на открытых работах // Горная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 30–32.

3. Кулешов А.А., Васильев К.А., Докукин В.П., Коптев В.Ю. Анализ вариантов транспортирования руды от карьера до обогатительной фабрики в условиях АК «АЛРОСА» // Горный журнал. – 2003. – № 6. – С. 13–16.

4. Ромакин Н. Е. Машины непрерывного транспорта: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.

5. Земсков А. Н., Полетаев И. Г., Цветкова Л. К. Патент РФ № 2292280. Подвесная канатная дорога. Бюллетень № 3, 2007. Срок действия до 20.12.2024 г.

6. Земсков А. Н., Иванов А. В. Современные тенденции развития отечественного горного машиностроения // Горная промышленность. – 2018. – № 3. – С. 50–53.

7. Земсков А. Н., Кузнецов Б. А. Применение грузовых подвесных канатных дорог для транспортировки угля и руды // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С. 554–557.

8. Земсков А. Н., Полетаев И. Г. Перспективы использования грузовых подвесных канатных дорог // Горная промышленность. – 2004. – № 2. – С. 32–34.

9. Кузнецов Б. А., Бехер А. В., Оверин А. А., Духно Е. Н., Симановский А. А., Поздеев А. А.

ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СО СРОКОМ СЛУЖБЫ БОЛЕЕ 5 ЛЕТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

Марченко Д.И., Володина А.В., Апенкин Д.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: danil-marchenko-2024@mail.com*

Крепление горных выработок длительного срока эксплуатации, преимущественно уклонов, бремсбергов, панельных транспортных штреков и других выработок сопряжено с необходимостью возведения двух видов крепи. Основной крепи при проведении и крепи усиления через два – три года для дальнейшей эксплуатации. Поиск альтернативных способов крепления выработок металлической рамной крепью является актуальной задачей, стоящей перед горными инженерами угольных шахт России и Кузбасса.

Ключевые слова: анкерная крепь, крепь усиления, рамная металлическая крепь, устойчивость горных выработок, набрызг-бетонная крепь, обрудование возведения комбинированной крепи.

Крепление подготавливаемых горных выработок, уклонов и бремсбергов на угольных шахтах осуществляется сегодня в два этапа. Возведение анкерной крепи первого уровня в уклонах общераспространенная практика. Крепление выработки осуществляется в строгом соответствии с действующими инструкциями. По требованиям правил безопасности в «Инструкции по креплению выработки...» прописано требование дополнительных работ по усилению крепления выработки со сроком службы более 5 лет [3].

В общераспространенной практике для повышения темпов проведения и снижения трудоемкости работ производится крепление уклона анкерной крепью, а через пять лет производится установка дорогостоящей рамной-металлической крепи в качестве усиления или применение анкеров второго уровня. В качестве анкеров второго уровня рекомендованы к использованию канатные анкеры повышенной несущей способности.

Для исключения затрат на работы по возведению крепи усиления, авторами статьи предложено снизить трудоёмкость и материальные затраты за счет внедрения нового типа крепления – комбинацией анкер с набрызг-бетонной крепью или торкрет бетона, в котором используется полимерный состав [1].

Расчёт параметров крепи для выработок сроком более семи лет выполнен по инструкции 2014 года анкерного крепления для угольных шахт России. Установлено, что длина анкеров вне зоны влияния очистных работ составит 2,4м, а применение канатных анкеров для комбинированной крепи составит 4 – 7 м. Анкера канатные устанавливаются дополнительно между рядами анкеров первого уровня.

На рудниках Кузбасса применяется большое разнообразие анкерной крепи, которая предназначена для крепления основных и подготовительных горных выработок проводимых с помощью комбайновых или буровзрывных работ, с механическим способом закрепления стержней анкеров в шпурах, пробуренных по углю и породе с прочностью на сжатие не менее 20 МПа.

На шахтах Кузбасса применяются анкеры различного закрепления в шпуре. Наибольшее распространение получили сталеполлимерные анкеры с закреплением на полимерный состав. В условиях повышенной обводненности и неустойчивых пород кровли применяются ампулы с неорганическим вяжущем. Ампулы с механическим закреплением в шпуре сегодня применяются редко, по причине относительно низкой несущей способности использование их рекомендовано в ограниченных горно-геологических условиях.

В соответствии с расчётом параметров крепления уклонных выработок количество анкеров в ряду принимается по значению расчетной ширины выработки и составляет в ряду не более шести анкеров с установкой промежуточных анкеров первого уровня или канатных анкеров повышенной несущей способности.

Авторами статьи сделан анализ состояния крепления выработок на рудных шахтах Кузбасса. Установлено, что на устойчивость выработок существенное влияние оказывает форма выработки. Устойчивость трапециевидной формы выработки при проведении в 1,7 раза ниже, чем при сводчатой. Кроме того, сводчатая форма выработки позволит установить крепь усиления в виде рамной арочной крепи без дополнительных затрат на поддир боковых пород, что существенно снизит трудоемкость при ремонте выработки и ее поддержании в работоспособном состоянии.

Рассмотрен опыт применения на рудных шахтах Кузбасса набрызг бетонной крепи в сочетании с анкерной крепью. По опыту работы рудных шахт набрызг бетон возводится с отставанием от забоя на 50 м и более. Выполнением этой операции занимается отдельная бригада специалистов. Применение этого вида крепи требует специальной одежды, а также средств защиты глаз, органов дыхания, открытых поверхностей тела [2].

Рекомендовано применять в шахтах торкрет бетоны в сочетании с полимерными добавками, которые существенно улучшают качество адгезии с горными породами и снижают расход материала на 50 – 70 %. Основные характеристики набрызг бетонной крепи и торкрет бетона представлены в таблице 1.

В таблице показаны основные параметры и качественные характеристики применяемых набрызг и торкрет бетонов. На сегодняшний день, не решен вопрос применяемого оборудования для возведения торкрет крепи. Существующее сегодня оборудование занимает большой объем и трудно транспортируется по шахте. Для решения этого вопроса требуется дополнительные исследования по подбору оборудования для возведения торкрет бетона на угольных предприятиях Кузбасса.

Таблица 1 - Характеристики бетонных составов

Технические характеристики	Набрызг бетон	Торкрет бетон
Фракция заполнителя, мм	2,5 - 10	1 - 7
Расход для заполнения объема 1 м ³	2300	1700
Расход воды для затворения 1 кг смеси, л	0,7	0,2
Толщина слоя, наносимого на поверхность (Min), мм	100	20
Температура применения, С ⁰	10 - 40	5 - 30
Прочность сцепления с породой, Мпа	0,4	2,0
Прочность при изгибе, МПа	1	8,0

Расчёт параметров выполнен по инструкции для применения торкрет бетонной крепи и его максимальная толщина принимается по таблице и составляет 3,5 см, в то время как минимальная толщина слоя набрызг бетона не менее 10 см . Стандартный расход торкрет бетона существенно ниже, чем набрызг бетона. На рисунке 1 представлено оборудование для возведения набрызг бетонной и торкрет бетонной крепи [4].

«Мокрый» способ торкретирования

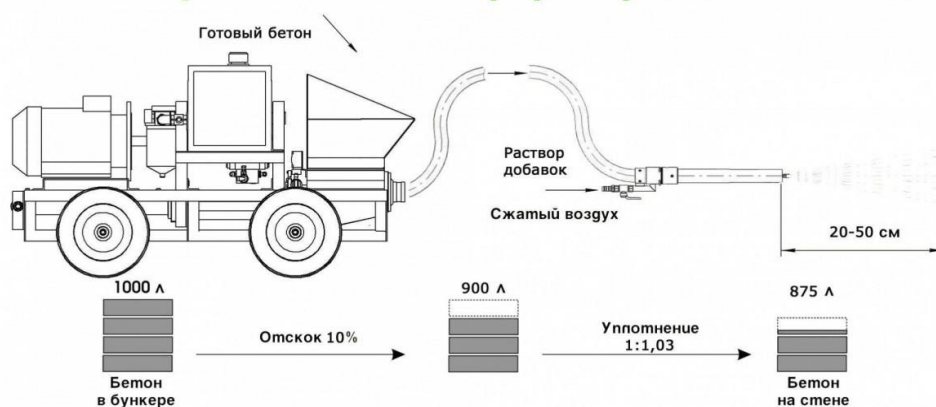


Рисунок 1 – Оборудование для возведения торкрет бетонной крепи

Установлено, что возведения торкрет бетона по трудоёмкости в семь раз ниже, чем возведение рамной металлической крепи, экономия составит почти 70 человек – смен на сто метров выработки, а также стоимость его составляет примерно четверть от металла крепи, которая применяется сегодня на шахтах.

Несущая способность набрызг бетонной оболочки не в полной мере обеспечит устойчивость выработки при ее эксплуатации. Требуется дополнительное усиление крепи. Свойства торкрет бетона соответствуют требованиям прочностных свойств вмещающих пород в выработке и могут рекомендоваться к промышленным испытаниям в условиях угольных шахт.

Таким образом, считаем целесообразным применение комбинированной крепи анкерной с полимерными торкрет бетона в комбинации для выработок сроком службы пять и более лет.

Библиографический список

1. Вестник Кузбасского технического университета. 2017 №5, с. 10-14
Копытов А.И., Лебедев А.А., Утробин Б.А. Разработка рациональной технологии крепления.
2. Применение набрызгбетонных теплозащитных покрытий в условиях криолитозоны. А.С. Курилко, 2005 УДК 622.28
3. Приложение N 2 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах", утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2013 г. N 610
4. Торкрет-смеси МБВ и опыт их применения при креплении подземных горных выработок. Манин Ю.А., Мельников А.Е

УДК 622.242.2

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ПРИ ВЕДЕНИИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ НА ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ «АЙХАЛ»

Ворсина А.М., Агеев Д.А., Трабер Н.С., Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lika.vorsina.2001@mail.ru*

В статье приведен анализ ведения подземных горных работ на руднике «Айхал». Рассмотрены пути решения проблемы модернизации этапов добычи полезных ископаемых (ПИ).

Ключевые слова: рудник, полезное ископаемое, месторождение алмазов, проветривание, анкер, проходка, буровые установки, модернизация, снижение затрат.

Трубка Айхал – коренное месторождение алмазов, которое было открыто в январе 1960 г. Месторождение эксплуатируется открытыми горными работами с 1961 г. Отработка месторождения открытым способом завершена в 1-м квартале 1997 г. на глубине 320 м. Фактические абсолютные отметки дна карьера на юго-западном участке составили +235 м, на северо-восточном +195 м.

Породы, вмещающие кимберлитовую трубку «Айхал», представлены доломитами, мергелями, известняками и имеют слоистое горизонтальное залегание. Породы располагаются в области развития многолетней мерзлоты. В районе месторождения выделяются 3 типа подземных вод: над-, меж- и подмерзлотные.

На руднике «Айхал» в качестве системы разработки применяется система с выемкой ромбовидными камерами, расположенными относительно друг друга в «шахматном» порядке (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Рудник «Айхал»

Схема вскрытия месторождения фланговая представлена на рисунке 2. Вскрытие осуществлено двумя наклонными стволами, вертикальным стволом и уклонами с бермы карьера на отметке +395 м.

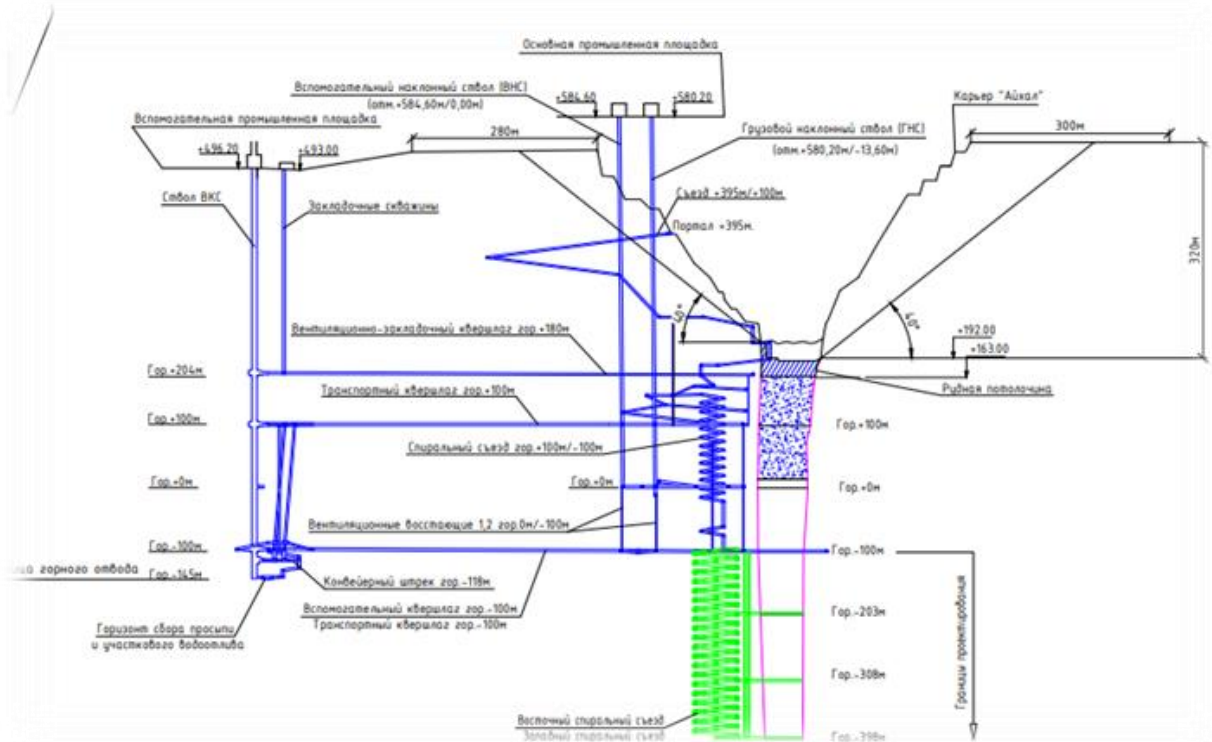


Рисунок 2 – Схема вскрытия месторождения

Проветривание основных вскрывающих, подготовительных и нарезных выработок, а также выемочных камер на СВРТ в отметках +80/-100 м осуществляется за счёт общешахтной депрессии. Проветривание тупиковых выработок ведется с помощью вентиляторов местного проветривания типа ВМЭ-6, ВМЭ-12, Korfmann.

Отбойка рудной массы осуществляется буровзрывным способом с помощью зарядов ВВ, размещаемых в скважинах диаметром 89 мм. Взрывные работы при проходке осуществляются системой шпуровых зарядов диаметром 45 мм.

Проходка горно-капитальных выработок буровзрывным способом производится с использованием самоходной техники – буровых установок Sandvik DD-410-40; ПДМ ST-1030 и LH-410; самосвалов МТ-2010 и ТН-320.

В условиях рудника «Айхал» наиболее широко применяется анкерная крепь сплошного закрепления. Основной вид анкеров – самозакрепляющиеся, обеспечивающие режим «сшивки» массива. Работа крепи обеспечивается сцеплением стенок анкера с породными стенками шпура.

Также применяются канатные (тросовые) анкера, работающие в режиме «подвешивания» и закрепляющиеся в замковой части. Использование таких анкеров целесообразно в случаях, когда высота выработки не позволяет установить самозакрепляющиеся анкера нужной длины.

Анкера с подхватами и сетчатой затяжкой представляют собой комбинированную крепь, в которой опорные плитки и подхваты являются поддерживающими элементами [2].

Рассматривается несколько направлений модернизации этапов добычи полезного ископаемого:

- замена анкерной крепи и установка насосов для нагнетания воды внутрь анкера;
- цифровизация рудника;
- изменение способа проходки и замена оборудования, применяемого на предприятии.

При установке анкера Swellex используется принцип гидрораспора трубки, торцы которой перекрыты глухими гильзами.

Профиль трубки имеет специальную форму, позволяющую анкеру увеличиваться в диаметре до 40 %. При этом, для нагнетания воды используется специальный насос, подающий воду внутрь анкера. На рисунке 3 представлена анкерная крепь, применяемая на руднике, а на рисунке 4 анкерная крепь и насосы предлагаемые для модернизации производства [3].

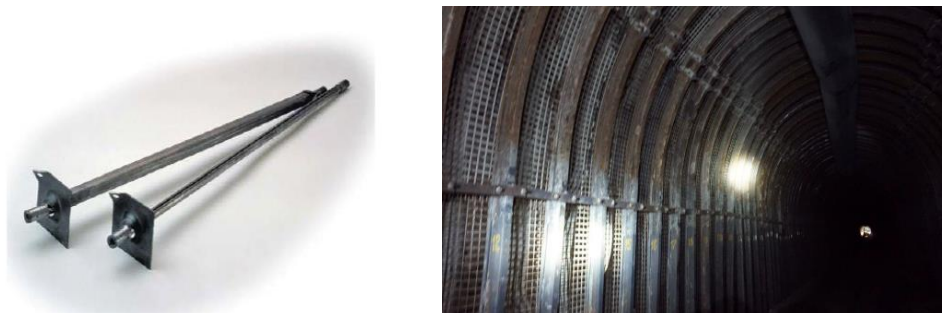


Рисунок 3 – Конструкция анкерной крепи: а) самозакрепляющейся анкерной крепи; б) анкерные крепи с подхватами и сетчатой затяжкой [1]



Рисунок 4 – Схема установки и работы анкера Swellex [1]

Комплекс «Горизонт»: отечественное решение для обеспечения промышленной безопасности при подземной добыче полезных ископаемых (рисунок 5). Сеть позиционирования и аварийного оповещения в реальном времени непрерывно определяет местонахождение горнорабочих и транспортных средств с разрешением ± 20 м, направление их движения и передает эту информацию на АРМ диспетчера.

Шахтный информационный комплекс «Горизонт» обеспечивает передачу данных аэрологической обстановки в систему аэрогазового контроля рудника [2].

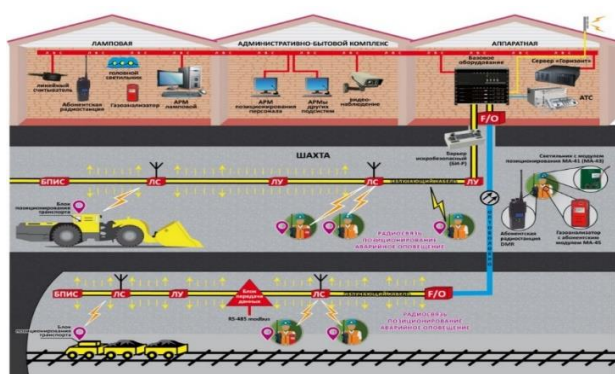


Рисунок 5 – Комплекс «Горизонт» [2]

Интеллектуальная технология управления проходческим комбайном EBZ-160 оснащена оборудованием ставок и анкероустановщика. Интеллектуальный многофункциональный проходческий комбайн основан на системе 5G.

Продукт позиционируется как продукт автоматизации высокого класса, который способствует модернизации и преобразованию интеллектуальной системы разработки месторождений для обеспечения безопасного производства [3,4].

Особенности:

- многофункциональная комбинация;
- четыре режима работы;
- инерциальное навигационное позиционирование;

- три метода резки;
- интеллектуальный мониторинг.



Рисунок 6 – Проходческий комбайн EBZ-160

Экономический эффект от внедрения предложенных направлений модернизации составит 336,2 руб/м³. Годовой объем добычи увеличится за счет быстрых темпов оконтуривания рудного тела. Также модернизация ведения проходческих работ способствует снижению уровня профессиональных заболеваний на рабочих местах, в том числе, за счет активного пылеподавления в выработках.

Библиографический список

1. Копырин А.А. Крепление горных выработок технологией Swellex в условиях рудника «Айхал» / А.А. Копырин // Вестник науки и творчества. 2016. №5 (5). С. 256-260.
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). С. 46-47.
3. Кобылкин С.С. Классификация систем снижения уровня запыленности рудничной атмосферы тупиковых горных выработок / С.С. Кобылкин, А.Н. Тимченко // ГИАБ. 2021. №10-1. С. 112-123.
4. Никитина А. М. Увеличение темпов проведения горных выработок в условиях шахт Кузбасса / А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 19–21 мая 2020 года / Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. Том Выпуск 24. Часть VI. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2020. – С. 142-145.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ ШПУРОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гельгенберг И.О., Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, gelgenberg.info@gmail.com*

В данной статье приводится один из способов увеличения производительности труда и повышения безопасности при буровзрывных работах путём использования зарядной машины Avatel. Данная техника позволит сократить время заряжания шпуров вдвое и интенсифицировать подготовительные работы.

Ключевые слова: буровзрывные работы, модернизация, автоматизация, безопасность, подземные горные работы.

С развитием технологий и прогресса в области робототехники и автоматизации производства, возможности применения роботизации и автоматизации в сфере добычи полезных ископаемых становятся все более значимыми [1]. Одним из ключевых аспектов подземной разработки месторождений являются буровзрывные работы (далее БВР), которые требуют высокой точности, безопасности и эффективности выполнения [2].

Шахты Китая, Испании, Германии уже активно внедряют технологии безлюдной выемки с помощью очистных и проходческих комбайнов.

В настоящее время процесс БВР выполняется без использования роботизации и искусственного интеллекта. Бурение шпуров производится с помощью самоходных буровых установок. Заряжание шпуров и последующий взрыв производятся руками рабочих.

Для автоматизации процесса заряжания компания Epiroc представила свою специализированную механизированную зарядную машину Avatel (рисунк 1) [3].

Машина Avatel создана на платформе испытанной временем машины Boomer M2 компании Epiroc. Она оснащена новейшей технологией взрывания от Orica и представляет собой полуавтономную полностью механизированную систему заряжания с двумя стрелами и позволяет одному оператору выполнять весь процесс заряжания из остекленной кабины Epiroc, сертифицированной по стандартам ROPS и FOPS.

Машина Avatel оснащена самой совершенной версией системы электронного управления (версия 5), которая отличается интуитивно понятным интерфейсом с большим сенсорным экраном и двойными многофункциональными джойстиком, а также компьютерными функциями позиционирования стрелы Epiroc [3].

Усовершенствованная надежная конструкция Avatel создана на основе обширного опыта компании Epiroc в области разработки оборудования, ко-

торый позволяет адаптировать ее к конкретным условиям эксплуатации. Расширение будущей линейки зарядных машин может быть реализовано на шасси других машин Epiroc, включая модели с аккумуляторным приводом. Среди других ключевых преимуществ можно отметить гибкость в использовании двойного дизельного/электрического (с подключением к электросети) привода Epiroc.



Рисунок 1 – Зарядная машина Avatel [3]

Оператор из своей кабины управляет исполнительными органами. Рабочее место оборудовано экранами с изображением с камер, находящихся на исполнительных органах, а также экраном с электронным паспортом с электронной системой навигации (рисунок 2).



Рисунок 2 – Рабочее место оператора [3]

Avatel имеет два исполнительных органа, оснащенных системами для продувки и зарядания шпуров, а также для очистки выработки от мусора специальной щеткой и откачки воды благодаря насосу (рисунок 3).



Рисунок 3 – Системы очистки забоя [3]

Перед началом заряжания в шпур подается специальный эмульсионный шланг, который подтверждает глубину шпура в соответствии с планом БВР или данными, полученными при бурении.

Далее в шпур погружается продувочный шланг для продувки шпура от остатков бурения (рисунок 4).

После продувки в шпур погружается зарядный шланг и подается часть взрывчатого вещества. Далее погружается дистанционное средство инициирования и закачивается оставшаяся часть взрывчатого вещества.



Рисунок 4 – Продувка шпура продувочным шлангом

Далее вся техника выезжает из забоя и производится взрыв. Взрыв инициирует диспетчер, находясь на поверхности.

Заряжание шпуров – это длительный и трудоёмкий процесс, который происходит в основном в ручном режиме и может сопровождаться, к сожалению, травмами или даже смертельными случаями. Среднее время заряжания шпуров составляет около часа.

Применение Avatel позволяет уменьшить время заряжания вдвое. Ручной труд при заряжании сводится к минимуму, что позволит уменьшить количество травм. Также при сокращении времени БВР возможно подготавливать больше очистных блоков, а значит есть возможность интенсифициро-

вать очистную выемку.

Новая технология ведения проходческих работ улучшит технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия путем:

- уменьшения трудозатрат на проведение буровзрывных работ;
- улучшения условий труда и повышения безопасности рабочих подземных рудников и шахт;
- сокращения времени буровзрывных работ в два раза;
- повышения производительности проходческих работ.

Avatel является аккумуляторной машиной, что позволит экономить на дизельном топливе и на проветривании. Благодаря технологии дистанционного взрывания можно сэкономить до 1,5 млн.руб. в год.

Так в условиях рудников и шахт, ведущих проходческие работы буровзрывным способом, предлагается использовать новую технологию взрывания с использованием специализированной механизированной зарядной машины для обеспечения максимальной эффективности отбойки при минимальных трудозатратах.

Библиографический список

1. Дадынский, Р. А. Цифровые технологии вспомогательных процессов в горном производстве / Р. А. Дадынский, А. М. Никитина, С. В. Риб // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – № 9. – С. 189-192.

2. Трубецкой К.Н. Новая концепция совершенствования буровзрывных работ на подземных рудниках // К.Н. Трубецкой, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский / Горный журнал. – 2002. - №9.

3. Революционное решение для зарядания при подземных проходческих работах. Режим доступа: - URL: <https://www.epiroc.com/ru-ru/products/drill-rigs/face-drill-rigs/avatel>, (дата обращения: 08.04.2024).

УДК 622.2

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ПРИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Гельгенберг И.О., Никитина А.М., Риб С.В.

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

В данной статье приводится один из способов снижения затрат при проходке выработок буровзрывным способом путем использования специализированной зарядной машины и торкрет-сопла для набрызгбетонирования Tetmiton X4.

Ключевые слова: буровзрывные работы, автоматизация, безопасность, набрызгбетонирование, Tetmiton X4, подземные горные работы.

Одним из ключевых аспектов подземной разработки месторождений являются буровзрывные работы (БВР), которые требуют высокой точности, безопасности и эффективности выполнения [1]. Процесс БВР является трудоемким процессом с большими затратами на эксплуатацию техники и на взрывчатые вещества (ВВ). Компании пытаются оптимизировать этот процесс, снизив затраты и исключив потери производительности [2].

По классической схеме на рудниках отбойка рудной массы осуществляется буровзрывным способом с помощью зарядов ВВ, размещаемых в скважинах диаметром около 89 мм. Взрывные работы при проходке осуществляются системой шпуровых зарядов диаметром около 45мм. Проходка горно-капитальных выработок буровзрывным способом производится с использованием самоходной техники – буровых установок типа Sandvik DD-410-40; ПДМ ST-1030, LH-410 и др.

Для повышения эффективности и безопасности проведения откаточных выработок применяют схемы расположения шпуров с компенсационными скважинами увеличенного диаметра во врубе. Данный способ позволяет повысить скорость проходки выработок в 1,2-1,7 раза (рисунок 1).

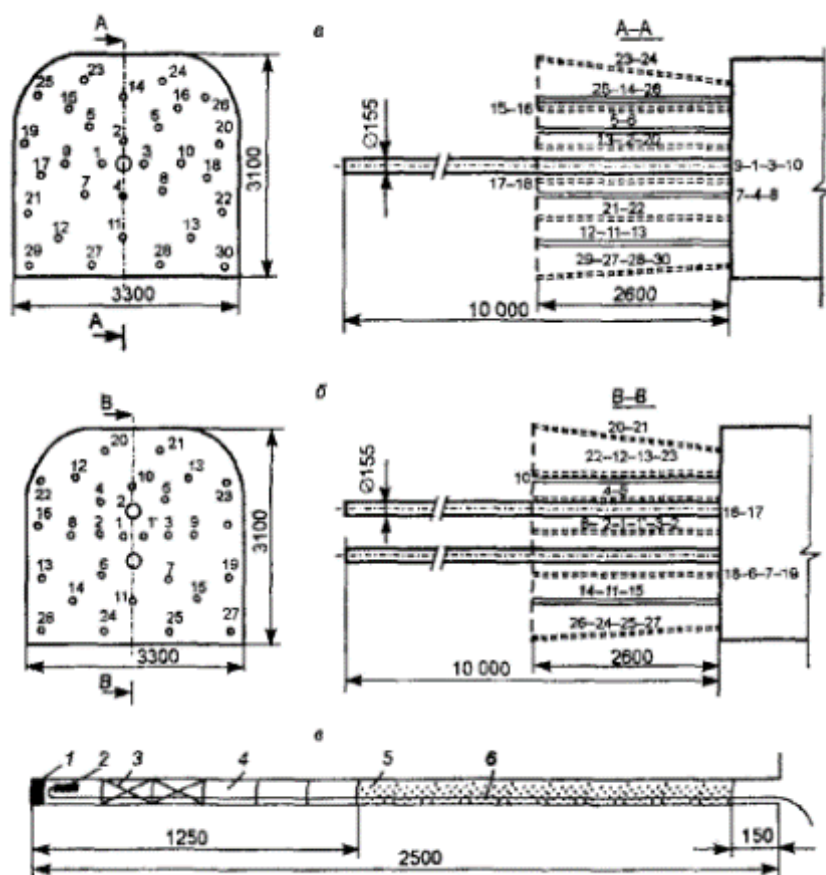


Рисунок 1 - Схемы расположения шпуров и скважин при проходке откаточных выработок: а - с одной компенсационной скважиной во врубе; б - с двумя компенсационными скважинами во врубе; в - конструкция заряда шпура; 1 - бумажный пыж; 2 - боевик; 3 - аммонит скальный; 4 - детонит М, 5 - граммонит 79/21; 6-провод [3]

Для снижения затрат предлагается использовать торкрет-сопло Termiton X4/X5, изготовленное компанией “СИБКОМ” на базе Сибирского государственного индустриального университета. Промышленные испытания проводились на Горно-Шорском филиале ОАО “Евразруда”. На рисунках 2 и 3 представлены схемы торкер-сопла [4].

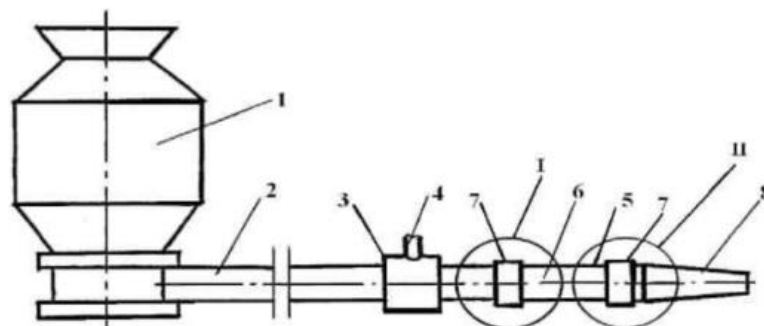


Рисунок 2 – Схема технологического оборудования [4]

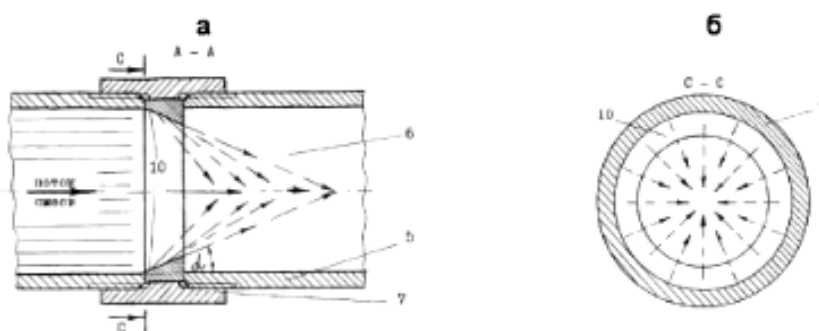


Рисунок 3 – Продольный (а) и поперечный (б) разрез камеры смешивания [4]

Из питателя 1 сухая бетонная смесь сжатым воздухом транспортируется по трубопроводу 2 в узел затворения 3, куда через патрубок 4 подается вода. В узле 3 сухая бетонная смесь по всему его объему смачивается радиальными скоростными потоками диспергированной воды. Затем затворенный поток проходит камеру смешивания 6, из нее - в сопло 8 и далее готовая смесь наносится на покрываемую поверхность.

Транспортируясь по камере 6, затворенный поток подвергается активному смешиванию. Наклонная кольцевая плоскость скоса 10 обеспечивает образование косоугольного кольцевого потока, траектория частиц которого пересекаются в центральной осевой зоне камеры 6. Далее устремляясь к центральной зоне, частицы косоугольного потока активно взаимодействуют между собой, а также с частицами прямого потока с центральной зоны камеры. Этим определяется турбулентная активация компонентов, что ускоряет процесс гидратации, повышает степень однородности смеси, обеспечивает хорошее обволакивание крупного и мелкого заполнителя цементным тестом.

Благодаря использованию торкрет-сопла Termiton X4 снизить запыленность в выработках в 1,6-2,3 раза и улучшить условия труда рабочих.

Благодаря форме торкрет-сопла повышается кучность струи и адгезия торкрет-смеси к породам кровли и решетчатой затяжке и, как следствие, увеличение слоя набрызгбетона за один проход.

Повышается качество крепления горной выработки набрызгбетоном с получением ровной и гладкой поверхности. За счет снижения отскока при торкретировании 100т сухой смеси можно экономить до 360 тыс. руб.

Библиографический список

1. Трубецкой К.Н. Новая концепция совершенствования буровзрывных работ на подземных рудниках // К.Н. Трубецкой, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский / Горный журнал. – 2002. - №9.

2. 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.

3. Способ проходки горизонтальных и слабонаклонных подземных выработок с применением компенсационных шпуров и скважин / Ф.И. Караманиц, А.С. Громадский, Г.Г. Гончаренко, К.Л. Прокопчук, О.С. Чепела // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. - № 5. - С. 228-237.

4. Промышленные испытания ствола обеспыливающего набрызгбетонирования termiton X4 / Г.Н. Волченко, Б.Д. Исахаров, В.Н. Фрянов, Н.Г. Волченко, Е.А. Волков, В.В. Приб // Вестник Сибирского государственного индустриального университета, 2015. - №1 (11). - С. 32-35.

УДК 622.023

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ефименко И.А., Никитина А.М., Володина А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: ivan.efimenko2018@gmail.com*

В данной статье рассматривается порядок создания эквивалентных материалов. Приведен пример разрушения образцов правильной формы при их статическом испытании на одноосное сжатие.

Ключевые слова: модель, физическое моделирование, эквивалентный материал, образец, горная порода.

Модель обычно представляет собой либо материальную копию оригинала, либо некоторый условный образ, представленный в абстрактной (мысленной или знаковой) форме и содержащий существенные свойства модели-

руемого объекта. Процедуры создания моделей широко используются как в научно-теоретических, так и в прикладных сферах человеческой деятельности [1]. Целью работы является получение характеристик эквивалентных материалов для физического моделирования напряжённо-деформированного состояния углепородного массива.

Для исследования процессов, происходящих в массивах горных пород удобно использование моделей, поскольку это более простой в организации и менее дорогостоящий метод, чем проведение эксперимента в реальных шахтных условиях.

Для исследования геомеханических процессов наиболее распространённым является метод эквивалентных материалов (МЭМ), разработанный во ВНИМИ Г.Н. Кузнецовым [1]. Этот метод в основном применяют для исследования геомеханических процессов в сложных горно-геологических условиях, где изучение на практике связано с организационными и финансовыми трудностями [2,3].

Прочностные характеристики материала, эквивалентного горной породе, определялись по формуле:

$$\sigma_{\text{п.ч.с}} = (R_c)_m = \frac{l}{L} \frac{\gamma_m}{\gamma_n} (R_c)_n, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{п.ч.с}} = (R_c)_m$ - предел прочности при сжатии эквивалентного материала;

$(R_c)_n$ – предел прочности при сжатии натуральных образцов породы;

$\frac{l}{L}$ – линейный масштаб модели;

γ_m – объёмная масса материала;

γ_n – объёмная масса пород.

Для определения объёмной массы породы использовалась формула:

$$\gamma_m = 0,6 \cdot \gamma_n. \quad (2)$$

Для изготовления эквивалентного материала производилось смешивание песка, гипса и цемента, процентное соотношение по весу находилось в диапазоне от 50 % до 45 %, от 25 % до 33 % и от 25 % до 44 % соответственно. Для обеспечения однородного состава смесь с помощью специального оборудования перемешивалась при комнатной температуре. Готовую смесь заливали в цилиндрическую форму. На первый, второй и третий варианты смешивания изготавливалось по 3 образца (рисунок 1).

Первый вариант состоит из 450 г песка, что составило 50 процентов от общей массы, 225 г гипса и 225 г цемента, то есть по 25 процентов от общей массы.

Во втором варианте песок, гипс и цемент смешивались в одинаковом соотношении, то есть примерно 33 процента от общей массы для каждого материала.

Для третьего варианта 225 г песка, 275 г гипса и 400 г цемента. Это соответственно 25, 31 и 44 процента от массы.



а)



б)

Рисунок 1 – Образцы цилиндрической формы: а) формы для заливки, б) готовые для испытания на прессе

Для определения прочностных параметров образцов до начала опыта проводятся измерения высоты h , ширины L_2 и длины L_1 , которые вводятся как исходные данные в электронный блок прибора перед каждым экспериментом.

После того, как образцы были готовы и измерены, произвели их испытание на одноосное сжатие на прессе МИП – 50Э (рисунок 2).

Испытание образцов на одноосное сжатие выполнялось в следующей последовательности: образец из эквивалентного материала устанавливался на опорную подвижную плиту прессы. Верхняя плита при нагружении обжимала образец сверху. При работе прибора происходило измерение предельной нагрузки, соответствующей разрушению образца, при испытании его на сжатие.



Рисунок 2 – Испытание на прессе МИП – 50Э

Предел прочности образцов на одноосное сжатие определяется по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

где F – нагрузка, кН;

S – площадь поверхности образца, m^2 .

$$F_1 = 110.3 \text{ кН}, F_2 = 101.6 \text{ кН}, F_3 = 33.6 \text{ кН}; S_1 = S_2 = S_3 = 42 \text{ см}^2.$$

$$\sigma_{\text{сж1}} = \frac{110300}{4200} = 26.26 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{сж2}} = \frac{101600}{4200} = 24.19 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{сж3}} = \frac{33600}{4200} = 8 \text{ МПа}.$$

Коэффициент крепости определяется по формуле:

$$f = \frac{\sigma_{\text{сж}}}{10}. \quad (4)$$

В соответствии с результатами расчёта и проведённых испытаний определены пределы прочности эквивалентного материала при одноосном сжатии, соответствующие углю, аргиллиту, алевролиту (таблица 2).

Таблица 2 – Предел прочности образцов эквивалентного материала при одноосном сжатии

Состав смеси, % (по весу)				Предел прочности при сжатии эквивалентного материала, МПа
порода	цемент	песок	гипс	лабораторный
Уголь	25	50	25	0,8
Аргиллит	33	33	33	2,4
Алевролит	44	25	31	2,6

Гистограмма, отображающая зависимость предела прочности образца при сжатии от содержания цемента в смеси изображена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Гистограмма зависимости предела прочности от содержания цемента в смеси

Таким образом, в работе по принципу подобия определен коэффициент крепости материала для применения в дальнейшем в изготовлении физических моделей. Также, установлено, что с увеличением содержания цемента прочность эквивалентного материала на сжатие увеличивается, однако эта

зависимость не линейная.

Установлено, что существенное влияние на крепость эквивалентного материала оказывает влажность полученных образцов, чем выше влажность, тем меньше прочность пород. Полученные эквивалентные материалы будут в дальнейшем использоваться для построения физической модели вмещающих пород в окрестности горных выработок для определения устойчивости пород в различных горно-геологических условиях.

Библиографический список

1. Кузнецов, Г. Н. Моделирование проявлений горного давления / Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев [и др.]. – Л. : Недра, 1968 – 279 с.
2. Риб С. В. Физическое моделирование геомеханических процессов в окрестности горной выработки / С. В. Риб, В. В. Басов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 4(22). – С. 45-50.
3. Павздерин К.А. Разработка физической модели горного массива с целью определения его параметров в окрестности горной выработки прямоугольного сечения в условиях ОАО "Шахта "Осинниковская" / К.А. Павздерин // 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. Новокузнецк, 14-16 мая 2019 г. С. 250-256.

УДК 622.276:622.233.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

**Кротков И.А., Ефименко И.А., Волошин В.А.,
Никитина А.М., Риб С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, ivan.ru104@gmail.com*

На горных предприятиях, разрабатывающих рудные месторождения используют в основном буровзрывной способ проведения горных выработок. В данной статье рассматривается оптимизация проведения горных выработок с использованием безлюдных технологий. Проанализированы технические характеристики горношахтного оборудования, их преимущества и возможности в контексте безопасной и эффективной работы на горных предприятиях.

Ключевые слова: буровзрывной способ, рудные месторождения, рудник, сотрясательное взрывание, безлюдные технологии, проходческий комбайн, крепление.

Буровзрывной способ является одним из наиболее распространенных

методов подземной добычи рудных месторождений в России, особенно на месторождениях, где ведется добыча на средней и большой глубине. Этот метод основывается на последовательном выполнении бурения скважин, затем зарядки их взрывчатыми веществами и проведении взрывов для разрушения породы. Далее осуществляется вывоз обломков и подготовка выработок для последующей добычи руды.

Большинство рудников используют технологию отбойки руд скважинными зарядами в сочетании с короткозамедленным взрыванием при проведении горных выработок. Это позволило выполнить намеченные цели развития черной и цветной металлургии страны. Со временем оптимизируются технологические схемы, буровые установки, параметры взрывчатых веществ (ВВ) и общая технология ведения горных работ на подземных рудниках.

Один из новаторских подходов, предлагаемых авторами, является использование сотрясательного взрывания в совокупности с комбайновым проведением выработок.

Сотрясательное взрывание (камуфлетное) – в горной промышленности в основном используется для разгрузки краевых частей массива от высоких концентраций напряжений. Камуфлетное взрывание обеспечивает более точное управление процессом взрыва и формирование необходимых геометрических параметров выработок. Это позволяет избежать нежелательных разрушений и повреждений окружающих объектов [1,2].

Оптимизация технологии подразумевает создание систем трещин, впереди фронта проходческих работ, за счёт использования сотрясательного взрывания, что позволит разупрочнить массив и подготовить его к дальнейшей выемке комбайном. Использование этого способа проведения горных выработок способствует также оптимизации крепления, поскольку, данная технология не образует такую обширную систему трещин, как при стандартном БВР, что позволяет использовать более экономичный вид крепления, например, сталеорганические анкера.

На сегодняшний день известны комбайны, способные крепить выработки без участия человека, что позволит привести горную промышленность к высокому уровню безопасности, поскольку эта технология позволит полностью исключить человека из опасной зоны – забоя. Также наиболее целесообразно ориентироваться на отечественного производителя - поручить научно-исследовательским институтам и инженерам в области горных машин разработать современное оборудование на основе комбайна КСП-35, на основе зарубежного комбайна типа EBZ-200, оснащённого навесным оборудованием и полностью автоматизированным.

Горный комбайн типа EBZ представляет собой высокотехнологичное устройство, оснащенное мощным двигателем, гидравлическими системами управления и специализированным оборудованием для добычи полезных ископаемых и крепления горных выработок (рисунок 1).



Рисунок 1 - Проходческий комбайн с анкероустановщиками EBZ200JM

Возможности комбайна могут включать в себя:

- автоматизированное управление и навигацию;
- системы мониторинга и контроля состояния оборудования;
- автоматическое крепление горных выработок;
- системы защиты от аварийных ситуаций.

Использование автоматизированных горных комбайнов типа EBZ с навесным оборудованием для реализации безлюдной технологии в горной промышленности представляет собой эффективный и перспективный подход, способствующий улучшению безопасности, повышению производительности и снижению затрат на производство.

Дальнейшее исследование и разработка данной технологии могут привести к ее широкому применению и внедрению в промышленной практике [3,4].

В качестве транспорта авторами предлагается технология беспилотного транспортирования полезного ископаемого на основе беспилотных самоходных вагонов Sandvik. Операторы могут контролировать погрузчики удаленно с помощью специализированных пультов управления или программного обеспечения, что обеспечивает большую гибкость и удобство в управлении. Автоматизация за счёт использования горных машин такого типа уже активно используется зарубежом. Данное оборудование отличается высокой степенью автоматизации, а работа этих установок в автоматическом режиме позволяет снизить износ. Снижение убытков и сокращения расходов на ремонт достигается за счёт использования специальных сканеров, которые предотвращают столкновение с бортами выработки и другими препятствиями.

При совместно приложенных усилиях, технологию автотранспорта, описанную выше, можно также улучшить за счёт расположения на самоход-

ных вагонах навесного оборудования, позволяющих крепить бока горных выработок в удалённом режиме (рисунок 2). Другими словами, самоходные вагоны могут быть спроектированы с учетом возможности установки навесного оборудования для крепления боков горных выработок.



Рисунок 2 – Пример самоходного вагона и навесное буровое оборудование

Это позволяет интегрировать функции крепления непосредственно в конструкцию погрузчика, что упрощает его использование и обслуживание. Интеграция такой функции позволит сократить время на выполнение операций и повысить общую производительность работы.

В итоге, формируется полностью автоматизированный проходческий забой, позволяющий проходить выработки с помощью дистанционного управления одним человеком.

Также внедрение новой технологии позволит оптимизировать планирование горных работ – за счёт работы горношахтного оборудования в режиме автоматизированного крепления горных выработок.

Есть и недостатки использования данной технологии – бурение глубоких скважин и сильная зависимость от геомеханического состояния массива (камуфлетное взрывание). В добавок к этому работа полностью автоматизированного забоя полностью зависит от исправной работы технических систем, что может вызвать проблемы при возникновении сбоев или отказов оборудования. Также необходимо расширение материально-технической базы.

Однако, на взгляд авторов, безопасность ведения горных работ является важнейшей составляющей горной промышленности, а исключение человека из забойного пространства позволит значительно уменьшить травматизм и обеспечить высокие показатели безопасности на горном предприятии.

Библиографический список

1. Закалинский В.М. Новый способ взрывных при разработке месторождений с применением физико-химических геотехнологий / В.М. Закалинский, Р.Я. Мингазов // Горный информационно-аналитический бюллетень № 9, 2016. – С. 244-251.

2. Искандар М.Р. Разработка эффективного способа буровзрывных работ обеспечивающий проектный сечения горизонтальных подземных горных

выработок / М.Р. Искандар // Central Asian Academic Journal of Scientific Research. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-effektivnyu-sposoba-burovzryvnyh-rabot-obespechivayuschy-proektnyy-secheniya-gorizontalnyh-podzemnyh-gornyh-vyrobotok> (дата обращения: 07.04.2024).

3. Разработка технико-технологических решений по повышению темпов проведения подготовительных выработок в условиях «Шахты «Алардинская» / С. А. Савченко, В. А. Воронков, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2 : Естественные и технические науки. – С. 56-60.

4. Разработка технико-технологических решений по увеличению темпов проведения горных выработок в условиях ООО «Шахта «Усковская» / А. Ю. Портнягин, А. М. Никитина, С. В. Риб // 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. 263-267.

УДК 622.232

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГАФНИЯ ИЗ УГЛЯ

Трапезников К.С., Чаплыгин В.В.

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

В данной статье обозначена актуальность извлечения гафния из угля. Описаны области промышленности, в которых используется гафний. Приведены цифры среднего содержания гафния в месторождениях и годовой объем добычи. Обозначены два этапа извлечения редкоземельных металлов из угля. Рассматриваются технологии извлечения гафния из угля и их перспективы в условиях современной экономики.

Ключевые слова: горное дело, гафний, извлечение, уголь, использование.

В настоящее время в России происходит увеличение добычи угля. Однако, наблюдается недостаток инновационного потенциала угольной промышленности. Уголь в нашей стране является наиболее эксплуатируемым энергоносителем и в большинстве случаев просто сжигается. Тогда как, в мировой практике, уголь все больше начинает рассматриваться не только как топливо-энергетическое сырье, но и в качестве источника редких и благородных металлов. Это вызвано, в том числе, проблемой возможного истощения редкоземельных металлов. Ведь в все более развивается производство электромобилей, радиоэлектроники, приборо- и машиностроения и т.д., для

которого требуются все больше и больше ресурсов, как распространённых, так и редких. Именно поэтому стратегия развития минерально-сырьевой базы России до 2035 года также ставит добычу редкоземельных металлов в приоритет. Однако, извлечение редких и редкоземельных металлов происходит медленно из-за сложностей в освоении месторождений, их удалённого расположения и технологической сложности обогащения руд и извлечения металлов.

Гафний является незаменимым ресурсом во многих отраслях промышленности.

1. В атомной отрасли используется способность гафния захватывать нейтроны, поэтому его применяют для производства регулирующих стержней, специальной керамики и стекла в атомной промышленности. Уникальное свойство диборида гафния заключается в минимальном газовыделении при выгорании бора.

2. В оптической индустрии используется оксид гафния из-за его термостойкости и высокого коэффициента преломления. Гафний широко применяется в производстве специализированных стёкол для волоконной оптики, а также для создания высококачественных оптических компонентов, покрытия зеркал и, например, линз для приборов ночного видения и тепловизоров. Аналогичным образом используется и фторид гафния.

3. Карбид и борид гафния используются в качестве сверхпрочных покрытий и для создания сверхтвёрдых сплавов. Также карбид гафния считается одним из самых тугоплавких соединений и применяется в производстве сопел для космических ракет и некоторых конструктивных элементов газоплазменных ядерных реактивных двигателей.

4. Гафний характеризуется относительно низкой работой выхода электрона (3,53 эВ), благодаря чему используется для изготовления катодов мощных радиоламп и электронных пушек. Однако это свойство, наряду с высокой температурой плавления, позволяет применять гафний для производства электродов для сварки металлов в аргоне и особенно электродов (катодов) для сварки низкоуглеродистой стали в углекислом газе. Устойчивость таких электродов в углекислом газе более чем в 3,7 раза превышает аналогичный показатель для вольфрама. Также в качестве эффективных катодов с низким уровнем работы выхода используется гафнат бария.

5. Мелкопористый керамический карбид гафния может стать высокоэффективным коллектором электронов, если с его поверхности в вакууме будут испаряться пары цезия-133. При этом работа выхода электронов снизится до значения менее 0,1–0,12 электронвольт. Этот эффект можно использовать для создания термоэмиссионных электрогенераторов и компонентов мощных ионных двигателей.

6. Использование сплавов и покрытий с гафнием играет важную роль в атомной энергетике, судостроении, космической промышленности и других отраслях.

Существуют и другие способы использования гафния.

Все это делает гафний очень важным ресурсом в современной экономике. Особенно это актуально для российской промышленности, так как на данный момент большая часть этого металла импортируется из других стран. Изображение гафния на рисунке 1.



Рисунок 1 – Гафний

Среднее содержание гафния в земной коре — около 4 г/т. Ввиду отсутствия у гафния собственных минералов и постоянного сопутствия его цирконию, его получают путём переработки циркониевых руд, где он содержится в количестве 2,5 % от веса циркония. В мире в год в среднем добывается около 70 тонн гафния, и объёмы его добычи пропорциональны объёмам добычи циркония. Его также можно получать путем извлечения из угля.

На 1 тонну угля в среднем при разработке получается 4 тонны вскрышных пород, и 300 кг при подземном способе добычи, а также 200-300 кг отходов обогащения, в большей степени золы. Поэтому наиболее рационально использовать ее для извлечения гафния [1,2].

В процессе извлечения редкоземельных металлов из угля можно выделить два этапа.

1. Выщелачивание ионов металлов: из летучей золы угля выщелачиваются ионы металлов, включая редкоземельные элементы и их примеси. Этот процесс происходит с использованием азотной кислоты, которая образует нитраты, вступающие в реакцию с трибутилфосфатом (эфиром фосфорной кислоты).

2. Многостадийная очистка: полученные вещества подвергаются многоступенчатой очистке для отделения редкоземельных металлов и снижения концентрации примесей.

Использование сверхкритических жидкостей, таких как диоксид углерода, позволяет проводить процессы экстракции и выщелачивания с высокой эффективностью и селективностью. Сверхкритический CO_2 обладает уникальными свойствами, позволяющими ему проникать в

микропоры и трещины минералов, что обеспечивает доступ к ценным компонентам и их извлечение.

Данный метод извлечения редкоземельных металлов из сожжённого угля является экологически безопасным, поскольку для этого процесса не требуются экстремальные температуры и сильные кислоты. Вместо этого используются обычные и доступные сверхкритические жидкости, такие как диоксид углерода (углекислый газ).

Использование этой технологии наиболее оправдано на месторождениях углей с высоким содержанием этого металла. Таким, например, являются запасы Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна, где значение содержания гафния в пластах угля составило от 1,2 до 160 г/т [3].

В Кузбассе, регионе в котором добывается наибольшие объемы угля в России, среднее содержание гафния составляет 24 г/т, что в сочетании с развитой инфраструктурой дает перспективу применения технологии извлечения этого элемента из угля [4].

Эта технология, может быть применена и для некоторых других редкоземельных металлов, тем самым она имеет перспективы развития и может внести вклад в решение проблемы исчерпания этих ценных элементов.

Библиографический список

1. Ахметова М.А. Извлечение металлов из зольных отходов ТЭЦ / М.А. Ахметова, С.Р. Масакбаева // DIZWW. – 2021. – №10-1. – С. 4-6.

2. Угольные отходы как сырье для получения редких и рассеянных элементов / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова, А.А. Бобровникова, А.В. Неведров, А.В. Папин // Вестник КузГТУ. – 2016. – №6. – С. 185-189.

3. Ильенок С.С. Минеральные формы редких элементов в углях и золах углей Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна / С.С. Ильенок, С.И. Арбузов // Известия Томского политехнического университета. – 2016 – №2. – С. 6-20.

4. Скурский М.Д. Прогноз редкоземельно-редкометалльно-нефтегазоугольных месторождений в Кузбассе / М.Д. Скурский // ТЭК и ресурсы Кузбасса. - 2004. - № 2/15. - С. 24 - 30.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ УГОЛЬНЫМ РАЗРЕЗОМ
ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ 150 МЕТРОВ И НИЖЕ С ЦЕЛЬЮ
ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕВОДА РАБОТНИКОВ
НА «ПОДЗЕМНЫЙ ГОРНЫЙ СТАЖ»**

Кисель В.В., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

Статья посвящена определению достижения угольным разрезом глубины разработки 150 метров и ниже с целью возможности перевода работников на «подземный горный стаж». В ней будут рассмотрены критерии определения достижения данной глубины, особенности перевода работников на подземный горный стаж, а также значимость данной практики персонала в угольной промышленности.

Ключевые слова: подземный горный стаж, горно-геометрический анализ участка горных работ.

Некоторые предприятия открытой угледобычи Кузбасса подходят к отметке, ниже которой работникам необходимы назначение льгот и «подземного трудового стажа».

Подземный стаж – это важный показатель для работников шахтёрской отрасли, так как он влияет на получение пенсий и пособий. Подсчёт этого стажа учитывает вредные условия труда, связанные с работой в шахте. Многие работники этой сферы считают учёт подземного стажа ключевым фактором при определении размера пенсии и социальных выплат.

Кроме обычной пенсии, шахтёры могут претендовать на дополнительные выплаты: надбавку за подземный стаж работы (30 % от зарплаты за каждый год подземного стажа) и доплату за работу во вредных и опасных условиях труда (до 50 % от размера пенсии).

Граждане, работающие на подземных и открытых горных работах, включая личный состав горноспасательных частей, имеют право на пенсию независимо от возраста, если они проработали на указанных должностях не менее 25 лет. Шахтёры, достигшие 50 лет со стажем подземных работ не менее 10 лет и 20 лет общего стажа, также имеют право на досрочную пенсию при стаже подземных работ не менее 20 лет по основным профессиям или не менее 25 лет подземных работ без учёта возраста.

В настоящей статье, на примере условного участка горных работ рассмотрим методику определения глубины разработок для утверждения этого важного для горняков показателя глубины работ.

Основные типы открытых разработок различаются в зависимости от расположения залежи относительно поверхности земли (рис. 1).

Поверхностные разработки:

- включают большинство разработок россыпей, природных строительных материалов, значительную часть угольных и небольшую часть рудных месторождений с горизонтальными и пологими залежами;

- карьеры имеют небольшую глубину (до 40–60 метров) и относительно постоянную глубину;

- вскрышные породы и полезные ископаемые разнообразны, обычно мягкие и полускальные.

Глубинные разработки:

- охватывают большую часть рудных и частично угольных месторождений с наклонным и крутым падением залежей;

- карьеры постепенно углубляются, их конечная глубина может достигать 800 метров, в таких карьерах разрабатываются все типы пород.

Нагорного вида разработки:

- в основном включают открытые разработки различных руд, горно-химического сырья, строительных материалов и иногда угля;

- залежи расположены значительно выше преобладающего уровня поверхности;

- количество рабочих уступов и размеры карьеров в плане разнообразны;

- полезные ископаемые и вскрышные породы в основном скальные.

Нагорно-глубинные разработки:

- включают открытые разработки различных руд, горно-химического сырья, строительных материалов и угольные месторождения со сложным рельефом поверхности карьерного поля;

- полезные ископаемые и вскрышные породы скальные или полускальные, иногда неоднородные;

- каждый из этих видов открытых разработок отличается от других подготовкой месторождения к эксплуатации, порядком разработки, вскрытием рабочих горизонтов, расположением отвалов и соответствующим характером комплексной механизации горных работ.

Разработки первого типа являются наиболее экономичными, так как выемка полезного ископаемого происходит сразу на полную мощность, а вскрышные породы размещаются в отработанном пространстве.

Вскрышные работы и отработка залежи полезного ископаемого при разработках глубинного вида производятся послойно в нисходящем порядке. Горную массу, как правило, перемещают вверх, на поверхность, и вскрышные породы складывают во внешние отвалы. Отработке каждого нового слоя предшествуют горно-подготовительные работы, обеспечивающие вскрытие рабочих горизонтов. Глубина карьера постепенно возрастает до предела, определяемого границами карьерного поля.

Для открытых разработок нагорного вида характерно перемещение покрывающих и вмещающих пород и добытого полезного ископаемого с применением транспорта вниз, к месту расположения отвалов и перерабатывающего комплекса.

Разработка месторождений нагорно-глубинного вида имеет характер-

ные черты второго и третьего видов открытых разработок.

Рассматриваемое каменноугольное месторождение в границах исследуемых участков необходимо отнести к разработке нагорных месторождений. Особенности рельефа по всем исследуемым участкам условно делят карьер на нагорную часть и глубинную часть.

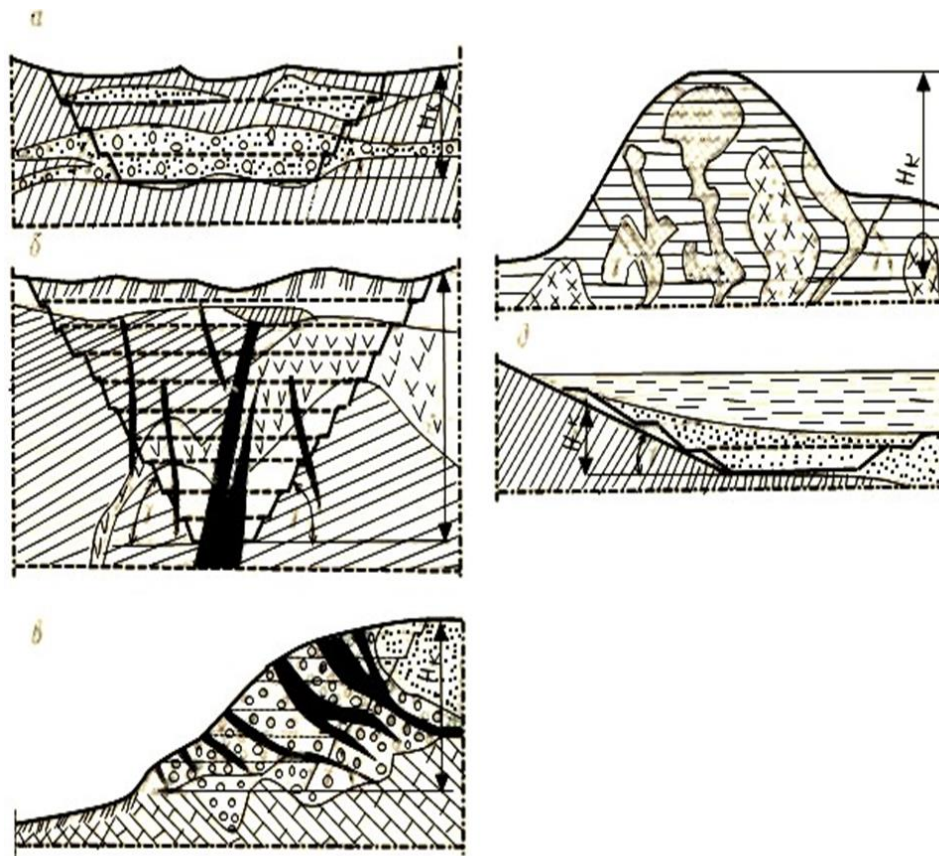


Рисунок 1 – Схемы открытых разработок: а, б, в, г и д – соответственно поверхностного, глубинного, нагорного, нагорно-глубинного и подводного вида

Открытый способ добычи полезных ископаемых предполагает извлечение ресурсов непосредственно с дневной поверхности. Разработка первого участка ведётся с использованием сплошной продольной однобортовой системы (согласно классификации академика Ржевского В.В.).

При проектировании карьера существует три метода определения его глубины: аналитический, графический и графоаналитический. Цель этих методов – определение граничного коэффициента вскрыши, то есть конечной глубины разработки, после которой предприятие становится убыточным, и добыча открытым способом становится нецелесообразной.

Однако в данном случае целью является определение фактической глубины карьера на текущий момент. Мы используем графоаналитический метод определения глубины карьера. Карьер представляет собой совокупность горных выработок, образованных при открытой добыче полезных ископаемых, а его дно – это нижний уступ карьера, называемый подошвой.

Глубина карьера – это вертикальное расстояние между подошвой и усреднённой отметкой дневной поверхности.

И дневная поверхность, и подошва карьера на этапе проектирования рассматриваются как идеально ровные горизонтальные поверхности без учёта рельефа. Однако в некоторых случаях подошва карьера может иметь неровную поверхность и, следовательно, горизонтальную отметку. В таких случаях глубина карьера является комплексной интегральной величиной, усреднённой между господствующей высотой земной поверхности и подошвой карьера на отдельном участке.

В границы разреза входят первый участок, а также второй и третий участки, относящиеся к системе разработки нагорных месторождений с определением господствующей высоты по классификации В.В. Ржевского. Они образуют замкнутый контур разреза, показанный на рисунке 2.

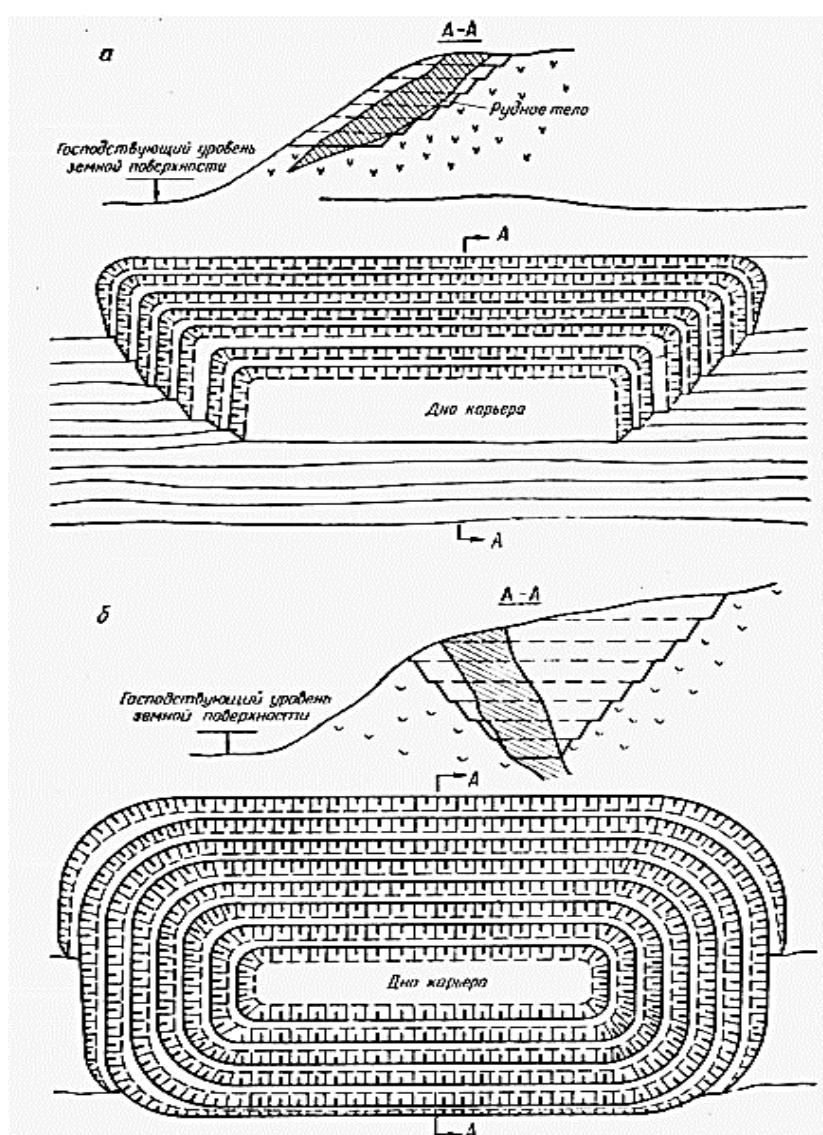


Рисунок 2 – Выкопировка из учебного пособия «Открытые горные работы в сложных условиях» (В.В. Ржевский, Ю.И. Анистратов, С.А. Ильин 1964 г, «Методика определения господствующего уровня земной поверхности»)

Анализ дневной поверхности позволил выделить зоны с преобладающим уровнем дневной поверхности.

Для определения глубины карьера на участках применялся метод вертикальных разрезов. Разрезы создавались с шагом 50 метров по всей длине участка, на них наносилась дневная поверхность и разрабатываемые пласты. Затем определялся преобладающий уровень земной поверхности для каждого участка, и измерялась глубина с занесением результатов в таблицу.

На основе полученных данных вычислялась комплексная интегральная средняя величина между преобладающей высотой земной поверхности и дном карьера для каждого отдельного блока (рисунок 3).

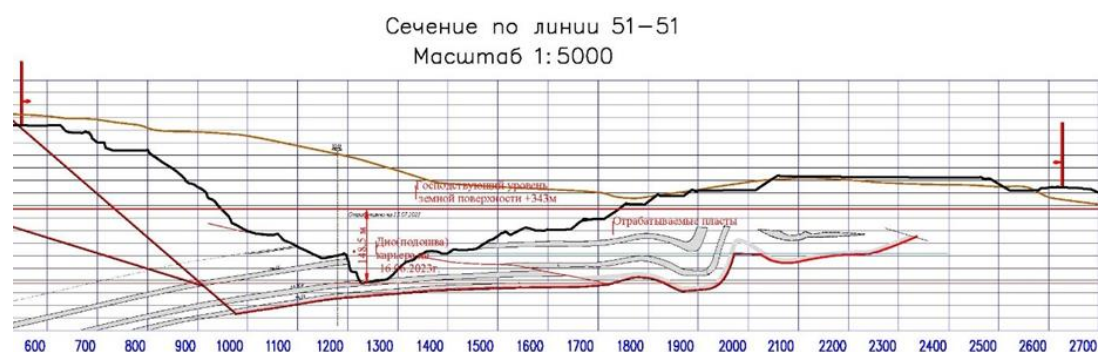


Рисунок 3 - Схема замера глубины карьера

В статье рассматривается вертикальный разрез карьера, где производится замер глубины от господствующего уровня земной поверхности до подошвы карьера и результаты заносятся в таблицы 1–3. На основе полученных данных определяется комплексная интегральная средняя величина между преобладающей высотой земной поверхности и дном карьера для каждого отдельного блока (участка).

Таблица 1 – Сводная таблица замеров глубины карьера от господствующего уровня земной поверхности до дна (подошвы) карьера

Участок	Местоположение Вертикальных сечений	Господствующий уровень земной поверхности	Глубина карьера, м	Средняя глубина участка недр, м
I	1-1;26-26	+285м	110,8	127,4
II	27-27;60-60	+343м	148,6	
III	61-61;67-67	+325м	118,5	
IV	68-68;80-80	+350м	131,2	
V	81-81;85-85	+375м	137,6	
VI	86-86;116-116	+400м	117,1	

Из представленного анализа можно сделать вывод, что самым глубоким участком является участок II между вертикальными сечениями 27-27; 60-60 и составляет 148,6 метров.

$$(I+II+III+IV+V+VI):6 = (110,8+148,6+118,5+131,2+137,6+117,1+127,4 \text{ метров})$$

Средняя глубина первого участка недр составила 127,4 метров.

Таблица 2 – Сводная таблица замеров глубины второго горного участка от господствующего уровня земной поверхности до дна (подошвы) карьера

Участок	Местоположение Вертикальных сечений	Господствующий уровень земной поверхности	Глубина карьера, м	Средняя глубина участка недр, м
I	161-178	+364м	147,978	78,96
II	179-192	+350м	27,35	
III	193-203	+400м	56,89	
IV	204-215	+350м	83,65	

Из представленного анализа можно сделать вывод, что на период проведения настоящего анализа самым глубоким участком является участок I между вертикальными сечениями 161-178 и составляет 147,98м

$$(I+II+III+IV+V):5=(147,9+27,3+56,9+83,6):5=78,9\text{м}$$

Средняя глубина второго участка недр составила 78,9 м

Третий горный участок был условно разделен на 3 участка с господствующим уровнем земной поверхности.

Таблица 3 – Сводная таблица замеров глубины карьера от господствующего уровня земной поверхности до дна (подошвы) карьера

Участок	Местоположение Вертикальных сечений	Господствующий уровень земной поверхности	Глубина карьера, м	Средняя глубина участка недр, м
I	216-219	+350м	109,3	55,2
II	220-230	+300м	39,8	
III	231-235	+310м	16,6	

В результате анализа было выявлено, что на момент проведения анализа самый глубокий участок — это участок I, расположенный между вертикальными сечениями 216–219. Его глубина составляет 109,25 метра.

Средняя глубина всех трёх участков равна 55,2 метрам.

Согласно проведённым исследованиям:

- на первом участке максимальная глубина самого глубокого блока составляет –148,5 метра, а средняя глубина по участку равна –127,3 метра;
- на втором участке максимальная глубина самого глубокого блока составляет –147,9 метра, а средняя глубина по участку равна –78,9 метра;
- на третьем участке максимальная глубина самого глубокого блока составляет –109,2 метра, а средняя глубина по участку равна –55,3 метра.

Таким образом, на момент исследования предприятие в целом не до-

стигло отметки в 150 метров по глубине ни на одном из рассмотренных участков, поэтому предоставление льготного «подземного» стажа работникам невозможно.

Библиографический список

1. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: Технология и комплексная механизация: Учебник / В.В. Ржевский. - М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 552 с.
2. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: Производственные процессы: Учебник / В.В. Ржевский. - М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 512 с.

УДК 622.27

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Дудкин В.П., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматриваются особенности разработки сложноструктурных месторождений угля, связанные со сложной геологией, нарушениями и тектоническими зонами. Это создаёт сложности при добыче, требует специализированных технологий и оборудования, а также разработки эффективных подходов к управлению горными работами.

Ключевые слова: геологическое нарушение, добыча угля.

Анализ проблем разработки сложноструктурных месторождений привёл к выявлению следующих сложностей: свитовое залегание пластов, дизъюнктивные нарушения, крепкие вмещающие породы, что затрудняет организацию горных работ.

Сложности отработки угленасыщенной зоны связаны с особенностями её конфигурации и строения: отсутствие выдержанных участков, переменное количество породных прослоёв и наличие ложных почвы и кровли.

В связи с этим было предложено вести послойную отработку добычного уступа с селективной выемкой пластов. Технологическая схема обеспечивает минимальные потери угля и разубоживание.

Однако анализ горных работ выявил ряд недостатков: низкую производительность выемочного и транспортного оборудования, значительные дополнительные работы, сложность организации подачи автотранспорта и ведения БВР.

В связи с указанными недостатками возникает необходимость в разработке новых технических решений, направленных на повышение эффективности ведения горных работ на участке открытых горных работ «Распадский».

Одно из предлагаемых решений — внедрение технологии поточной

добычи угля, которая оптимизирует процессы выемки и транспортировки полезных ископаемых, сокращает объём дополнительных работ и упрощает организацию движения транспорта.

Для успешного внедрения этой технологии рекомендуется использовать набор оборудования, включая мощные экскаваторы с большим радиусом действия и высокопроизводительные самосвалы. Это позволит сократить количество манёвров экскаватора и, соответственно, уменьшить время экскавации.

Ещё одно предлагаемое решение – оптимизация процесса буровзрывных работ. В частности, следует применять особые схемы взрывания, которые помогут сохранить целостность угольных пластов и уменьшить потери угля при добыче.

Наконец, чтобы уменьшить негативное влияние на окружающую среду, следует внедрить комплекс мер по восстановлению земель и очистке сточных вод. Это поможет улучшить экологическую ситуацию в регионе и минимизировать ущерб природным ресурсам.

Для оптимизации буровзрывных работ предлагается использовать специальные схемы взрывания, которые помогут сохранить целостность угольных пластов и уменьшить потери полезного ископаемого. Также важно внедрить меры по рекультивации земель и очистке сточных вод, что улучшит экологическую обстановку и минимизирует негативное воздействие на природу.

Основным оборудованием будут экскаваторы с обратной гидравлической лопатой и автосамосвалы. Вскрытие угольного пласта будет производиться полутраншеями со стороны всячего бока залежи и разрезными траншеями высотой до 15 метров. При угле падения пласта более 65 градусов возможна отработка добычного уступа с верхним черпанием одним слоем. Сначала производится вскрытие и зачистка кровли пласта на высоту 10 метров, затем верхний черпающий слой грузится в автосамосвалы на уровне стояния экскаватора. Вторым ходом отрабатывается пласт с погрузкой угля в автосамосвалы БелАЗ 75138 на уровне стояния экскаватора (рисунок 1).

Экскаваторы оснащены системой автоматического контроля загрузки для обеспечения безопасности при проведении работ. Эта система предотвращает перегрузку машин и обеспечивает оптимальное распределение материала. Также на объекте установлены системы контроля уровня шума и вибраций, чтобы соответствовать экологическим стандартам и избегать негативного воздействия на окружающую среду.

Система вентиляции и очистки воздуха снижает выбросы пыли и других вредных веществ, создавая комфортные условия труда для рабочих. Экономичные технологии и механизмы используются для повышения эффективности работы и снижения затрат на топливо, поддерживая оптимальные режимы работы оборудования.

Работы по добыче угля проводятся с соблюдением всех требований безопасности и техники безопасности, чтобы минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций и несчастных случаев. Работники проходят

обязательное обучение по охране труда и учатся правильно использовать индивидуальные средства защиты.

Вся техника регулярно проходит техническое обслуживание и проверку для обеспечения высокой производительности, и качества работ. Это позволяет оперативно выявлять и устранять неисправности, гарантируя безопасное проведение добычи угля.



Рисунок 1 – Фотографии угольного забоя



Рисунок 2 – Технические схемы к определению потерь угля

При угле падения пласта до 64° предлагается использовать метод послышной отработки в три слоя (рисунок 2). Этот подход включает два этапа:

Первый проход: вскрытие и зачистка кровли пласта на высоту 5 метров.

Второй проход: отработка угля на той же высоте с погрузкой в автосамосвалы на уровне стояния экскаватора.

Такой метод обеспечивает высокую эффективность использования механизации и оборудования, что позволяет повысить производительность и снизить затраты на добычу. Безопасность труда также повышается благодаря минимизации риска аварий и несчастных случаев.

Если угол падения пласта превышает 65° , рекомендуется использовать метод верхнего черпания с уступом в один слой. В этом случае сначала производится вскрытие и очистка верхней кровли пласта на высоту 10 метров, после чего уголь отрабатывается верхним черпанием с погрузкой в автосамосвалы на уровне стояния экскаватора.

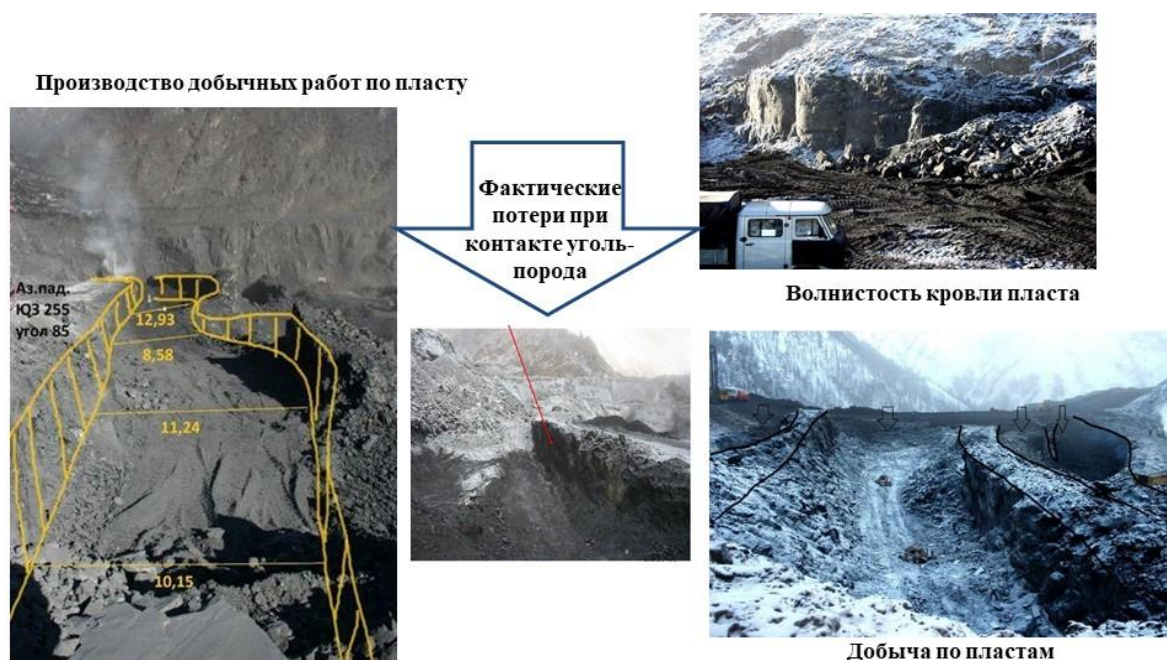


Рисунок 3 – Схемы к определению фактических потерь угля

Полученные результаты (рисунок 3) подтверждают эффективность применения данного комплекса горного оборудования на предприятии, что может способствовать увеличению прибыли и конкурентоспособности компании на рынке. Методика расчета ресурсопотребления позволяет оценить экономическую целесообразность использования различных технологий при добыче угля и принимать обоснованные решения по выбору оптимальных вариантов.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать вывод о необходимости постоянного мониторинга и анализа эффективности технологий угледобычи с целью оптимизации процессов и снижения затрат на добычу угля, что является актуальной задачей в условиях современной рыночной экономики.

Библиографический список

1. Шадов Владимир Михайлович Методология формирования технологии открытой разработке сложноструктурных угольных месторождений... // ГИАБ. 2000. №4.

2. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: Производственные процессы: Учебник / В.В. Ржевский. - М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 512 с.

УДК 528.8

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА (ЦМР) УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА ПО ИМЕЮЩЕЙСЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПЛАНА

Дудник С.А., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматривается вопрос создания точной и надёжной цифровой модели рельефа (ЦМР) угольного разреза. Описываются преимущества и возможности топографической аэрофотосъёмки с использованием квадрокоптера, а также этапы создания ЦМР.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, угольный разрез, топографическая аэрофотосъёмка, квадрокоптер, 3D-моделирование, инженерные проекты, геологические исследования.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – это трёхмерное представление земной поверхности, которое используется для анализа и моделирования различных геоморфологических процессов и явлений. Создание ЦМР угольного разреза позволяет проводить детальный анализ и прогнозирование изменений в рельефе, оценивать объёмы горных работ и планировать мероприятия по обеспечению безопасности и устойчивости горных выработок (рисунок 1).



Рисунок 1 - Топографическая аэрофотосъёмка с квадрокоптера

В современном мире топографическая аэрофотосъёмка с использованием квадрокоптера становится всё более популярной и востребованной. Этот метод имеет ряд преимуществ перед традиционными способами съёмки, такими как использование самолётов и вертолётов. В этой статье мы рассмотрим основные преимущества и возможности топографической аэрофотосъёмки с квадрокоптера.

Преимущества топографической аэрофотосъёмки с квадрокоптера:

Экономичность. Использование квадрокоптера для аэрофотосъёмки является экономически выгодным решением, так как стоимость аренды и обслуживания квадрокоптера значительно ниже, чем стоимость аренды самолёта или вертолёта.

Быстрота выполнения работ. Квадрокоптер способен быстро перемещаться в воздухе, что позволяет выполнять съёмку больших территорий за короткое время.

Высокая детализация изображений. Современные квадрокоптеры оснащены камерами высокого разрешения, которые позволяют получать качественные снимки с высокой детализацией.

Гибкость использования. Квадрокоптеры могут быть использованы для съёмки в труднодоступных местах, где использование других видов техники невозможно.

Возможности топографической аэрофотосъёмки с квадрокоптера

Топографическая аэрофотосъёмка с квадрокоптера может быть использована для различных целей, таких как:

Создание 3D моделей местности. С помощью квадрокоптера можно создать трёхмерную модель местности, которая будет полезна для различных инженерных и строительных проектов.

Ортофотопланы. Квадрокоптер позволяет получать ортофотопланы высокого качества, которые могут быть использованы для создания карт и планов местности.

Мониторинг сельскохозяйственных угодий и лесных массивов. С помощью аэрофотосъёмки с квадрокоптера можно контролировать состояние растительности и почвы, а также выявлять нарушения целевого использования земель.

Градостроительная деятельность. Квадрокоптер может быть использован для контроля строительства зданий и сооружений, а также для мониторинга состояния инфраструктуры.

Реки, водоёмы и гидротехнические сооружения. Аэрофотосъёмка с квадрокоптера позволяет контролировать состояние рек, водоёмов и гидротехнических сооружений, а также прогнозировать возможные наводнения и ледовые заторы.

Для создания цифровой модели рельефа (ЦМР) угольного разреза необходимо выполнить следующие этапы:

Сбор и обработка исходных данных. На этом этапе собираются данные о высотах, координатах и других характеристиках точек поверхности разре-

за. Источниками данных могут быть результаты аэрофотосъёмки, наземных измерений и других методов.

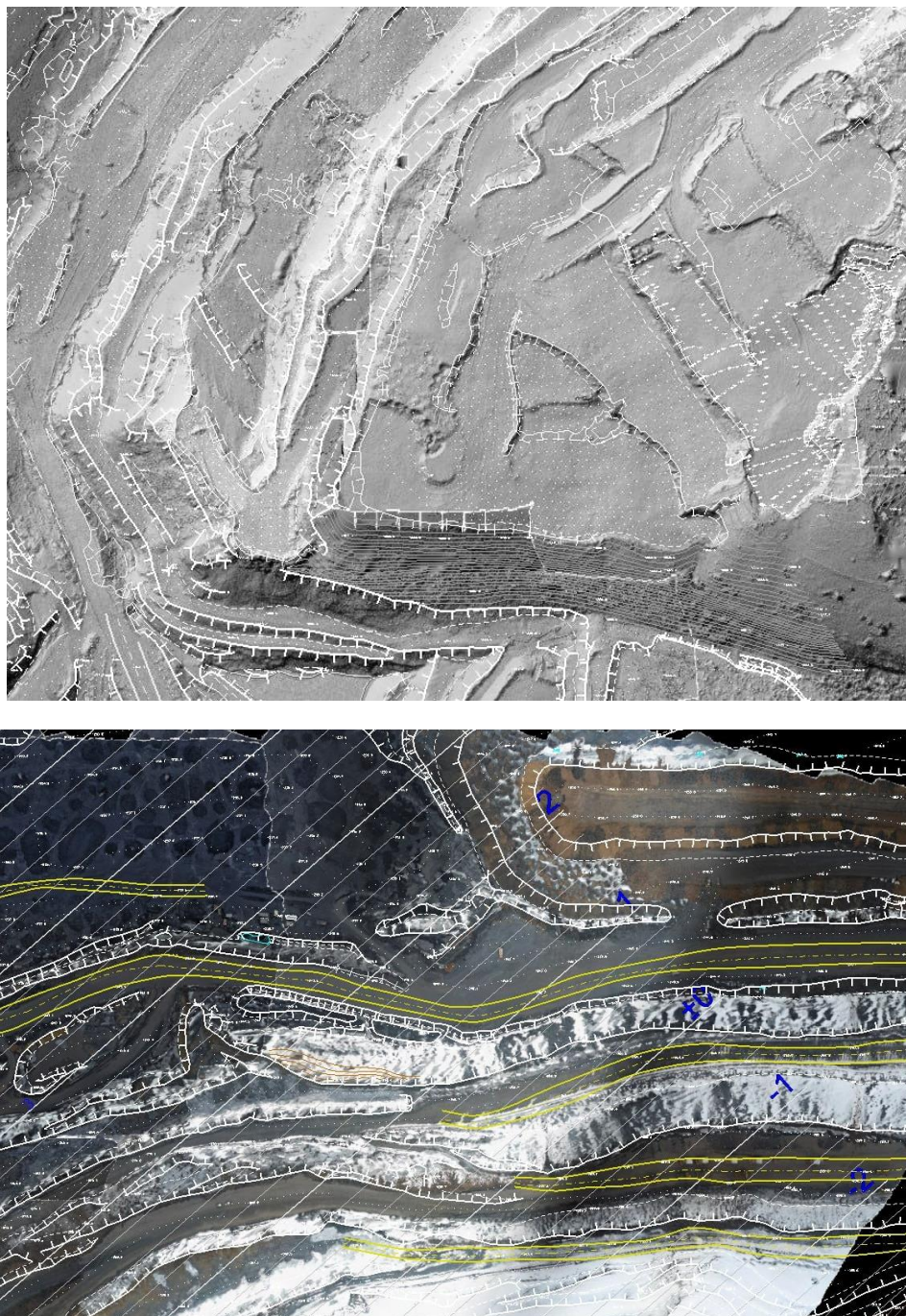


Рисунок 2 – Примеры обработанной аэрофотосъёмки с квадрокоптера

Создание цифровой модели местности (ЦММ). На этом этапе происходит преобразование собранных данных в цифровую форму, например, в формате ГИС.

Создание цифровой модели рельефа (ЦМР). На этом этапе выполняется интерполяция и экстраполяция данных для получения трёхмерного представления рельефа.

Визуализация и анализ результатов. На этом этапе проводится визуа-

лизация полученной ЦМР, анализ её структуры и свойств, а также сравнение с другими моделями и данными.

Применение ЦМР. Созданная ЦМР может быть использована для решения различных задач, связанных с разработкой угольного разреза, таких как подготовка топографических карт и планов, определение объёмов открытых горных выработок, визуализация проектных решений и мониторинг территории.

Созданная цифровая модель рельефа (ЦМР) может быть использована для решения различных задач, связанных с разработкой угольного разреза:

Подготовка топографических карт и планов. ЦМР позволяет создавать точные и подробные карты и планы территории разреза, включая информацию о высотах, уклонах и других характеристиках рельефа. Это облегчает планирование горных работ, прокладку транспортных путей и коммуникаций.

Определение объёмов открытых горных выработок. С помощью ЦМР можно рассчитать объём извлечённой породы и полезных ископаемых, что важно для оценки экономической эффективности разработки месторождения и планирования дальнейших работ.

Визуализация проектных решений. ЦМР служит основой для создания трёхмерных моделей проектируемых объектов, таких как карьеры, отвалы и другие сооружения. Это позволяет наглядно представить проектные решения и оценить их влияние на окружающую территорию.

Мониторинг территории и отслеживание изменений в рельефе. Регулярный мониторинг территории с использованием ЦМР позволяет отслеживать динамику изменений рельефа, вызванных горными работами, оползнями, эрозией и другими факторами. Это помогает своевременно принимать меры по предотвращению негативных последствий и обеспечению безопасности работ.

Создание цифровой модели рельефа угольного разреза на основе имеющейся цифровой модели маркшейдерского плана является важным этапом в процессе разработки месторождения. Это позволяет проводить детальный анализ и прогнозирование изменений в рельефе, оценивать объёмы горных работ и планировать мероприятия по обеспечению безопасности и устойчивости горных выработок.

В заключение, топографическая аэрофотосъёмка с квадрокоптера является современным и эффективным методом, который имеет множество преимуществ и возможностей. Этот метод позволяет быстро и экономично получать высококачественные изображения, которые могут быть использованы для различных целей, таких как создание карт, контроль строительства и мониторинг окружающей среды.

Библиографический список

1. Тайлаков, О. В. Построение цифровой модели рельефа открытого угольного склада по данным аэрофотосъёмки / О. В. Тайлаков, Д. С. Корвин. - (Маркшейдерское дело и геодезия). - Текст : непосредственный // Из-

вестия вузов. Горный журнал. - 2017. - № 8. - С. 58-64. - Библиогр.: с. 64 (12 назв.). - ISSN 0536-1028.

2. Прохоров Дмитрий Олегович Создание цифровой модели породного отвала угольной шахты на основе съемки беспилотным летательным аппаратом // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. №1.

УДК 622.271

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ОСНОВАНИЯ ОТВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Сунегин Д.Н., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматривается проблема обеспечения устойчивости отвалов на карьерах, актуальная для горнодобывающей промышленности. Анализируются основные причины оползней и обвалов, выявляются факторы, влияющие на устойчивость отвалов, и предлагаются методы их улучшения.

Ключевые слова: мониторинг, устойчивость отвалов.

Строительство угледобывающего предприятия ООО «Ресурс» и освоение запасов участка недр Кыргайский Средний началось в 2014 году. В кратчайшие сроки были вскрыты запасы и начата их добыча.

Вскрышные породы разрабатываются по транспортной системе с использованием автомобильного транспорта и размещаются на Западном, Восточном и Внутреннем отвалах. С 2022 года вскрышные породы будут укладываться поверх отвалов действующего разреза «Кыргайский» (ООО «Разрез им. Черемнова»). Отсыпка Внутреннего отвала начнётся в 2024 году.

Местоположение Западного отвала определяется с учётом рельефа поверхности, схемы вскрытия поля участка, водоохранной зоны реки Кыргай, расположения транспортных коммуникаций и близости действующих угледобывающих предприятий. Многоярусный Западный отвал планируется разместить вдоль западной границы участка открытых работ.

Территория, предназначенная под Западный автоотвал, расположена на водоразделе рек Кыргай и Талда и представляет собой пологоувалистую глубокорасчленённую равнину с чередованием логов и увалов, ориентированных преимущественно с запада на восток. Врезанность логов составляет от 30 до 60 метров. Поверхность склонов увалов неровная, с мезоповышениями и небольшими ложками различной формы. Тальвеги логов заболочены. Абсолютные отметки рельефа основания Западного отвала колеблются от 250 метров в долине реки Кыргай до 332,1 метра в северо-западной части.

Западный отвал можно условно разделить на две части: Южная часть – первоочередная отсыпка. Северная часть – включает в себя две зоны:

Северо-западная – прирезка дополнительных площадей к Западному

отвалу.

Северо-восточная – досыпка внешнего отвала действующего разреза «Кыргайский» до горизонта +380 метров. Согласно календарному плану ведения отвальных работ, досыпка внешнего отвала разреза «Кыргайский» будет производиться с 2024 года в объёме 24,0 миллионов кубических метров вскрышных пород.

Восточный отвал вскрышных пород планируется разместить вдоль восточной границы участка открытых работ, между 4-й рабочей линией и Северо-Талдинской рабочей линией. Внутренним отвалом вскрышных пород станет остаточная карьерная выработка между Промежуточной 2-й рабочей линией и Северо-Талдинской рабочей линией. Характеристика отвалов приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика отвалов

Наименование отвала	Параметры отвалов		
	Высота, м	Вместимость геометрическая, тыс.м ³	Вместимость в перерасчете на «целик», тыс.м ³
Западный отвал: - южная часть, гор.+276м - +380;	100-120	36 383	31 638
- северо-восточная часть, гор.+320 мгор.+380 м (досыпка внешнего отвала действующего разреза«Кыргайский» (ООО «Разрез им. Черемнова»)	80	27 600	24 000
северо-западная часть (гор.+290 м -+380 м)	100	54 004	46 960
Восточный отвал (гор.+300 м -+360 м)	90	11 500	10 000
Внутренний отвал (гор.+60 м - гор.+270 м)	240	17 250	15 000
Всего		146 737	127 598

Устойчивость внешних отвалов, размещённых на борту открытой выработки (система борт-отвал), определяется несколькими факторами: стабильностью верхнего элемента борта, сформированного в наносах, параметрами нижнего уровня отвала и общим углом наклона системы.

Для обеспечения устойчивости системы «борт-отвал» необходимо размещать отвал за пределами призмы обрушения верхнего элемента борта открытой горной выработки (берма безопасности). Это гарантирует безопасность при нагрузке отвала вскрышными породами.

Рисунок 1 демонстрирует схему определения минимального расстояния между верхней бровкой элемента борта в четвертичных отложениях и нижней бровкой отвального яруса (для Восточного отвала).

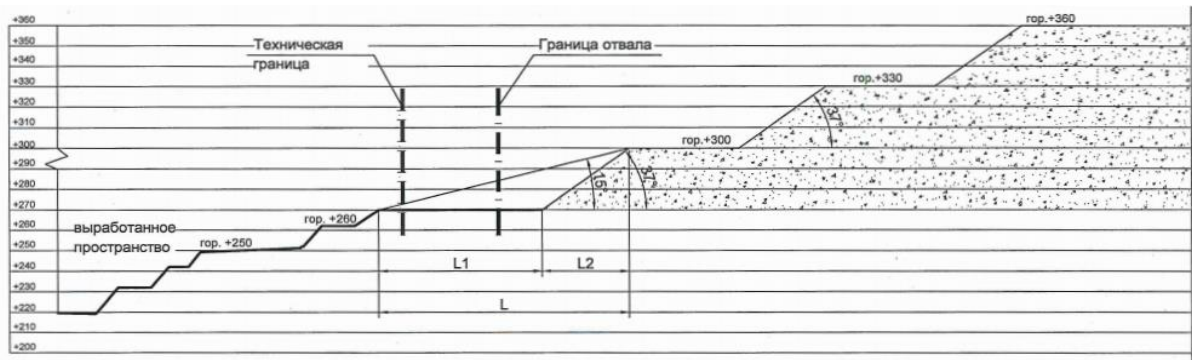


Рисунок 1 – Схема для определения минимально допустимого расстояния между верхней бровкой элемента борта в четвертичных отложениях и нижней бровкой отвального яруса

Для обеспечения стабильности внешнего отвала Восточный необходимо провести инженерную подготовку его основания, которая включает следующие мероприятия: Удаление слабых четвертичных слоёв и заполнение скальными породами. Создание упорных и дренажных канав по тальвегам логов.

Упорная и дренажная канава формируется путём удаления четвертичных слоёв с углублением в коренные породы минимум на 1 метр, с шириной основания не менее 5 метров и отсыпкой из неразмокаемых коренных пород, как показано на рисунке 2.

Центральная упорная и дренажная канава по тальвегу лога заполняется крупноблочными неразмокаемыми породами. Ширина центральных канав составляет от 5 до 12 метров, боковых – от 3 до 5 метров, глубина канав – от 3 до 5 метров или до коренных пород с углублением до 1 метра. Выполнение дренажных канав возможно с использованием бестранспортной технологии.

сечение 3-3

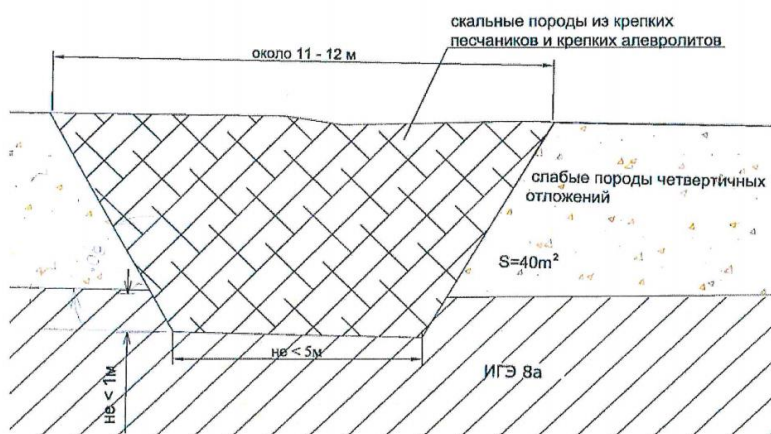


Рисунок 2 – Схема устройства упорно-дренирующих канав

Горно-геологические особенности залегания угольных пластов на участке Кыргайский Средний характеризуются крутыми породами с накло-

ном 60–70 градусов. Углы падения почвы пластов 78 и 73–71 колеблются от 63 до 65 градусов.

Внутренний отвал расположен в южной части участка (между Промежуточной 2-й и Северо-Талдинской рабочими линиями) и образовался в результате отработки угольных пластов 78 и 73–71 с горизонта +90 до +270 метров. Наклон основания внутреннего отвала при согласованном падении с отработанными пластами составляет от 3 до 14 градусов, а его основание состоит из коренных пород.

При создании внутреннего отвала в отработанном пространстве, развитие отвальных работ должно происходить перпендикулярно простиранию пластов, и ярусы внутреннего отвала должны заполняться только коренными породами.

Формирование как внешних, так и внутренних отвалов будет происходить в основном послойно. Устойчивая высота яруса внутреннего отвала составляет 30 метров при устойчивом рабочем угле откоса отвального яруса 37 градусов, а результирующий угол многоярусного отвала равен 23 градусам.

Формирование внешних отвалов в условиях сложного рельефа местности приводит к значительным изменениям высоты и углов наклона основания. Диапазон углов наклона составляет от 4 до 14 градусов, что создаёт дополнительные риски при отсыпке отвалов по тальвегам логов с увлажнёнными четвертичными отложениями.

Суглинки на склонах логов обладают более высокой прочностью по сравнению с глинами из-за лучшей инфильтрационной способности и меньшей влажности. Поэтому важно контролировать влажность пород в приоткосных зонах для обеспечения устойчивости отвалов и безопасности работ.

Геолого-маркшейдерская служба должна проводить систематический контроль устойчивости отвалов и деформаций пород на склонах логов. Формирование отвалов рекомендуется производить ярусами с учётом расположения более прочных пород в нижних слоях для обеспечения устойчивости высоких отвалов.

Для снижения влияния климатических условий на устойчивость отвалов следует убирать снег с их основания. Если механизированная уборка невозможна, отвалообразование следует проводить в летний, осенний, зимний и весенний периоды на отдельных участках.

Технологические меры для равномерного распределения разных литологических типов пород в теле отвала и селективного отвалообразования на разных участках и ярусах позволяют значительно снизить влияние технологических факторов на устойчивость отвалов.

Во время эксплуатации месторождения маркшейдерская служба должна уточнять параметры устойчивости отвалов. Для повышения устойчивости отвалов следует предпринимать специальные меры: постоянно снижать влажность вскрышных пород, прилегающих к откосам уступов, исключая попадание дождевых и талых вод, и отводить их к водосборникам; предот-

вращать скопление дождевых и талых вод на поверхности отвалов и участках дневной поверхности, где они будут размещены, планируя эти участки и обеспечивая их беспрепятственный сток к водосборникам; не допускать засыпания отвальными породами снежных сугробов на основании и откосах отвала; по возможности проводить селективное размещение пород в отвалах с учётом их прочности; изменять технологию отвалообразования (разгрузка верхней части откоса, пригрузка нижней, изменение направления фронта отвалообразования и т. д.).

Коэффициент запаса устойчивости должен быть больше 1,2, так как при меньшем значении возможно развитие оползневых процессов.

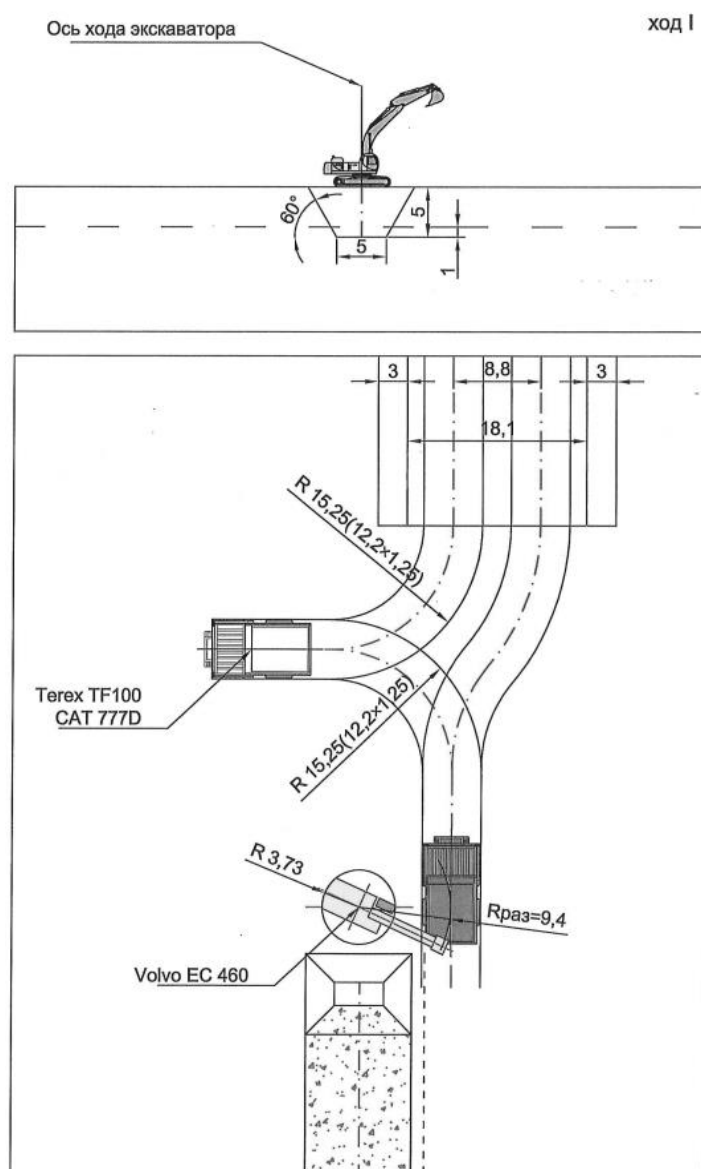


Рисунок 3 – Технологическая схема строительства дренажной канавы гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» Volvo EC460 с погрузкой в автотранспорт на уровне стояния экскаватора (выемка выемка четвертичных отложений и погрузка в автосамосвал)

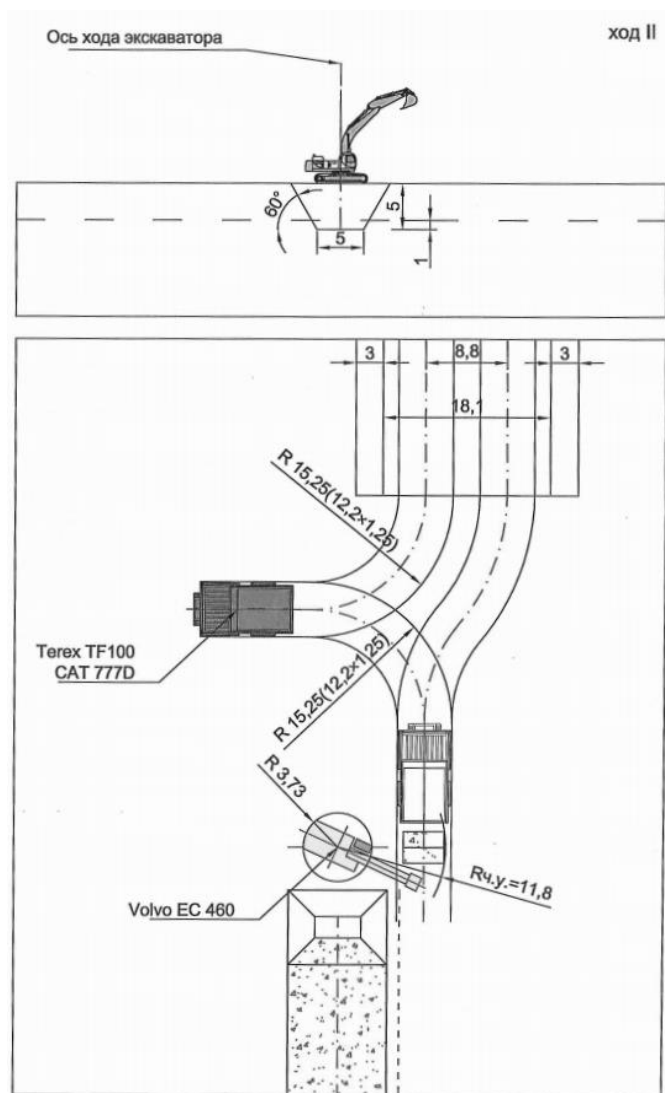


Рисунок 4 – Технологическая схема строительства дренажной канавы гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» Volvo EC460 с погрузкой в автотранспорт на уровне стояния экскаватора (засыпка дренажной канавы коренными неразмокаемыми породами)

Для обеспечения безопасности работ отвальный фронт разделён на три отдельных участка длиной не менее 50 метров каждый. На каждом участке поочерёдно производится отсыпка породы самосвалами и планировочные работы. Отвалообразование на каждом участке занимает 2–3 дня, а перерыв для осадки пород составляет 4–6 дней. Такой подход предотвращает внезапное разрушение отвальных ярусов.

Минимальная ширина берм между группами ярусов отвала зависит от высоты яруса, устойчивости отвала и условий рекультивации. Внешние отвалы отсыпаются только коренными породами.

Границы внешних отвалов (расстояние от нижней бровки отвального яруса) учитывают выполаживание откосов отвалов до угла 18° по условиям рекультивации. У подошвы отвала предусмотрена полоса шириной: $L = 18$ м (при высоте отсыпки нижнего яруса отвала $h = 20$ м); $L = 27$ м (при высоте

отсыпки нижнего яруса $h = 30$ м).

Мероприятия по организации поверхностного стока с территории внешних отвалов включают инженерную подготовку их основания. Вдоль тальвегов логов формируются упорно-дренирующие канавы путём удаления слабого слоя четвертичных отложений и углубления в коренные породы не менее чем на 1 метр. Ширина канавы в основании составляет не менее 5 метров, а затем дренажные канавы заполняются коренными неразмокаемыми породами, обеспечивая сток воды из тела отвала. Кроме того, при размещении отвалов на косогорах геолого-маркшейдерская служба предприятия организует инструментальные наблюдения за деформациями всей площади отвала. Частота наблюдений, количество профильных линий и их длина, расположение, тип грунтовых реперов и расстояние между ними на профильных линиях определяются проектом наблюдательной станции.

Противооползневые меры для отвалов включают осушение рыхлых пород и их оснований для снижения влажности и повышения сопротивления сдвигу пород. Дренаживание отвалов должно быть обосновано технико-экономическим расчётом.

Для дренажа основания отвалов можно использовать дренажные подушки, продольные и поперечные канавы или вертикальные скважины с фильтрующим материалом. При отсыпке на слабое основание рекомендуется пригрузка опережающим отвалом.

Наблюдения за деформациями и скоростью перемещения нижней бровки отвала важны для обеспечения безопасности. При размещении отвалов на косогорах проводятся инструментальные наблюдения за деформациями.

Для исключения опасных деформаций при нагрузке от автосамосвалов необходимо строгое выполнение отсыпки ориентирующего вала. Западный автоотвал будет безопасным при соблюдении условий размещения заднего моста и предохранительного вала.

Библиографический список

1. Ческидов В.В. Комплексное зондирование намывных отложений гидроотвала № 3 разреза «Кедровский» // Горная промышленность. – 2011. – № 6(100). – С. 70–76.
2. Ческидов В.В. Проектирование сетей инженерно-геологического опробования на техногенных массивах горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 12. – С. 367–371.
3. Гальперин А.М., Ческидов В.В., Бородина Ю.В., Демидов А.В. Прогноз и контроль нестационарных геомеханических процессов в горнотехнической и строительной практике // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2014. – №6. – С. 553–559.
4. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Изд. МГГУ, 2003.

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗРЕЗАМИ МАЛОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ С ЗЕМЛЕСБЕРЕГАЮЩИМ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕМ

Третьякова Я.А., Матвеев А.В. Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматривается обоснование технологии разработки угольных месторождений разрезами малой производственной мощности с использованием землесберегающего отвалообразования для повышения эффективности открытой угледобычи. Этот подход особенно актуален в свете планов развития угольной промышленности России до 2030 года, когда планируется увеличить добычу угля до 530 млн тонн.

Ключевые слова: угольные месторождения, разрезы малой мощности, землесберегающее отвалообразование, открытая угледобыча, эффективность.

В рамках программы развития угольной промышленности Российской Федерации до 2030 года планируется увеличение добычи угля до 530 млн. тонн при сохранении структуры основных добывающих регионов. Основной рост добычи угля предполагается достичь за счет угольных месторождений, расположенных в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах.

В настоящее время открытую разработку угольных месторождений в России осуществляют 119 разрезов, входящих в состав крупных угольных компаний, а также 80 самостоятельных акционерных обществ, что составляет 75 % от общего числа. Годовая добыча угля открытым способом в 2018 году достигла 331 млн. тонн, что составляет 75,3 % от общего объема добычи в России.

В последние двадцать лет в угледобывающей отрасли России наблюдается увеличение доли участия малых угольных разрезов, составляющих до 30 %, у которых производственная мощность не превышает 2 млн. тонн в год. Это объясняется горно-геологическими особенностями. У малых угольных разрезов имеется значительный потенциал, поскольку они характеризуются свитовым залеганием пластов наклонного и крутого падения малой и средней мощности, которые могут полностью удовлетворить потребности в угле. Рост доли малых угольных разрезов в общей добыче объясняется тем, что не все предприятия имеют достаточные ресурсы для освоения крупных месторождений.

Малые угольные разрезы отличаются небольшими размерами карьерных полей (глубиной от 50 до 100 м), минимальным сроком ввода в эксплуатацию, низкими капитальными затратами, высокой производительностью труда и небольшим коэффициентом вскрыши. Они используют менее энер-

гоемкое горное оборудование, которое отличается мобильностью, маневренностью и универсальностью. Однако, подобный подход приводит к значительному изъятию земель из оборота. Для снижения данной негативной тенденции предлагаются технологические решения по складированию вскрышных пород в карьерных выемках, оставшихся после добычи. Это позволит восстановить нарушенные земельные ресурсы, снизить их изъятие из оборота и повысить эффективность открытой угледобычи.

Одним из наиболее перспективных технологических решений, направленных на сбережение ресурсов открытой угледобычи при групповом расположении угольных разрезов, является производство работ с отвалообразованием вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка. Минимизация площадей, занимаемых открытыми горными работами, осуществляется за счет использования выработанного пространства в качестве отвалов для вскрышных пород, что помогает сохранить землесберегающую функцию.

Зависимости объёмов коренных пород в безугольной зоне от глубины карьерного поля и угла наклона рельефа земной поверхности представлены на рисунке 1.

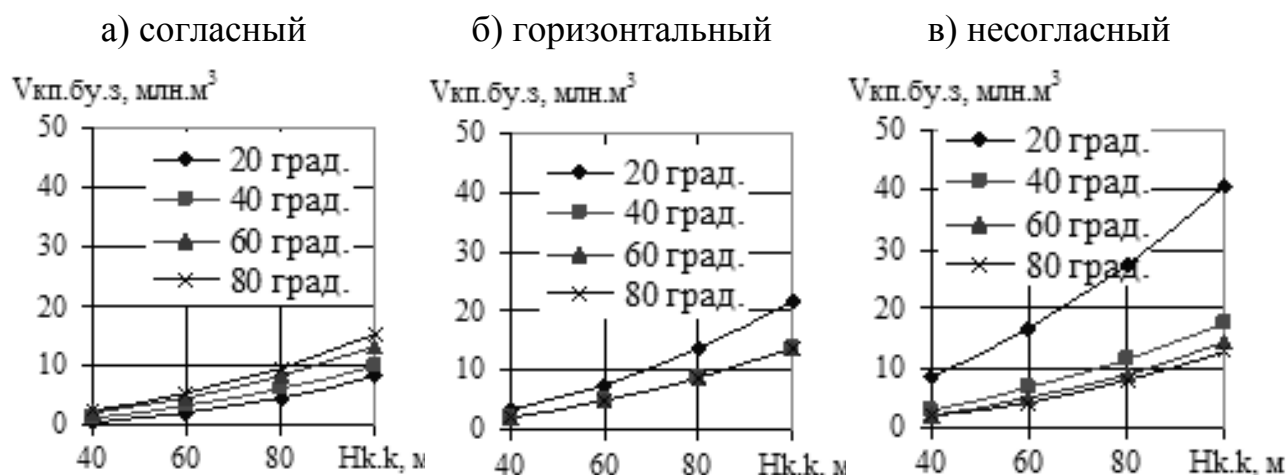


Рисунок 1 - Зависимость объёмов коренных пород в безугольной зоне от глубины карьерного поля и угла наклона земной поверхности при наклонном и крутом падении пластов (20-80 град.)

Так, на пример, при наклоне рельефа земной поверхности объем коренных пород в безугольной зоне объем вскрышных работ уменьшается на 62 %.

Зависимость промышленных запасов угля и производственной мощности угольного разреза определяется от угла падения свиты пластов и их мощности от граничного коэффициента вскрыши, что представлено на рисунке 2.

Отвалы занимают значительные площади земель, и это негативно влияет на окружающую среду. Поэтому снижение землеёмкости при открытой разработке угольных месторождений является одной из важнейших задач.

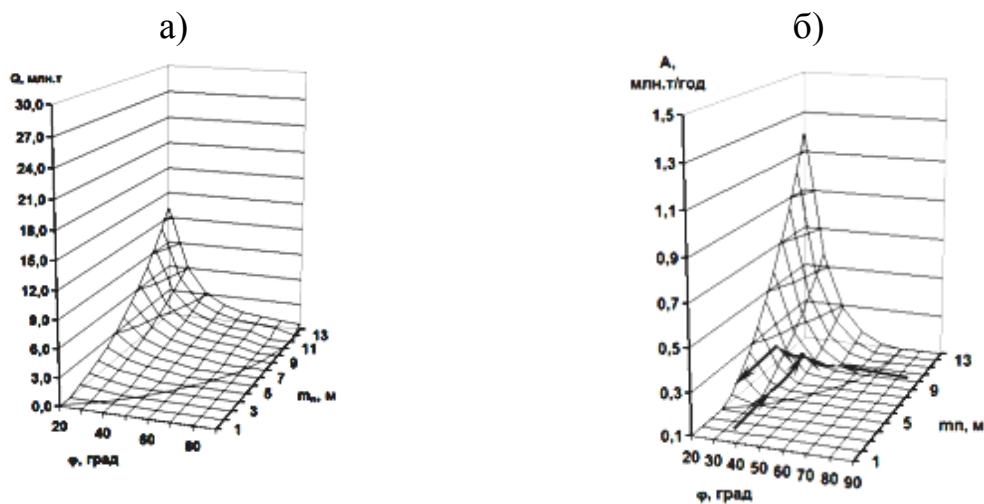


Рисунок 2 - Зависимость: а – промышленных запасов угля; б – производственной мощности угольного разреза (А) от угла падения свиты угольных пластов и мощности свиты угольных пластов

Одним из направлений решения этой задачи является размещение вскрышных пород во внутренних отвалах и в карьерных выемках смежных участков. Различные варианты землесберегающих схем размещения вскрышных пород представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 - Землесберегающие схемы размещения вскрышных пород при разработке угольных месторождений

Использование землесберегающей технологии отвалообразования с размещением вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка (на пример прежнего пользователя недр или отработанного ранее участка) позволит снизить землеемкость открытой угледобычи и восстановить нарушенную земельные ресурсы.

Как следует из анализа, при глубине карьерного поля до 50 метров

рентабельность снижается до 5 %, а с увеличением глубины карьера до 100 м рентабельность возрастает до 46 %.

Технология землесберегающего отвалообразования является эффективной при групповом или периферийном расположении карьерных полей. При этом вскрышные породы последовательно размещаются в карьерной выемке смежного участка с помощью драглайна на полную глубину (до 70 м) путем создания продольных и поперечных отвальных заходок, учитывая объем складированных пород и размеры выемки. Эта технология позволяет уменьшить дальность транспортировки породы на отвале в карьерной выемке на 1,1-1,8 раза по сравнению с внешним отвалом, а также снизить общие затраты на отвалообразование на 9-44 % и восстановить нарушенные земельные ресурсы, используя метод открытых горных работ.

Библиографический список

1. Курехин, Е.В. Обоснование технологии отвалообразования вскрышных пород драглайном в карьерной выемке смежного участка // Открытые горные работы в XXI веке – 1 (материалы по II международной научно-практической конференции): Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining Informational and analytical Bulletin scientific and technical journal . – 2015. – № 10 (специальный выпуск №45-1). – с. 519-535.

2. Курехин, Е.В. Технологические схемы отвалообразования вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск. – 2017. № 5 с. 67-82.

УДК 622.33 (571.56)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОНКИХ ПОРОДНЫХ ПРОСЛОЕВ НА ЗОЛЬНОСТЬ УГЛЯ ЭЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Кетов Д.В., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматривается проблема повышения эффективности производства в угольной промышленности в условиях конкурентного рынка и ухудшения сырьевой базы. Особое внимание уделяется Эльгинскому месторождению в Южно-Якутском угольном бассейне. Авторы предлагают улучшить качество угля, используя современные технологии и аналитические методы.

Ключевые слова: уголь, зольность, Эльгинское месторождение, селективная отработка, качество, эффективность, технологии, анализ.

Селективная отработка Эльгинского месторождения требует определе-

ния разделительной точки между разными фракциями угля. Применяются технологические решения, такие как магнитные сепараторы, центрифуги и пневматические классификаторы, а также современные методы анализа для оптимизации процесса.

Повышение эффективности сбора и использования информации о характеристиках пластов и качестве угля позволяет точнее оценить запасы, определить оптимальные методы добычи и обработки угля. Использование цифровых моделей и горно-геологических информационных систем помогает изучать внутреннюю структуру месторождения и пространственное распределение качественных показателей.

Один из подходов предполагает разделение природной зольности угля на составляющие для анализа запасов, идентификацию, картирование и оценку зольности с учётом взаимовлияния и дополнительных показателей качества.

Для Эльгинского месторождения коксующихся углей необходимо модифицировать и апробировать методы работы со сложным месторождением, учитывая структуру пластов и их расщепление, а также изменения качества в разных направлениях.

Повышение эффективности сбора и использования информации об особенностях залегания пластов и качестве угля важно для получения новых знаний и оптимизации добычи и использования угля. Вулканогенез влияет на формирование качества угля, делая его менее спекающимся, с повышенной зольностью и сложным строением пластов.

Для снижения зольности необходимо улучшать ситуацию в различных аспектах, оценивая влияние геологических, технических, технологических, организационных, экономических и информационных факторов. Результаты показывают, что уровень зольности увеличивается на 1,7–2,8 % при присечке 10 см пород кровли и почвы.

Обнаружен потенциал снижения общей зольности на 3–12 % благодаря селективной обработке породных прослоёв по пластам. Цель исследования – изучение составляющей зольности, связанной с тонкими породными прослойками (А3), которые не учитываются при подсчёте запасов. Метод мГГК с геометрией однократного рассеяния (мГГК-Содн) эффективен для определения количества тонких прослоёв и их влияния на зольность угля.

Метод мГГК-Содн обладает высокой чувствительностью к характеристикам горных пород и позволяет определять зольность угля. Коллимирование пучков гамма-квантов повышает чувствительность метода при малых размерах зонда.

Для выявления корреляции между зольностью и геофизическими показателями используется аналитическая формула. Геолого-геофизические методы, включая мГГК-Содн, используются для определения зольности угля на Эльгинском месторождении.

Лабораторные анализы керна и комплекс геофизических методов позволяют достоверно определить зольность угля. Оценка влияния тонких по-

родных прослоев на общую зольность проводится на участке с четырьмя основными рабочими пластами.

Исследование показало, что количество неучтённых породных прослоёв составляет 1,5–3,4 % от общей зольности пласта А3. Вероятно, их вклад может быть ещё больше и сравним с пластом А2. Для визуализации данных созданы карты зольности общей А₀, составляющих А2, А3 и А2+А3. Они демонстрируют неравномерное распределение А3 по площади и различия в разрезе пласта. Например, в пласте Н16 верхняя пачка имеет меньшую зольность на 9,4 % по сравнению с нижней. Исследование подтверждает необходимость учёта составляющей А3 при управлении качеством угля. Во время доразведки месторождения или сложных пластов рекомендуется проводить картирование тонких прослоёв. Однако исследование не учитывает прослои, которые могут быть в пластах, но не определены методами опробования. Также не принимаются во внимание неоднозначности и спорные моменты анализа геологических и геофизических данных. В целом, исследование показывает предварительный вклад составляющей А3 в общую зольность пласта А3 и подчёркивает важность учёта прослоёв при управлении качеством угля.

Изучение участков с повышенным содержанием А2 и А3 может потребовать формирования отдельных потоков угля для обогащения с использованием скорректированных параметров в схемах дробления и обогащения. Это, в свою очередь, приведёт к изменениям в организации добычных работ с учётом управления качеством угля на стадиях доразведки, добычи, подготовки и обогащения.

Эльгинское месторождение, одно из крупнейших в России, с балансовыми запасами угля более 2 млрд тонн, строит горно-обоганительный комплекс. Месторождение характеризуется сложными горно-геологическими условиями, наличием 20 рабочих пластов и пачек разной мощности с пологим залеганием (2–5°). Основные запасы для открытой добычи находятся на пластах У5, У4, Н16 и Н15, содержащих от 1–2 до 10–12 породных и высокозольных прослоев. Угли преимущественно высокозольные, что затрудняет их использование без обогащения.

Учитывая сложную структуру и неоднородные свойства месторождения, необходимо разрабатывать гибкие схемы управления качеством угля. Постоянное улучшение этих схем должно основываться на накоплении знаний о запасах и изучении опыта управления на других предприятиях с аналогичными условиями углеобразования и освоения. Анализ эффективности существующих схем управления зольностью угля на разрезах Эльгинского и Нерюнгринского, а также на их обоганительных фабриках, показал следующие выводы: несмотря на схожие средние показатели качества угля, диапазон и конкретные значения колебаний проб, представляющих одинаковый объём внутри месторождения, могут отличаться. Данные опробования в соседних скважинах и разных горизонтах одной скважины часто несопоставимы, несмотря на отсутствие существенных геологических различий.

Существующая система оценки разубоживания угля учитывает только потери качества угля в процессе добычи, что не соответствует изменяющимся экономическим, горно-геологическим, технологическим и экологическим условиям. Традиционное преобразование угля из его запасов в готовую продукцию не учитывает разнообразие неорганических веществ в пластах (природное разубоживание) и их потенциального влияния на уровень зольности. Для повышения эффективности использования геологического потенциала месторождения предлагается новый подход, учитывающий технологическое разубоживание, возникающее в процессе горных работ, и составляющие природного разубоживания.

Существует несколько способов управления зольностью из-за технологического разубоживания, известных как Ad1. Они включают: включение высокозольной разубоженной массы в общий поток; создание отдельного потока угленосности для отвалов или сухого обогащения и сортировки; комбинирование этих вариантов в зависимости от специфики разрабатываемых пластов.

Для оценки Ad1 были проведены расчёты потерь, разубоживания и зольности угля для пяти вариантов разработки пластов У5, У4, Н16 и Н15. Варианты включали: селективную выемку с потерей угля на уровне 10 см в кровле и почве пластов и породных прослоев ≥ 20 см; валовую выемку с потерей угля на уровне 10 см в кровле и почве пластов и прослоев ≥ 1 м; валовую выемку с потерей угля на уровне 10 см в кровле и почве пластов; валовую выемку без потерь и разубоживания в кровле и почве пластов; валовую выемку с разубоживанием на уровне 10 см в кровле и почве пластов и прослоев ≥ 1 м.

При разубоживании угля слоями пород почвы и кровли в 10 см общая зольность добываемого угля увеличивается на 1,4–3,1%. Однако при срезании 10 см слоёв угля в кровле и почве пластов теряется до 1,3–3,6 млн тонн балансовых запасов угля. Если аналогичный вариант отработки контактных зон применяется на всём месторождении, зольность угля увеличивается на 1,7–2,8 %, что соответствует потере 6,3–15,0 млн тонн угля.

Составляющая зольности Ad2 связана с большим количеством породных и высокозольных прослоев различной мощности во всех пластах месторождения. Их определяют в ходе геологоразведочных работ на основе анализа кернов и геофизических данных. Нижняя граница прослоев находится на глубине 0,05 м, что соответствует техническим возможностям современного выемочного оборудования. Величина Ad2 оценивается как разница между общей зольностью в пластах и зольностью без учёта этих прослоев.

Анализ комплекса буровых и геофизических наблюдений показал, что прослой мощностью менее 0,05 м не учитываются при оценке запасов и общей зольности, и их влияние на процессы обогащения игнорируется при проектировании и разработке месторождения.

Для изучения составляющей Ad3 были проанализированы геофизические диаграммы исследования скважин, включая данные микро-гамма-

гамма-каротажа с использованием геометрии однократного рассеяния мГГК-Содн. Было подсчитано количество не учитываемых породных прослоев или линз мощностью 0,025–0,050 м, и зольность была принята за 100%. Оцененная величина зольности, связанная с Ad3, составляет от 1,5 до 3,4%.

Управление зольностью угля должно осуществляться в рамках единого технологического процесса, включающего эксплуатационную доразведку, планирование горных работ, добычу и предварительную подготовку угля к обогащению. Для повышения уровня знаний об объекте разработки и формирования рациональных планов развития горных работ предлагается использовать анализ строения пластов, контактов пород, зольности в граничных слоях и мощности прослоев. Основные меры по управлению зольностью можно применять на стадии добычных работ и углеподготовки (рисунок 1).

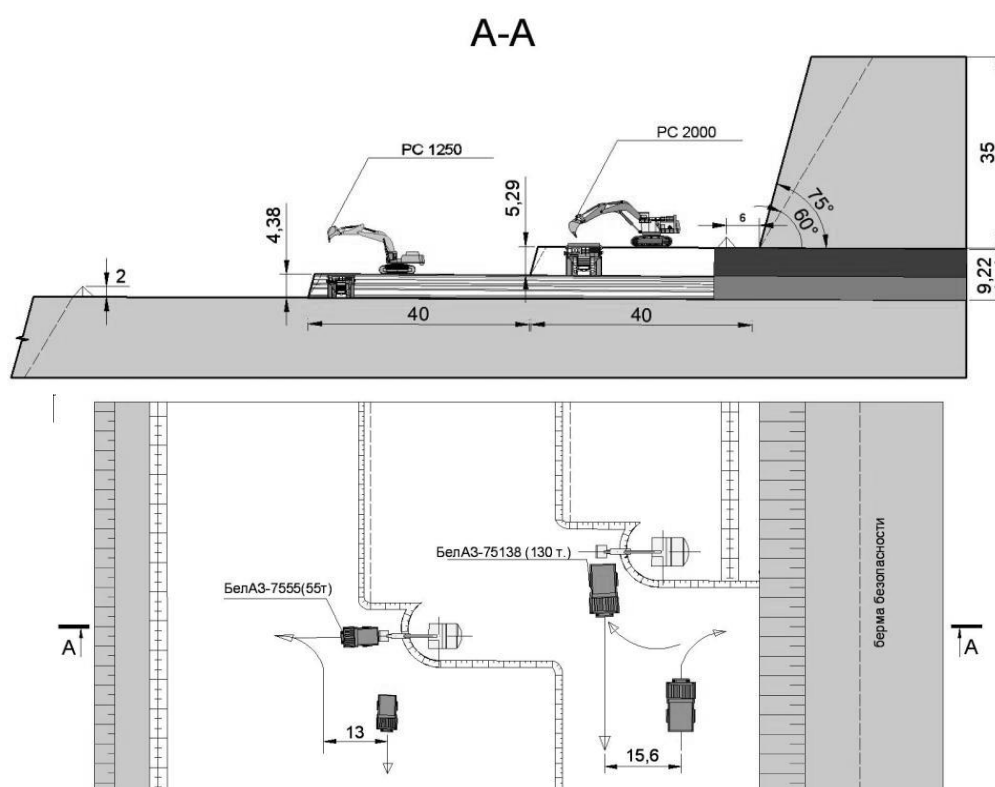


Рисунок 1 – Технологическая схема отработки пласта Н16 двумя подступами

Анализ технических характеристик оборудования показывает, что минимальная мощность селективного выброса породных прослоев составляет 0,05 м, но некоторые виды техники могут работать и при мощности слоя 0,2 м. Объективные предпосылки для организации простой или сложной селективной добычи связаны с различиями в содержании золы угольных пластов и прослоев разной мощности. Таким образом, управление зольностью возможно путём извлечения породных прослоев, но в некоторых случаях требуется дополнительная классификация угольных запасов для организации простой или сложной раздельной добычи и формирования самостоятельных или объединённых потоков.

Библиографический список

1. Хоютанов Евгений Александрович, Батугин Сергей Андриянович, Гаврилов Владимир Леонидович Резервы управления природными и технологическими составляющими зольности угля сложноструктурных месторождений // Вестник ЗабГУ. 2017. №8.
2. Мельник В.В., Агафонов В.В. Основные тенденции современного этапа развития угледобывающего комплекса России // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2013. – № 1. – С. 344–353.
3. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 10–14.

УДК 622.253

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБВОДНЕННОСТИ ВЗРЫВНЫХ БЛОКОВ

Юдина О.О., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматривается проблема контурного взрывания для снижения обводнённости взрывных блоков, связанная с увеличением объёма бурения. Определяются условия технико-экономической целесообразности этого метода с учётом соотношения затрат на буровые работы и взрывчатые материалы.

Ключевые слова: контурное взрывание, снижение обводнённости, буровые работы, взрывчатые материалы, экономическая эффективность.

Предварительное контурное взрывание – эффективный метод снижения обводнённости блока. Этот технологический процесс заключается в зарядании и взрывании зарядов в скважинах или шпурах, расположенных по контуру выработки. В результате получается относительно ровная поверхность с минимальным нарушением сплошности боковых пород за пределами проектного профиля.

Особенностью контурного взрывания на разрезах является сближенное расположение скважин и рассредоточение заряда из патронов ВВ. Существуют три типа контурного взрывания: опережающее короткозамедленное, предварительное и завершающее.

На практике наиболее распространено предварительное контурное взрывание, так как оно позволяет одновременно решать несколько задач: обеспечивать заоткоску следующего уступа, снижать уровень грунтовых вод и уменьшать сейсмический эффект при взрывании основной системы скважин.

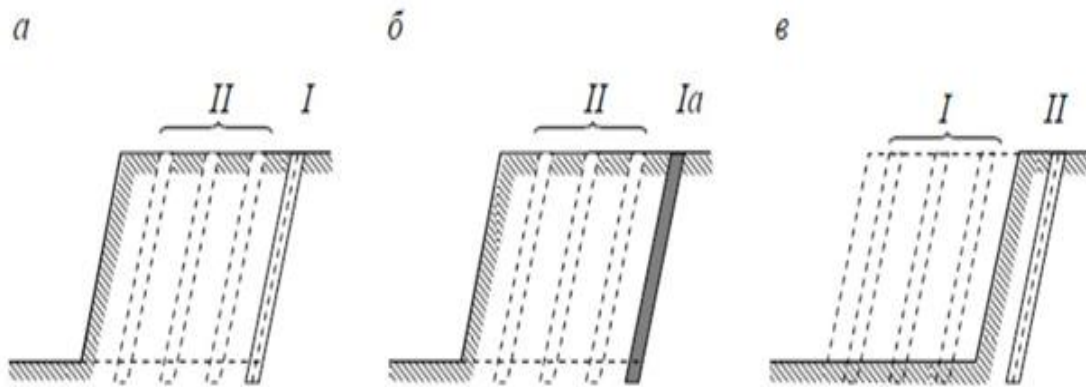


Рисунок 1 - Методы контурного взрывания: а – опережающее короткозамедленное контурное взрывание; б – предварительное контурное взрывание; в – завершающее контурное взрывание: I и II – последовательность взрывания; Ia – предварительно созданная контурная щель

Предварительное контурное взрывание обводненных вскрышных блоков при транспортных системах разработки, когда заоткоска уступа не является обязательной, конструкция заряда в контурных скважинах может не включать в себя гирлянду патронов–боевиков над донной частью заряда. В этом случае донных зарядов достаточно для создания локальной дренажной системы, существенно снижающей обводненность взрывного блока. Уровень грунтовых вод в пределах блока после контурного взрывания снижается не менее чем в 3 раза (рисунок 2).

Параметры контурного взрывания включают в себя диаметр скважин контурного ряда ($d_{\text{СКВ}}$, м), расстояние между скважинами контурного ряда ($a_{\text{к}}$, м), и массу донного заряда ($M_3^{\text{конт}}$, кг):

$$a_{\text{к}} = (20 - f) \cdot d_{\text{СКВ}} ; \quad (1)$$

$$M_3^{\text{конт}} = 1,1 \cdot \pi \cdot d_{\text{СКВ}}^3 \cdot \sqrt[3]{f \cdot \rho_{\text{ВВ}}} \quad (2)$$

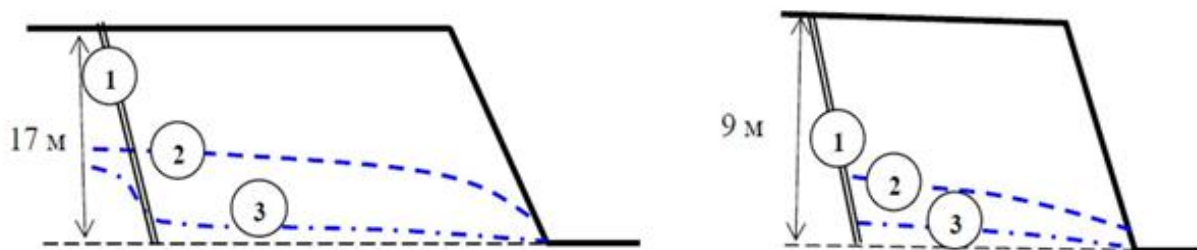


Рисунок 2 - Снижение уровня грунтовых вод после предварительного контурного взрывания: 1 – щель после контурного взрывания; 2 – исходный уровень воды; 3 – остаточный уровень.

Предварительное контурное взрывание имеет объективные ограничения по глубине скважин и уровню воды в них, которые следуют из того условия, что уровень грунтовых вод после контурного взрывания снижается

примерно в три раза, а зарядка более дешевого неводоустойчивого ВВ на столб воды возможна при его высоте после контурного взрывания не более 1,0 – 1,5 м. Поэтому способ нецелесообразно применять при начальном уровне грунтовых вод менее 4 м.

Природа предполагаемой экономической эффективности контурного взрывания для снижения обводненности взрывных блоков заключается в том, что экономия затрат на ВВ должна быть больше, чем дополнительные затраты на бурение и взрывание контурных скважин.

Пример. Планируемый к отработке обводненный вскрышной блок с высотой столба воды до $h_b = 4$ м имеет размеры: ширина блока $A = 40$ м, длина – $L_{\text{бл}} = 400$ м, высота – $h_y = 15$ м, объем $V_{\text{бл}} = 480\,000$ м³.

Проектный удельный расход $q = 0,75$ при крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова $f = 8$.

Возможны два технологических варианта организации буровзрывных работ, которые надо сравнить по затратам на подготовку данного блока к экскавации.

Вариант I – обуривание блока без каких-либо предварительных мероприятий, связанных со снижением обводненности и последующая зарядка обводненных скважин водоустойчивым ВВ Сибирит-1200 по цене $\Pi_1 = 15000$ руб/т.

Вариант II – предварительное контурное взрывание с целью снижения обводненности блока с последующим бурением основной системой взрывных скважин и зарядкой их неводоустойчивым взрывчатым веществом УП-1 по цене $\Pi_2 = 12000$ руб/т.

При использовании варианта I затраты на буровзрывную подготовку породы в пределах блока (коэффициент $\delta_{\text{бур}}$, учитывающий долю затрат на буровые работы, зависит от прочности буримой породы. В диапазоне прочности $\sigma_{\text{сж}} = 4 \div 12$ МПа значение данного коэффициента составляет $\delta_{\text{бур}} = 0,25 - 0,4$. При этом большей прочности породы соответствует большее значение $\delta_{\text{бур}}$) при $\delta_{\text{бур}} = 0,35$ составят:

$$C_{\text{бвр1}} = (1,15 + \delta_{\text{бур}}) \cdot (\Pi_1 \cdot q) / 1000 = 16,9 \text{ руб/м}^3, \quad (3)$$

или

$$C_{\text{бвр1}} = C_{\text{бвр1}} \cdot V_{\text{бл}} = 8\,100\,000 \text{ руб.}$$

При использовании варианта II затраты на буровзрывную подготовку ($C_{\text{бвр2}}$) будут включать затраты на контурное взрывание ($C_{\text{конт}}$) и затраты на взрывание основной системы скважин ($C_{\text{осн}}$).

Затраты на контурное взрывание включают в себя две составляющие – затраты на бурение контурных скважин ($C_{\text{конт}}^{(\text{бур})}$, руб.) и затраты на взрывчатые материалы ($C_{\text{конт}}^{(\text{вм})}$, руб.):

$$C_{\text{конт}} = C_{\text{конт}}^{(\text{бур})} + C_{\text{конт}}^{(\text{вм})} = n_{\text{конт}} \cdot (h_y \cdot C_{\text{бур}} + 1,15 \cdot M_3^{(\text{конт})} \Pi_1 / 1000) \quad (4)$$

где $n_{\text{конт}}$ – количество контурных скважин по внутреннему периметру взрывного блока, шт.; $M_3^{(\text{конт})}$ – масса донного заряда водоустойчивого ВВ в контурной скважине, кг.; Π_1 – цена водоустойчивого ВВ, руб./т.; 1,15 – коэффициент, учитывающий затраты на средства взрывания.

При плотности ВВ $\rho_{\text{ВВ}} = 1200 \text{ кг/м}^3$ расчетные параметры составят: $a_k = 2,6 \text{ м}$, $M_3^{(\text{конт})} = 83 \text{ кг}$.

Количество контурных скважин $n_{\text{конт}} = (A + L_{\text{бл}})/a_k = 323 \text{ шт.}$, удельные затраты на бурение (таблица 14) $c_{\text{бур}} = 126 \text{ руб/м}$, затраты на контурное взрывание $C_{\text{конт}} = 1\,078\,995 \text{ руб.}$

Таблица 1 - Удельные затраты на бурение ($c_{\text{бур}}$, руб/м)

Крепость породы, f	Диаметр бурения, м		
	0,190	0,216	0,240
4	72	89	107
8	104	127	152
12	174	211	252

Затраты на взрывание основной системы скважин ($C_{\text{осн}}$, руб.) рассчитываются так же, как и в первом варианте, но при цене взрывчатого вещества Π_2 :

$$C_{\text{осн}} = (1,15 + \delta_{\text{бур}}) \cdot (\Pi_2 \cdot q/1000) \cdot V_{\text{бл}} = 6\,480\,000 \text{ руб.} \quad (5)$$

Общие затраты на буровзрывную подготовку блока по варианту II составят:

$$C_{\text{бвр2}} = C_{\text{конт}} + C_{\text{осн}} = 7\,558\,995 \text{ руб.} \quad (6)$$

или

$$C_{\text{бвр}} = 15,7 \text{ руб/м}^3$$

Таким образом, при рассмотренных горнотехнических условиях использование предварительного контурного взрывания с целью снижения обводненности блока даст экономию затрат на подготовку горной массы к выемочно-погрузочным работам в размере:

$$\Delta = C_{\text{бвр1}} - C_{\text{бвр2}} = 541\,005 \text{ руб.}$$

Планируемый к отработке обводненный вскрышной блок с высотой столба воды до $h_b = 4 \text{ м}$ имеет размеры: ширина блока $A = 73 \text{ м}$, длина – $L_{\text{бл}} = 100 \text{ м}$, высота – $h_y = 13 \text{ м}$, объем $V_{\text{бл}} = 83\,000 \text{ м}^3$. Проектный удельный расход $q = 0,805$ при крепости пород по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова $f = 7$.

Применяемы взрывчатые вещества: НПГМ-100, Гранулит ПС.

Плотность: НПГМ-100 1050 кг/м^3 ; Гранулит ПС 950 кг/м^3

Вариант I – обуривание блока без каких-либо предварительных мероприятий, связанных со снижением обводненности, и последующая зарядка обводненных скважин водоустойчивым ВВ НПГМ-100 по цене $\Pi_1 = 15000 \text{ руб/т}$.

При использовании варианта I (таблица 15) затраты на буровзрывную подготовку породы в пределах блока (при прочности $\sigma_{сж} = 70$ МПа значение данного коэффициента составляет $\delta_{бур} = 0,3$.) при $\delta_{бур} = 0,3$ составят:

$$C_{бвр1} = (1,15 + \delta_{бур}) \cdot (\text{Ц}_1 \cdot q) / 1000 = (1,15 + 0,3) \cdot (15000 \cdot 0,805) / 1000 = 17,51 \text{ руб/м}^3$$

или

$$C_{бвр1} = C_{бвр1} \cdot V_{бл} = 17,51 \cdot 83\,000 = 1\,453\,330 \text{ руб}$$

Таблица 2 – Приближенный расчет себестоимости буровзрывных работ

$\sigma_{сж}$, МПа	$\delta_{бур}$ дол.ед.	$q_{ВВ}$, кг/м ³	$\text{Ц}_{ВВ}$ т.руб/т	$C_{БВР}$, руб/м ³
40	0,25	0,45	12500	7,9
80	0,32	0,70	12500	12,9
120	0,40	1,00	12500	19,4

Вариант II – предварительное контурное взрывание с целью снижения обводненности блока с последующим бурением основной системой взрывных скважин и зарядкой их неводоустойчивым взрывчатым веществом Гранулит ПС по цене $\text{Ц}_2 = 10000$ руб/т.

При использовании варианта II затраты на буровзрывную подготовку ($C_{бвр2}$) будут включать затраты на контурное взрывание ($C_{конт}$) и затраты на взрывание основной системы скважин ($C_{осн}$).

Затраты на контурное взрывание включают в себя две составляющие – затраты на бурение контурных скважин ($C_{конт}^{(бур)}$, руб.) и затраты на взрывчатые материалы ($C_{конт}^{(ВМ)}$, руб.):

$$C_{конт} = C_{конт}^{(бур)} + C_{конт}^{(ВМ)} = n_{конт} \cdot (h_y \cdot c_{бур} + 1,15 \cdot M_3^{(конт)} \cdot \text{Ц}_1 / 1000) = 62 \cdot (13 \cdot 117,5 + 1,15 \cdot 69,9 \cdot 15\,000 / 1000) = 169\,463,1 \text{ руб.}$$

где $n_{конт}$ – количество контурных скважин по внутреннему периметру взрывного блока, шт.;

$M_3^{(конт)}$ – масса донного заряда водоустойчивого ВВ в контурной скважине, кг.;

Ц_1 – цена водоустойчивого ВВ НПГМ-100, руб./т.;

1,15 – коэффициент, учитывающий затраты на средства взрывания.

Расстояние между скважинами контурного ряда (a_k , м):

$$a_k = (20 - f) \cdot d_{скв} = (20 - 7) \cdot 0,216 = 2,8 \text{ м}$$

Масса донного заряда ($M_3^{(конт)}$, кг):

$$M_3^{конт} = 1,1 \cdot \pi \cdot d_{скв}^3 \cdot \sqrt[3]{f} \cdot \rho_{ВВ} = 1,1 \cdot 3,14 \cdot 0,216^3 \cdot \sqrt[3]{7} \cdot 1050 = 69,9 \text{ кг}$$

Количество контурных скважин ($n_{конт}$, шт):

$$n_{конт} = A + L_{бл} / a_k = 73 + 100 / 2,8 = 62 \text{ шт}$$

Удельные затраты на бурение (таблица 16) $c_{бур} = 126$ руб/м.

Затраты на контурное взрывание:

$$C_{\text{конт}} = 169\,463,1 \text{ руб.}$$

Таблица 3 - Удельные затраты на бурение ($C_{\text{бур}}$, руб/м)

Крепость породы, f	Диаметр бурения, м		
	0,190	0,216	0,240
4	72	89	107
8	104	127	152
12	174	211	252

Затраты на взрывание основной системы скважин ($C_{\text{осн}}$, руб.) рассчитываются так же, как и в первом варианте, но при цене взрывчатого вещества Ц_2 :

$$\begin{aligned} C_{\text{осн}} &= (1,15 + \delta_{\text{бур}}) \cdot \text{Ц}_2 \cdot q/1000 \cdot V_{\text{бл}} = \\ &= (1,15 + 0,3) \cdot 10000 \cdot 0,805/1000 \cdot 83000 = 968\,817,5 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Общие затраты на буровзрывную подготовку блока по варианту II составят:

$$C_{\text{бвр2}} = C_{\text{конт}} + C_{\text{осн}} = 169\,463,1 + 968\,817,5 = 1\,138\,280,6 \text{ руб.}$$

или

$$C_{\text{бвр}} = C_{\text{бвр2}}/V_{\text{бл}} = 13,7 \text{ руб/м}^3$$

Таким образом, при рассмотренных горнотехнических условиях использование предварительного контурного взрывания с целью снижения обводненности блока даст экономию затрат на подготовку горной массы к выемочно-погрузочным работам в размере:

$$\text{Э} = C_{\text{бвр1}} - C_{\text{бвр2}} = 1\,453\,330 - 1\,138\,280,6 = 315\,049,4 \text{ руб.}$$

Библиографический список

1. Флягин Александр Сергеевич, Жариков Сергей Николаевич Контурное взрывание при разработке месторождений полезных ископаемых // Проблемы недропользования. 2016. №3 (10).
2. Шалаев М.С., Парамонов Г.П. К вопросу повышения устойчивости бортов карьера при контурном взрывании за счет применения гелеобразных ВВ // Записки Горного института. 2009. №.2
3. Е. Ю. Виноградова Исследование эффективности отрезной щели для снижения сейсмического воздействия при строительстве тоннелей // Записки Горного института. 2006. №1.

КАРЬЕРНЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЛИМПИАДИНСКОГО ГОК (ОГОК)

Шеховцова Л.Ю., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

В статье рассматривается проблема повышения эффективности производства в угольной промышленности в условиях конкурентного рынка и ухудшения сырьевой базы. Особое внимание уделяется Эльгинскому месторождению в Южно-Якутском угольном бассейне. Авторы предлагают улучшить качество угля, используя современные технологии водоудаления из горных выработок.

Ключевые слова: уголь, зольность, Эльгинское месторождение, селективная отработка, качество, эффективность, технологии, анализ.

Олимпиадинское золоторудное месторождение расположено в центральной части Енисейского кряжа и административно входит в состав Северо-Енисейского района Красноярского края. Месторождение расположено в 600 км к северу от Красноярска, в Северо-Енисейском районе края, в 80 км от пгт. Северо-Енисейска.

Олимпиадинское месторождение подразделяется на три участка, взаимосвязанные в пределах единой рудовмещающей Медвежинской антиклинали – Западный, Промежуточный и Восточный, отличающихся масштабами оруденения. Выделение участков основано на особенностях геологического строения месторождения, литологического и структурного контроля, типах оруденения и морфологии рудных тел.

По сложности геологического строения в соответствии с «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» Олимпиадинское месторождение относится к 3 группе.

Положение горных работ на 01.01.2024г. представлено на рисунке 1.

Для снижения порового давления в прибортовом массиве и обеспечения безопасности горных работ на участке «Восточный» планируется построить систему горизонтальных дренажных скважин (ГДС). Основные характеристики ГДС: длина скважин 75–250 м, диаметр бурения 155,6–165,1 мм, угол наклона +5 градусов. Фильтровая колонна выполнена из полиэтиленовых труб ПЭ-100 SDR 11–90×8,2 (питьевых). В качестве оголовков используются стальные бесшовные трубы Ø83×4 (ГОСТ 8732–78, 8731–74В, сталь 09Г2С).

Для перекрытия рыхлых и слабоустойчивых пород прибортовой зоны предусмотрены кондукторы из глухих труб фильтровой колонны скважины с установленными пакерами, ограничивающими цементацию скважины на расстоянии не менее 0,5 м от устья. Пакеры размещаются на расстоянии 40–

50 м от борта для ограничения поступления воды в зону повышенной трещиноватости прибортового массива. Типовые конструкции горизонтальных скважин и их соединение с отводящими трубопроводами показаны на рисунках 1 и 2.

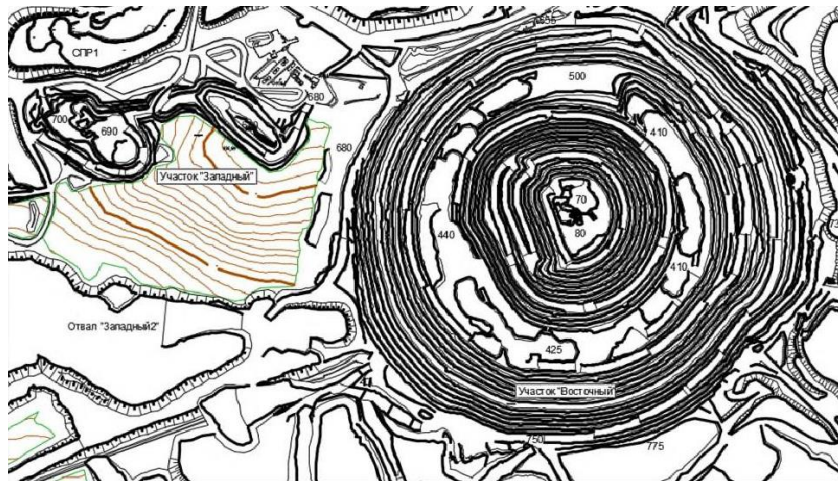


Рисунок 1- Положение горных работ на 01.01.2024г

Изначально планировалось отводить воду от ГДС только в тёплый период года, но актуализация модели устойчивости показала необходимость их круглогодичной работы. Для этого проектными решениями предусмотрено устройство электрообогрева устьев скважин на глубину промерзания грунта 3,0–4,0 м и резервуаров с перекачными насосными станциями.

Бурение кустов ГДС и одиночных скважин будет проводиться поэтапно. В 2023 году уже пробурили 18 скважин согласно программе бурения.

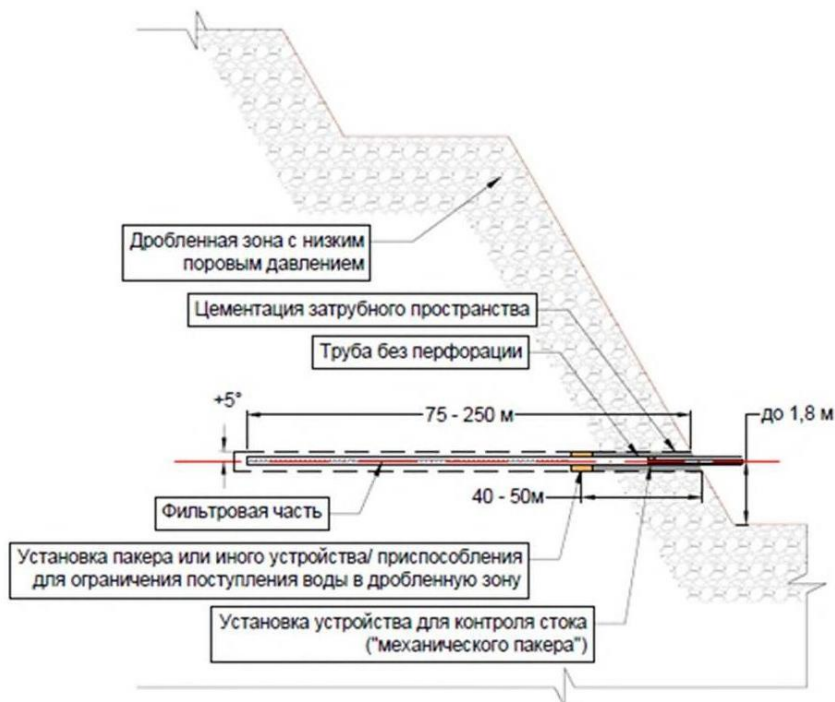


Рисунок 1 - Типовая конструкция горизонтальной дренажной скважины

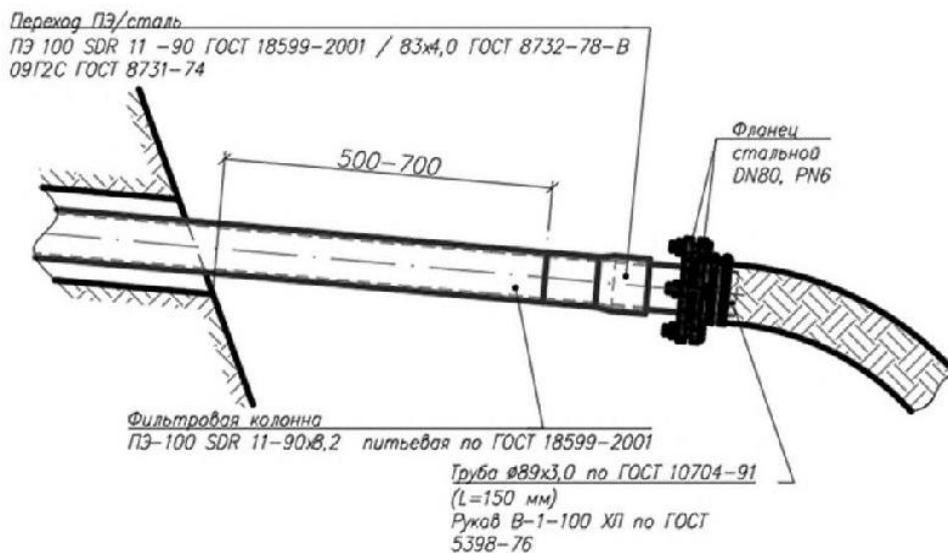


Рисунок 2 - Пример конструкции узла внешнего подсоединения ГДС

В 2023 году было пробурено ещё 12 кустов скважин, общий объём бурения составил 7000 метров. План расположения горизонтальных дренажных скважин на начало 2024 года представлен на рисунке 3.

Отвод дренажных вод от скважин планируется осуществлять самотеком с подключением существующего притока к магистральным водоводам длиной 10–20 метров, выполненным из резиновых рукавов диаметром 100–250 миллиметров согласно ГОСТ 18698-79 с быстроразъёмными соединениями. Магистральные водоводы располагаются каскадно с минимальным уклоном на бермах карьера в сторону нижележащего горизонта с перекачной насосной станцией.

Перекачные насосные станции представляют собой стальные горизонтальные резервуары объёмом 5–10 кубических метров, оснащённые погружными насосными агрегатами. Для обеспечения работы насосов в условиях сезонных колебаний водопритока предусмотрена автоматизированная система управления технологическим процессом с частотным регулированием производительности и диспетчерская система для сбора и вывода информации о работе оборудования на пульт дежурного диспетчера.

Подача дренажных вод насосными станциями осуществляется по длинным резиновым рукавам диаметром 150–250 миллиметров до проектных сооружений отвода поверхностных и подземных вод – самотечного трубопровода DN800 западного борта на горизонтах +660 м +650 м и самотечного трубопровода DN600 северо-восточного борта на горизонтах +660 м +650 м, а также к приёмным резервуарам перекачных насосных станций карьерного водоотлива.

Планируемый объём бурения ГДС в период 2022–2024 годов составит 14,2 тысячи погонных метров. Окончательные объёмы бурения и места заложения скважин должны быть скорректированы с учётом текущих горно-технических, геомеханических и гидрогеологических условий разработки месторождения.

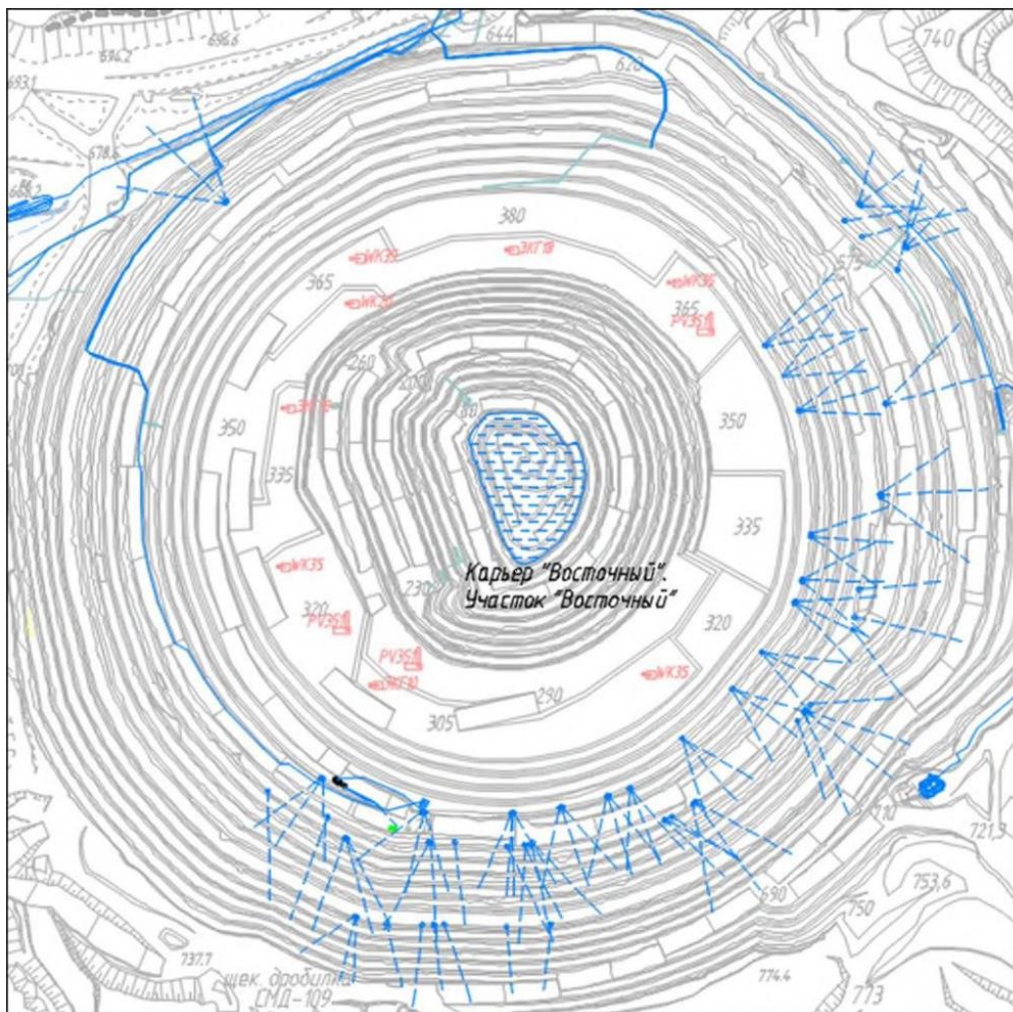


Рисунок 3 - Общий вид системы ГДС на начало 2024 года

Согласно программы бурения в 2024г. предусматривается сооружение 7 вертикальных дренажных скважин для перехвата подземных вод в зонах повышенной трещиноватости, приуроченных к долинам бывших водотоков, глубиной до 50-150м.

Предварительная конструкция скважины:

- кондуктор диаметром 508 мм для перекрытия насыпных грунтов и рыхлых отложений до глубины 30 метров с затрубной цементацией на всю глубину;
- обсадная – фильтровая колонна диаметром 324 мм от забоя до устья скважины;
- звенья щелевого фильтра диаметром 324 мм в интервалах установки – 40 – 140 м, интервалы установки фильтрующих элементов уточняются по результатам бурения и исследования разведочных скважин;
- отстойник диаметром 324 мм представляет собой глухую трубу длиной 10 метров с заваренным дном.

В 2024 году запланировано сооружение семи вертикальных дренажных скважин для перехвата подземных вод в зонах повышенной трещиноватости. Предварительная конструкция скважины включает кондуктор, обсадную

фильтровую колонну, звенья щелевого фильтра и отстойник. Скважины будут оборудованы погружными скважинными насосами типа ЭЦВ 6-10, а для круглогодичного использования системы предусмотрено устройство системы электрообогрева напорных трубопроводов.

Отвод воды от скважин будет осуществляться в проектные сооружения отвода карьерных и поверхностных вод, а также в самотечные трубопроводы DN300 юго-западного и юго-восточного бортов. Планируемый объём бурения эксплуатационных скважин составляет 2550 погонных метров, а объём бурения наблюдательных скважин – 3000 погонных метров. Места заложения, количество и параметры скважин должны быть уточнены при актуализации гидрогеологической модели карьера.

Библиографический список

1. Воронин А. А., Пономаренко Ю. В. Об эффективности горизонтальных дренажных скважин при осушении бортов карьеров // Региональные геосистемы. 2011. №21 (116).

2. Пономаренко Юрий Викторович, Попов Леонид Николаевич, Стрельцов Владимир Иванович Новая технология обеспечения промышленной безопасности на обводненных месторождениях полезных ископаемых // ГИАБ. 2016. №1.

УДК 622.271

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Фростов М.М., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.

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

Создание центра управления для роботизированной системы грузоперевозок, включающего рабочие места водителя и диспетчера, сервер, оборудование и программное обеспечение для организации движения автосамосвалов, обеспечения безопасности и инфраструктуры.

Ключевые слова: роботизированные грузоперевозки, центр управления, дистанционное управление, серверное программное обеспечение, автономность, оптимальный маршрут, безопасность, инфраструктура, промышленная безопасность.

На рисунке 1 изображен роботизированный участок горных работ, который включает следующие элементы: маршрут движения автосамосвалов, автономные (роботизированные) автосамосвалы, бункер или экскаватор, пункт разгрузки (склад или отвал), грейдер для дорожных работ и бульдозер для работы на складе или отвале.

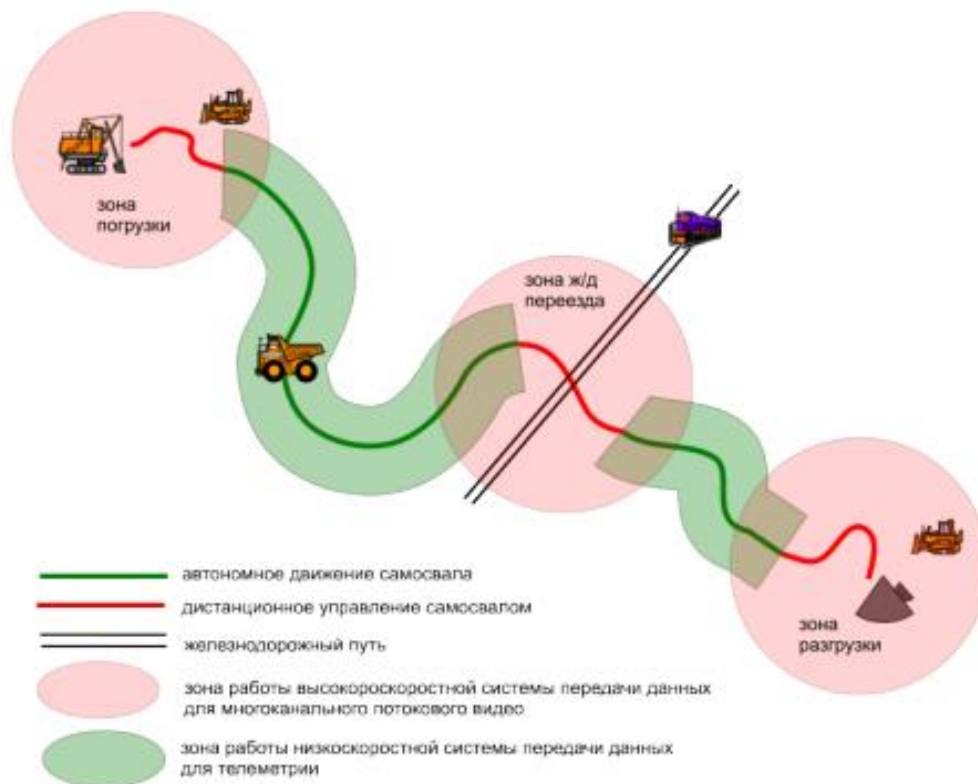


Рисунок 1 – Состав роботизированного участка грузоперевозок

Для эффективного управления роботизированной системой грузоперевозок создаётся центр управления, включающий рабочие места водителя (дистанционный пульт) и диспетчера, сервер, оборудование для передачи данных и базовую станцию дифференциальной коррекции.

Серверное программное обеспечение отвечает за организацию движения автосамосвалов на линии и включает такие этапы, как подготовка автосамосвала к автономному движению, расчёт оптимального маршрута, контроль и управление движением, прибытие к экскаватору, получение сигнала об окончании загрузки, расчёт оптимального места разгрузки и отправка на техническое обслуживание, ремонт или заправку.

Для обеспечения безопасности работы автосамосвалов на погрузке и разгрузке предусмотрены зоны погрузки, ожидания погрузки, разгрузки и работы бульдозера. Также определены требования к разъезду встречных автосамосвалов на маршруте, движению попутных автосамосвалов и совместной работе роботизированных автосамосвалов и карьерной техники, управляемой операторами из кабины.

Для функционирования роботизированной системы грузоперевозок требуется соответствующая инфраструктура. Новая версия правил промышленной безопасности позволяет использовать безлюдные технологии в горных работах и требует согласования таких технологий с местными органами Ростехнадзора.

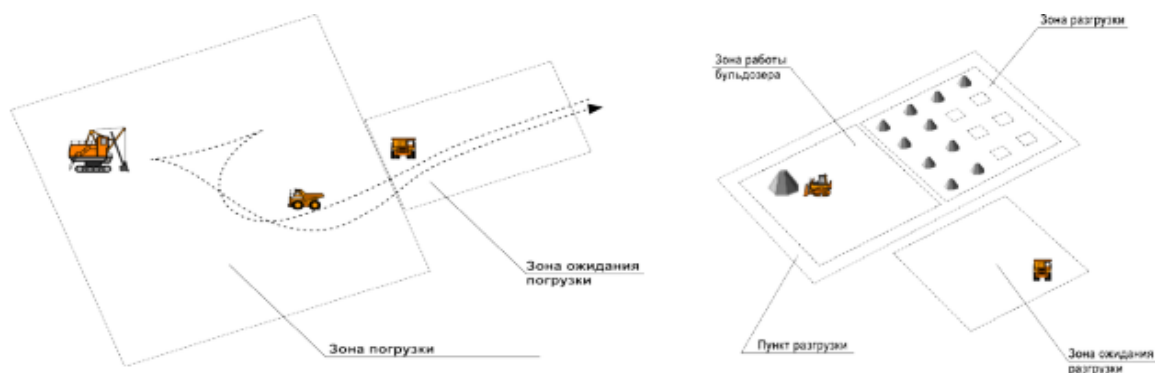


Рисунок 2 - Постановка роботизированного автосамосвала под погрузку и зоны пункта разгрузки

Применение роботизированных систем грузоперевозок позволяет улучшить такие параметры геотехнологии, как угол уклона дороги, угол откоса борта карьера и скорость движения роботизированных автосамосвалов на рабочей линии, а также уменьшить ширину технологических дорог по сравнению с традиционными методами разработки месторождений открытым способом. В дипломной работе подчёркивается важность учёта технических характеристик роботизированных систем грузоперевозок при определении параметров открытой геотехнологии наряду с технологическими и геологическими факторами. Экономический эффект от изменения параметров геотехнологии при использовании роботизированных систем грузоперевозок значителен, и необходимы дополнительные исследования для определения оптимальных норм проектирования горных работ в случае применения роботизированной карьерной техники.

Для обеспечения функционирования роботизированной системы грузоперевозок и высокой производительности автосамосвалов в карьерах, а также для увеличения срока службы и снижения расхода топлива важно поддерживать хорошее состояние технологических дорог. Контроль качества технологических дорог имеет большое значение, так как водитель автосамосвала не может визуально контролировать дорогу, и также существуют требования к поддержанию курсовой устойчивости.

Программное обеспечение должно автоматически контролировать качество технологических дорог, проводить количественную оценку параметров качества дороги и отображать информацию о проблемных участках на цифровой карте карьера. Оно также должно определять типы «плохих» дорог для включения их в алгоритмы распределения автосамосвалов между пунктами погрузки и разгрузки.

Для расчёта типов некачественного дорожного покрытия исходными данными служат данные телеметрии, полученные от роботизированных автосамосвалов, такие как давление в подвесках, скорость движения, выбранная передача, показания инклинометра и показания лидаров.

На одном из угольных разрезов Кемеровской области успешно протестировали автоматизированную методику оценки качества технологической

дороги. Если в составе роботизированной системы грузоперевозок задействовано несколько самосвалов, пунктов погрузки и разгрузки, возникает потребность в оптимизации работы этой системы, то есть в оптимальном распределении самосвалов на маршруте согласно производственному плану. В рамках исследования разработали математическую модель оптимизации и автоматического диспетчеризации работы роботизированных карьерных самосвалов при перевозке грузов на горном предприятии.

Исходные данные для математической модели включают информацию о каждом самосвале, например, местоположение, массу и тип перевозимого груза, а также данные о пункте разгрузки – положение и тип принимаемого груза, данные об экскаваторе – положение и тип груза, а также о графе дорог, описывающем дороги с учётом их длины, ширины, высоты подъёма и качества. Математическая модель обеспечивает оптимальное распределение роботизированных карьерных самосвалов по маршрутам в соответствии с алгоритмом распределения техники на основе плана работы карьера и горнодобывающего предприятия, а также критериев оптимизации, характерных для конкретного участка горных работ. Модель можно адаптировать под конкретные условия предприятия, и она не ограничена количеством критериев оптимизации. В общем виде математическая модель распределения роботизированных самосвалов на маршруте может быть представлена уравнением.

$$F = k_1 \cdot M + k_2 \cdot L + k_3 \cdot H + k_4 \cdot KR + \sum k_i \cdot F_i$$

где M – перевезённая всеми автосамосвалами масса (т);

L – пройденное расстояние, (м);

H – высота (м);

KR – суммарный показатель качества использованных дорог;

k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты приоритетов оптимизации;

k_i, F_i – прочие коэффициенты оптимизации грузоперевозок.

В результате расчётов для каждого узла дерева на завершающем этапе мы получаем набор значений критериальной функции F_1, F_2 и так далее и выбираем ветвь, где критериальная функция достигает максимального значения в соответствии с заранее определёнными весами коэффициентов оптимизации. Если возникают изменения во внешних факторах, таких как перекрытие участка дороги, поломка одного из самосвалов, изменение коэффициентов оптимизации и так далее, оптимальные маршруты движения роботизированных самосвалов пересчитываются и корректируются в алгоритме.

Была разработана методика тестирования основных производственных процессов роботизированного самосвала, и описаны результаты испытаний на испытательном полигоне ОАО «БЕЛАЗ». На этом полигоне был создан карьер площадью около 10 гектаров. На площадке был создан центр дистанционного управления и определены зоны технического обслуживания, за-

правки и погрузки-разгрузки. В качестве технологической дороги использовалась испытательная трасса с изменяющимся рельефом и поворотами. Для имитации реального рабочего процесса погрузки и разгрузки использовались погрузчик на месте погрузки и бульдозер на месте разгрузки, которыми управляли операторы из кабины.

Основные цели тестирования технологии роботизированных грузоперевозок включают:

- оценку возможности и определение технологических требований к выполнению роботизированным самосвалом функций перевозки грузов по заданному маршруту между фиксированными точками погрузки и выгрузки во взаимодействии с погрузочным оборудованием и бульдозером,

- проверку соответствия динамических параметров самосвала установленным требованиям при движении с постоянной скоростью по прямой, с ускорением и замедлением, при манёврах и движении задним ходом на определённом участке маршрута,

В процессе разработки методики тестирования роботизированной грузовой системы были отработаны все основные технологические этапы работы роботизированного самосвала на пути от точки погрузки до точки выгрузки. Таким образом, эту методику можно считать универсальной и использовать для тестирования работы роботизированных самосвалов на горных участках в будущем.

Библиографический список

1. Клебанов Д.А., Макеев М.А., Сиземов Д.Н. Применение автономной и дистанционно-управляемой техники на открытых горных работах // Горная промышленность. 2020. №6.

2. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2020. №1.

УДК 622.817 (571.17)

РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЗАБЛАГОВРЕМЕННОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Никитина Д.Ю., Никитина А.М., Риб С.В., Володина А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lika.vorsina.2001@mail.ru*

В статье рассмотрены решения по адаптации способа направленного бурения скважин к условиям отработки высокогазоносных угольных пластов Кузбасса. Предложена технология повышения эффективности дегазации угольных пластов направленными скважинами с поверхности по технологии Fishbones Drilling.

Ключевые слова: заблаговременная дегазация, буровое оборудование, высокогазоносные угольные пласты, скважина, технология Fishbones Drilling.

Вопросы повышения эффективности заблаговременной дегазации на основе различных скважинных технологий весьма актуальны. Это связано с увеличением глубины ведения горных работ, где закономерно растет газоносность разрабатываемых угольных пластов и газовыделение из них при разрушении угля [1-6].

В последнее время ведутся исследования в области предварительной дегазации разрабатываемых угольных пластов с использованием активных воздействий на них через скважины. Высокую эффективность и перспективность, показывает заблаговременная дегазация угольных пластов через скважины, пробуренные с поверхности (ЗДП). Преимущества технологии в том, что она может предусматривать применение более мощной нагнетательной техники, так как не ограничена ни сравнительно малыми объемами подземного пространства угольной шахты, ни средствами доставки техники к объекту дегазационных работ. Такая технология позволяет извлекать до 90 % общего содержания метана.

Однако по ряду причин на шахтах РФ до настоящего времени технология заблаговременной дегазации практически не применялась, в какой-то степени из-за необходимости обеспечения весьма существенных инвестиций за несколько лет до начала ведения добычных работ.

Лидерами в области обеспечения метанобезопасности путём извлечения угольного метана из неразгруженных пластов являются угольные и газовые компании США. Их опыт показывает преимущество заблаговременной дегазации скважинами с поверхности в сравнении с дегазацией подземными скважинами [1].

Руководители крупнейших угольных корпораций Китая также часто заявляют, что смотрят на добычу метана в первую очередь с точки зрения обеспечения безопасности труда шахтеров. Так, выступая на международной конференции в сентябре 2016 года в Тайюане (КНР), президент угольной корпорации «Цзинмэй» ХэТяньцай сообщил, что в результате применения гидроразрыва пласта (ГРП), бурения горизонтальных и многозабойных скважин за 8 лет удалось сократить число аварий на угольных предприятиях.

В последнее время угольные шахты Кузбасса начали приобретать буровые станки направленного бурения. В России на сегодняшний день одним из основных способов повышения газовой проницаемости угольных пластов является гидрорасчленение. В настоящее время, чтобы повысить эффективность гидрорасчленения, применяют импульсное воздействие, рисунок 1. Принципиальная схема по обработке угольного пласта предусматривает три режима воздействия: прямой гидравлический удар, обратный гидравлический удар, импульсное гидрорасчленение.

Также эффективным является применение метода плазменно-

импульсного воздействия на угольные пласты с высокой природной газоносностью [2]. Применение данного метода (ПИВ) в условиях ООО «Распадская угольная компания» Филиал «Шахта «Ерунаковская-VIII» позволило эффективно снизить высокую природную газоносность угольных пластов, рисунок 2.

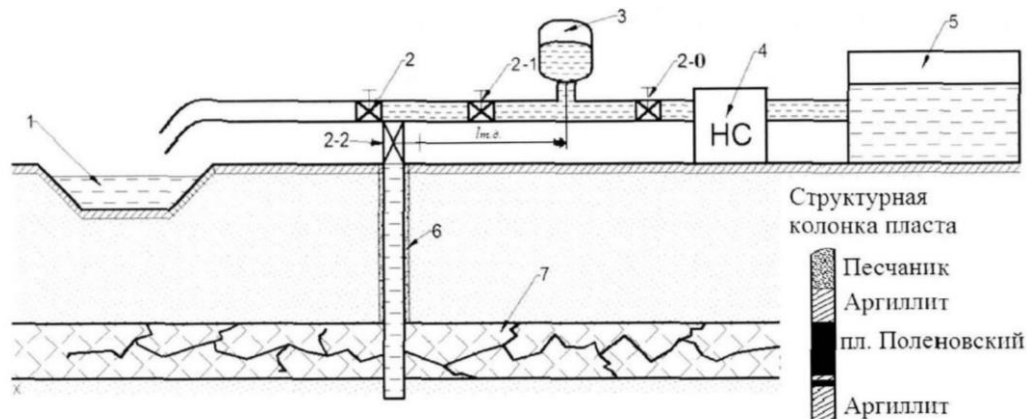


Рисунок 1 – Схема импульсного гидродинамического воздействия на угольный пласт при заблаговременной дегазации на основе гидравлического удара: 1 - сливная емкость; 2, 2-0, 2-1, 2-2 - запорные задвижки с пневматическим приводом; 3 - гидроаккумулятор; 4 - насосная станция; 5 - водозабор; 6 - обсадная колонна; 7 - обрабатываемый пласт [1]

С поверхности бурится скважина глубиной более 500 м. В скважину опускается специальный прибор, который производит кратковременные (55 мкс) плазменно-импульсные воздействия. Ударная волна сжимает и растягивает угольный пласт. Образуется сеть вертикальных и горизонтальных микротрещин.

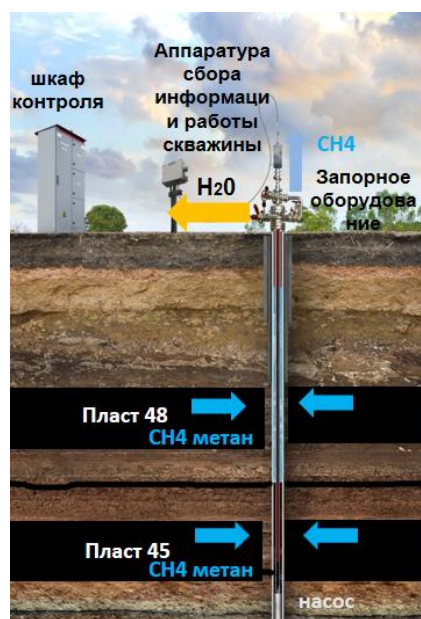


Рисунок 2 – Применение метода плазменно- импульсного воздействия на угольные пласты 48 и 45 Филиал «Шахта «Ерунаковская-VIII»

После проведения ПИВ в скважину опускается глубинный насос, откачивается вода и давление в скважине приближается к атмосферному. Газ под действием пластового давления ≈ 50 атм. «самотеком» движется в скважину и далее на поверхность.

На данной шахте в настоящий момент успешно продолжается промышленное внедрение заблаговременной дегазации угольных пластов вертикальными скважинами с поверхности с применением технологии плазменно-импульсного воздействия, рисунок 3.

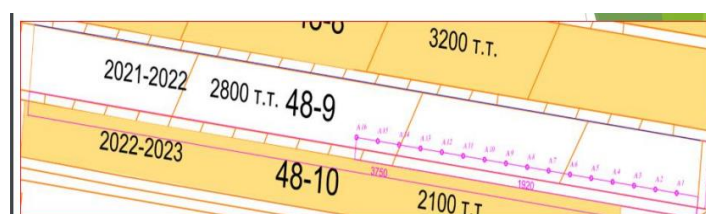


Рисунок 3 - Заблаговременная дегазация с использованием метода ПИВ на Филиал «Шахта «Ерунаковская-VIII» в контуре выемочного столба 48-9

На сегодняшний день относительно новой технологией для проведения дегазации является технология Fishbones Drilling [3]. Основным преимуществом технологии является точная и контролируемая интенсификация производительности скважины, за счет объединения ствола скважины и коллектора как минимум двумя сотнями ответвлений. Система скважин состоит из сопряженных между собой скважин – вертикальных и горизонтальной многозабойной части, рисунок 4. Вертикальные скважины предназначены для добычи метана и откачки грунтовых и подземных вод. Многозабойная часть создает максимальную площадь дренирования метана за счет боковых стволов.

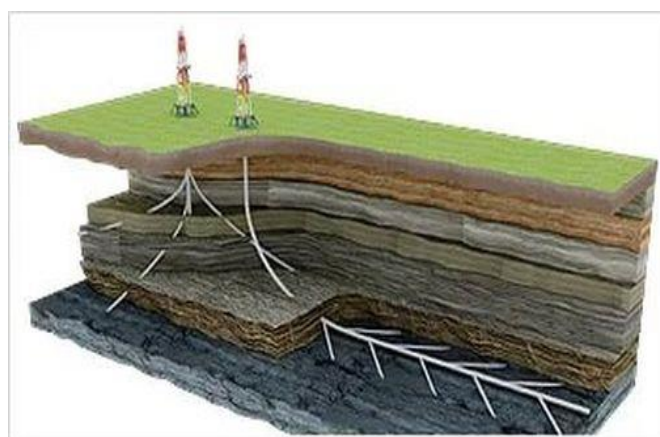


Рисунок 4 –Технология Fishbones Drilling

Технология применима в условиях угольных месторождений Кузбасса. Необходимо детальное исследование угля. Бурение одной скважины составляет от 1 до 2-х месяцев. Зарубежный опыт до 15 суток. Ожидаемый дебит метана до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$. На сегодняшний день ООО Газпром добыча Кузнецк провели опробование новой технологии. Отбурено – 2 скважины. Проходка

по угольному пласту 4100м.

Разработаны технико-технологические решения по заблаговременной дегазации угольных месторождений Кузбасса, включающие проведение заблаговременной дегазации пластов направленными скважинами с поверхности по технологии Fishbones Drilling. Для сооружения дегазационных скважин рекомендуется использовать современные самоходные буровые установки Sandvik DE-880 (Швеция), обеспечивающие высокопроизводительное бурение скважин на глубину до 500 м с конечным диаметром скважины до 244 мм, а также станки типа РН-25 (группа компаний ФИД, Беларусь). Длина скважин варьируется от 1000-1500 м.

На участках со сложными горно-геологическими условиями рекомендуется использовать роторные управляемые системы, с отклонением долота («Push-the-Bit») и с направлением долота («Pointthe-Bit»), которые обладают более высокой скоростью бурения, лучшей очисткой скважины от бурового шлама, особенно на горизонтальных участках.

Таким образом, предлагаемая технология Fishbones Drilling при подготовке новых выемочных блоков снизит выделение метана в атмосферу горных выработок до 60 %, позволит увеличить нагрузку на очистной забой и повысит безопасность производственных процессов.

Библиографический список

1. Серегин А.С. Обоснование параметров циклического гидродинамического воздействия при заблаговременной дегазации угольных пластов / А.С. Серегин // Автореферат. 2013г. – 145 с.
2. Анопочкин И.О. Заблаговременная дегазация угольных пластов методом плазменно- импульсного воздействия / И.О. Анопочкин, Р.Д. Козлов // Вестник Научного центра. 2021. - №2. - С. 21-27.
3. Дажук Н.М. Технология бурения Fishbone (Фишбон) / Н.М. Дажук // Наука и образование сегодня. 2018. - №10 (33). - С. 23-24.
4. 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.
5. 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.
6. Управление газовой выделением 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.

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, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 года / Под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. – С. 27-31.

УДК 622:339.13

К ВОПРОСУ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Трабер Н.С., Садыков А.А.

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

В статье рассматриваются вопросы о состоянии импортозамещения горнодобывающего оборудования и программного обеспечения. Рассмотрена текущая ситуация с долей отечественного горного оборудования для открытых горных работ в угольной промышленности. Приведены примеры производства отечественных машин и механизмов и разработки отечественного программного обеспечения.

Ключевые слова: импортозамещение, горные машины, запасные части, программное обеспечение, двигатели внутреннего сгорания.

В Российской Федерации существует проблема с производством отечественного горно-шахтного оборудования. В виду сложного периода 1994-2001 гг. закончили существование большое количество машиностроительных заводов. Така как предложения отечественного оборудования не было, страну заполнило импортное оборудование. Доля отечественного горного оборудования для открытых работ в угольной промышленности указана в таблице 1 [1].

Таким образом можно отметить, что наблюдалось сокращение доли отечественного оборудования в 2014-2020 гг.

Средняя доля использования импортного оборудования на шахтах и разрезах составляет 40-80 %. В связи с этим Правительство России отмечает, что отсутствие сервиса и запчастей в связи с санкциями вызовет постепенный отказ действующего оборудования и создаст угрозу энергетической безопасности страны [2].

Создание новых машин и механизмов является непростой задачей. Это требует существенных сроков от выработки концепции до серийного продукта. Сам процесс создания технологий и оборудования указан на

рисунке 1 [4].

Достаточно важным является вопрос импортозамещения программного обеспечения на горнодобывающих предприятиях. В настоящее время импортные программные продукты практически безраздельно доминируют. Выйти на рынок для отечественных компаний было чрезвычайно сложно. Но в связи с санкциями большое количество иностранных вендоров покинуло рынок, что дало возможность занять нишу отечественным компаниям. С целью замены программных решений от Datamine, Micromine, Geovia, Maptek разработчики ГГИС MineFrame приступили к созданию цифровой платформы. Также в Горном институте ведутся работы по созданию цифровых двойников обогатительных аппаратов на основе использования нейронных сетей и SCADA-систем [3].

Таблица 1 – Доля отечественного горного оборудования для открытых работ в угольной промышленности [1]

Виды оборудования	Годы						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Одноковшовые экскаваторы	61,40	56,98	53,56	47,93	44,02	42,95	46,50
Многоковшовые экскаваторы	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	15,38	16,20
Фронтальные погрузчики	7,37	5,39	5,77	4,11	3,63	2,89	3,60
Буровые станки	38,16	40,45	36,67	36,59	24,22	23,83	34,0
Бульдозеры	23,65	23,74	22,08	20,36	17,71	15,55	15,70
Технологические автомобили	3,50	3,25	3,43	2,30	4,05	3,14	2,50
Интегральная оценка по оборудованию	22,35	21,64	20,25	18,55	16,94	17,29	15,40

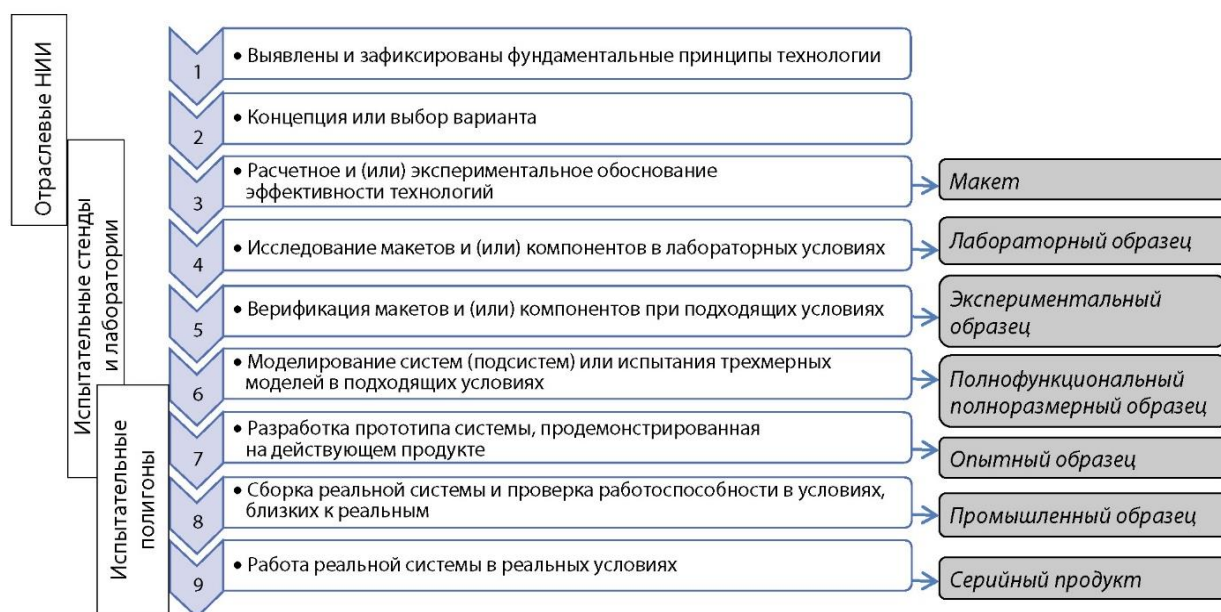


Рисунок 1 – Процесс создания технологий и оборудования [4]

Стоит отметить, что даже в произведенных в России машинах используются импортные компоненты. Поэтому важно в рамках импортозамещения также уделять внимание данному факту. Например, компания НТЦ «РЕДУКТОР» накопила значительный практический и технологический опыт реверс-инжиниринга зарубежных редукторов и мотор-редукторов, что позволяет им предлагать свою продукцию для замены импортных компонентов [5]. Отмечается [6] и важность проектирования новой силовой установки для буровой машины. В работе [7] рассматривается вопрос применения отечественного двигателя внутреннего сгорания карьерного автосамосвала. Вопрос является важным, т. к. одним из уязвимых мест разработки полезных ископаемых открытым способом являются санкции и эмбарго в отношении импорта карьерных автосамосвалов и комплектующих к ним, в том числе двигателей. Основными поставщиками двигателей являются MTU (Германия) и Cummins (США), набирают популярность Weichai (Китай). Двигатели производства УДМЗ 12ДМ-185 (Россия) и Weichai 12M55 имеют сопоставимые с импортными двигателями внутреннего сгорания характеристики, в том числе можно отметить Коломенский двигатель Д300. Также отмечаются работы России в плане создания импортонезависимых шарнирно-сочлененных автосамосвалов [8].

Таким образом, доля отечественного оборудования до 2022 г. снижалась, сокращение доли отечественного оборудования в 2014-2020 гг. однако в связи с введением на Российскую Федерацию беспрецедентного количества санкций, уход иностранных производителей машин и механизмов, наблюдаются подвижки в части импортозамещения оборудования и программного обеспечения для горной отрасли.

Библиографический список

1. Петренко И. Е. Импортозависимость в угольной отрасли России и пути ее снижения // Высшая школа: научные исследования: материалы Межвузовского международного конгресса. – Москва, 2023. – С. 8-15.
2. Палеев Д. Л., Черняев М. В. Пути укрепления энергетической безопасности России в условиях обострения геополитической ситуации // Экономические системы. – 2022. – № (4)15. – С. 154-164.
3. Лукичев С. В. Цифровые горные технологии – импортозамещение и технологическая независимость // Цифровые технологии в горном деле: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Апатиты, 2023. – С. 31-32.
4. Лебедева Н. Е. Оценка эффективности развития инновационной инфраструктуры угольной промышленности // Уголь. - 2023. – № 7(1169). – С. 36-40.
5. Реверс-инжиниринг, импортозамещение, ремонт и модернизация зарубежных редукторов и мотор-редукторов // Горная промышленность. – 2023. – №5. – С. 24-27.
6. Голев Д. Е., Янковский Л. В. Проектирование новой силовой уста-

новки буровой машины при импортозамещении // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы конференции, т. 1. – Пермь, 2023. – с. 49-54.

7 Дубинкин Д.М., Арутюнян Г.А., Назаренко С.В., Ялышев А.В. Анализ и перспективность применения отечественного двигателя внутреннего сгорания автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 2(17). – С. 4-21.

8 Глебов А. В. К вопросу импортнезависимости на примере производства шарнирно-сочлененных самосвалов для освоения твердых полезных ископаемых // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3(38). – с. 68-78.

УДК 622.271.3

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КУСКОВАТОСТИ ВЗОРВАННЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ

Трабер Н.С., Садыков А.А.

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

В статье рассматриваются критерии оценки кусковатости взорванных пород и их влияние на производительность современных механических лопат. Приведены различные методики для определения для оценки качества дробления горных пород взрывом. Отмечено большое количество методик для расчета сменной производительности экскаваторов-мехлопат с учетом среднего диаметра куска.

Ключевые слова: кусковатость взорванных пород, экскаваторы-мехлопаты, производительность экскаватора, средний диаметр куска, гранулометрический состав.

В настоящее время существует много методов оценки качества дробления горных пород взрывом, которые в своей основе базируются на определении грансостава взорванных пород.

В УРАН ИПКОН РАН для фактической оценки качества дробления горных пород взрывом предложен метод, основанный на компьютерной обработке группы фотопланграмм и разработана методология, заключающаяся в обосновании физической модели интенсивной взрывной подготовки горного массива и использовании результатов теоретического рассмотрения действия взрыва при крупномасштабном взрывании на разных глубинах в зависимости от горно-геологических условий.

Модель на выходе определяет несколько критериальных типов (обычно три) масштабности отбойки, которые обобщают методы и параметры буровзрывных работ с учетом основных характеристик и показателей каждой взрывной работы. Дальнейшая разработка связана с применением этих вари-

антов к конкретным горнотехническим условиям для создания инновационной геотехнологии.

Кроме того, в УРАН ИПКОН РАН разработан метод и программная методика «Взрывдезинтеграция», которая позволяет прогнозировать качество дробления массива горных пород скважинными зарядами в карьерах в автоматическом режиме.

В настоящее время достаточно популярной и распространенной, особенно в Кузбассе, является пакет программных средств, объединяющий цифровую модель месторождения, средства сбора информации о среде, математическую модель взаимодействия заряда со средой, и средства, обеспечивающие подготовку необходимой проектной документации для производства массовых взрывов под названием «Программное обеспечение САПР БВР «BlastMaker», разработанный в ОсОО «BlastMaker» г. Бишкек (Киргизия).

Программное обеспечение САПР БВР «BlastMaker», находящаяся в распоряжении кафедры «Открытых горных работ и электромеханики» СибГИУ в соответствии с договором о некоммерческом использовании программного продукта с целью обучения студентов и расчета параметров БВР для разрезов Кузбасса, позволяет проектировать параметры буровзрывных работ в соответствии с фактическими условиями их проведения, учитывая физико-механические свойства взрывааемых пород и степень их обводнения по данным, полученным при маркшейдерской съемке конкретного блока в зависимости от параметров производимых буровзрывных работ и физико-механических свойств разрабатываемых пород.

Прочностные свойства пород и характеристики трещиноватости массива изначально практически во всех методиках являлись основой для расчета удельного расхода ВВ [1].

При определении параметров БВР программа «BlastMaker», также предусматривает возможность определения удельного расхода ВВ в зависимости от свойств взрывааемых горных пород и учитывает их изменение по энергоемкости бурения. Достоверность такого подхода базируется на обширном материале исследований, проведенных д. т. н. Тангаевым И.А. и д.т.н. Мосинцом В.Н. на карьерах горнодобывающих предприятий стран СНГ.

Оценка гранулометрического состава разрушенной горной массы в программе «BlastMaker» производится на основе модели Кузнецова В. М.-Рамлера.

Параметр – величина средневзвешенного размера кусков взорванных вскрышных пород – $d_{св}$ характеризует всю совокупность фракций, гранулометрического состава взорванных пород и определяет, как технологические параметры БВР, так и затраты по этому процессу.

Для расчета размера среднего куска также можно использовать формулу, предложенную В.А. Кузнецовым. Эта формула определяет размер среднего:

$$d_c = \kappa \cdot f^\alpha d_e^\beta \gamma^\theta d^\delta q^\lambda, \quad (1)$$

где f , d_e , γ , d , q – коэффициент крепости пород (по проф. Протождяконову М. М.),
 средний размер блока в массиве, объёмный вес породы,
 диаметр заряда, удельный расход ВВ соответственно;

α , β , θ , δ , λ – показатели степени;

κ – коэффициент пропорциональности.

Существует различное количество методик по расчету сменной производительности экскаваторов-мехлопат [2-6].

В СибГИУ на кафедре открытых горных работ и электромеханики производились исследования и была получена универсальная формула [7, 8] для расчета производительности экскаваторов с ковшами от 6,3 до 55,8 м³

$$Q_3 = \frac{3600 \cdot E \cdot T_{см} \cdot \frac{0,22 \cdot E^{0,234}}{0,234} \cdot K_3 \cdot K_{из}}{d_{ср} E^{0,22}}, \text{ м}^3 / \text{см}$$

$$\frac{67 d_{ср}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{\frac{5}{3}} \cdot \beta_n^2}{E} + t_p} \quad (2)$$

где $d_{ср}$ – диаметр среднего (по объему) куска взорванной горной массы, м;

e – основание натурального логарифма;

E – вместимость ковша экскаватора, м³;

β_n – угол поворота экскаватора при погрузке, град.;

K_3 – коэффициент влияния параметров забоя (для торцевого забоя $K_3 = 0,9$; для тупикового $K_3 = 0,8$);

$T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$K_{из}$ – коэффициент использования экскаватора в течение смены.

Производительность мехлопат рассчитанная по универсальной формуле (2) с фактическими, которые были установлены в производственных условиях, показало высокую достоверность расчета по установленной формуле – коэффициент вариации при расчете по предлагаемой формуле – 17,7%, что практически в два раза ниже, по сравнению с известными.

Выводы:

– определен основной критерий оценки кусковатости взорванных пород – средний диаметр куска ($d_{ср}$);

– установлена степень его влияния на производительность современных механических лопат – формула для определения изменения производительности механических лопат от величины среднего размера кусков взорванных пород.

Библиографический список

1 Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. – М., Недра, 1984. - 359 с.

2 Бирюков А. В., Репин Н. Я. Паначев И. А., Ташкинов А. С. Временная методика расчета параметров взрывной отбойки пород на угольных раз-

резах. – М.: Типография ИГД им. А. А. Скочинского, – 1976. – 50 с.

3 Ташкинов А. С., Сысоев А. А., Ташкинов И. А. Сравнительная оценка производительности карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород // Вестник КузГТУ. – 2009 – №4. – С. 17-20.

4 Вилкул Ю. Г., Перегудов В. В. Влияние гранулометрического состава взорванной горной массы на технико-экономические показатели работы карьеров // Криворожский технический университет, разработка рудных месторождений. – 2011. – № 94. – С. 3-7.

5 Казангапов А. Е., Куттыбаев А. Е., Саменов Г., Петрунько А. Н. Зависимость производительности экскаватора от кусковатости взорванной породы на Житикаринском карьере // Вестник КазНТУ. – 2006. – № 2. – С. 153-156.

6 Кононенко Е. А., Исайченков А. Б. Влияния кусковатости взорванных пород на производительность экскаватора Bucyrus 495HD // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 6. – С.17-19.

7 Чаплыгин В. В., Садыков А. А., Матвеев А. В. К вопросу оптимизации параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – №9. – С. 84-98.

8 Федотенко В. С., Чаплыгин В. В., Матвеев А. В. Оптимизация параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород экскаваторно-автомобильными комплексами с применением мехлопат // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 1(129). – С. 17-31.

УДК 681.5 [622.6 : 622.371]

ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ДОБЫЧЕ АЛМАЗОВ ШАХТНЫМ СПОСОБОМ

**Марченко Л.А., Владимиров В.В., Карпов А.В.,
Гордеева А.П., Коряга М.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: toly123490@gmail.com*

В данной статье рассматривается проблемы цикла буровзрывных работ при выемке алмазной руды в шахте и использования роботизированных машин и механизмов в газовой среде забоя, не пригодной для дыхания. Описываются перспективные комплексы проходческого оборудования.

Ключевые слова: буровзрывные работы, диспетчеризация, автоматизация, добыча алмазов, подземная добыча.

Буровзрывные работы (БВР) являются одними из основных способов разрушения крепких горных пород применяемым при разработке алмазов шахтным способом [1].

При подземном способе разработки, использование БВР требует дополнительного объема воздуха при проветривании для удаления из забоя продуктов горения взрывчатых веществ (ВВ) и рудничной пыли.

До окончания проветривания забоя после применения ВВ исключается нахождение персонала алмазного рудника в проводимой выработке, из-за чего возникают простои проходческой и погрузочной техники.

Решением данной проблемы может стать использование роботизированных машин и оборудования, которые могут работать в газовой среде, не пригодной для дыхания.

Погрузочные работы и транспорт отбитой горной массы возможно реализовать за счет применения систем диспетчеризации и роботизации Deep Automation и Minetruck Automation [2].

Работой погрузчика в запыленной и загазованной среде может управлять система Deep Automation, представленная целым набором систем и приложений автоматизации, используемые для управления погрузчиками при проведении подземных горных работ. Они созданы с учетом функциональной совместимости и позволяют контролировать безопасные зоны, производственные задания и автономное движение в режиме реального времени, повышая безопасность, согласованность и производительность.

По этой системе, машины способны перемещаться по запрограммированным заранее маршрутам без постоянного участия оператора, который в это время может следить за другими погрузчиками, а в случае аварийной ситуации, есть возможность отключить любой из них.

Аналогичной системой, является Minetruck Automation, которая обеспечивает полностью автономный цикл работы шахтных самосвалов с запрограммированными маршрутами и функцией автоматической разгрузки. Один оператор со своей рабочей станции может управлять как погрузочно-доставочными машинами, так и самосвалами. Используя систему, можно контролировать работу автономных транспортных средств от различных OEM-производителей оборудования [2].

Система автоматического управления шахтными самосвалами построена на тех же компонентах, программном обеспечении и технологиях, что и система автоматического управления Scooptram Automation (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пульт управления погрузчиков и самосвалов [2]

Дополнительным этапом роботизации цикла БВР является применение системы динамической прокладки тоннелей и цифровых буровых планов, обеспечивающих точное расположение шпуров в соответствии с буровым планом, профиль тоннеля без перебуров и качественную фрагментацию, которая облегчает выполнение остальных этапов цикла БВР (рисунок 2).

Оптимизация позволяет максимально полно использовать оборудование и выполнять производственные процессы за счет повышения эффективности и увеличения загрузки [3].

Все проекты тоннелей сегодня существуют в формате 3D-модели САПР. Благодаря пакету динамической прокладки тоннелей буровая установка может создавать собственный буровой план, находясь в забое тоннеля.

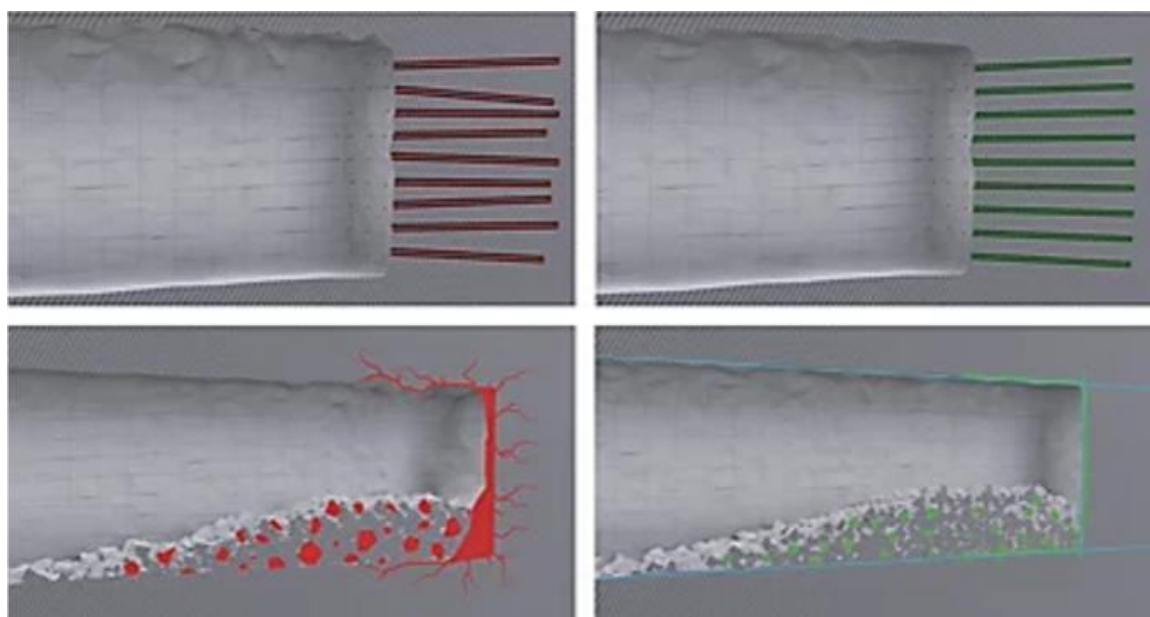


Рисунок 2 – Сравнение результатов ручного и автоматического бурения [3]

В ПО Underground Manager импортируется файл САПР. Создается буровой план с тоннельными линиями и реперными точками. Затем цифровой буровой план переносится на USB-накопителе или передается по Wi-Fi на буровой станок, после этого буровой станок будет создавать буровые планы, адаптированные под конкретное сечение, в котором он перемещается в данный момент, что делает создаваемые планы всегда актуальными.

Навигация производится с помощью тахеометра, что позволяет очень точно позиционировать буровой станок в соответствии с системой координат рудника с помощью автоматического измерения для призм опорных точек бурового станка и рудника.

Тем самым обеспечивается быстрая и точная навигация бурового станка, что означает высокую точность и стабильность бурения, а также повышенную производительность и отличную воспроизводимость.

Более сложные скважины в кольце бурят сначала вручную. С помощью системы ABC Total в автоматическом режиме бурят менее сложные

скважины. Автоматическое бурение синхронизируется по времени при перемене таким образом, чтобы не возникало остановок в процессе бурения. Автоматическое бурение контролируется из операторской. После завершения работы машина выключается.

При использовании системы ABC Total оператор, находясь в операторской, может управлять шестью машинами. Система Simba Teleremote e-tramming позволяет оператору выполнять бурение, передвижение, навигацию и опять бурение из операторской с помощью тех же джойстиков, что и в кабине [3].

С помощью камер на машине оператор может управлять навигацией и позиционированием бурового станка и следить за тем, чтобы бурение выполнялось в соответствии с буровым планом.

Система Simba Teleremote E-tramming позволяет выполнять бурение полного кольца, перемещение в следующее положение с помощью лазеров, навигацию установки и активацию домкратов для стабилизации машины, и бурение следующего кольца. Для этого не требуется запуск дизельного двигателя.

Повышение экологичности производства возможно достичь за счет применения аккумуляторных погрузчики Scooptram для подземных работ. Они имеют пониженный уровень шума и тепловыделения. Электропогрузчики требуют меньше эксплуатационных расходов [4].

Полностью электрический погрузчик Scooptram дает также возможность работать на большой глубине без больших затрат на вентиляцию. Меньше выбросов означает меньше потребности в подземной вентиляции (рисунок 3).



Рисунок 3 – Электрический погрузчики Scooptram ST14G [4]

Аккумуляторы спроектированы с учетом производительности и эффективности. Аккумуляторы с высокой плотностью энергии легко заменяются для непрерывного использования машины.

Благодаря меньшему загрязнению воздуха в шахте будет более чистым и прохладным, что повысит комфорт и производительность операторов.

Данные технологии внедрения роботизированных и автоматизированных машин способны повысить темпы проведения выработок и повысить эффективность БВР.

Библиографический список

1. Коряга М.Г. Использование бункера-перегрузателя в составе проходческого комплекса / М.Г. Коряга. - Новокузнецк: Научно-технический журнал «Исследования и использование минеральных ресурсов»: науч. журнал / СибГИУ. – 2017. - №3 – С. 251 – 253.

2. Автоматизация и управление информацией: Epiroc продукция - Режим доступа свободный: - URL: <https://www.epiroc.com/ru-ru/innovation-and-technology/automation-and-information-management#> (дата обращения: 08.04.2024).

2. Система динамической прокладки тоннелей / [Электронный ресурс] // Epiroc продукция. — URL: <https://www.epiroc.com/ru-kz/innovation-and-technology/automation-and-information-management/automation-and-information-management-underground/high-performance-development> (дата обращения: 08.04.2024).

3. Погрузочно-доставочные машины с электроприводом для подземных работ / Epiroc продукция. — URL: <https://www.epiroc.com/ru-ru/products/loaders-and-trucks/electric-loaders> (дата обращения: 08.04.2024).

УДК 622.832

К ВОПРОСУ ОТРАБОТКИ НАКЛОННЫХ И КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Жданов Е.Е., Басов В.В., Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yegor.zhdanov.1400@mail.ru*

Описаны проблемы отработки наклонных и крутонаклонных угольных пластов подземным способом в России и за рубежом. Показаны условия отработки пласта 29а на шахте «Большевик» (Кузбасс). Для обеспечения безопасных условий труда при изменении угла залегания пласта от 15° до 45° необходимо производить прогноз геомеханической обстановки и при объективной необходимости пересматривать параметры технологии ведения горных работ.

Ключевые слова: наклонный и крутонаклонный угольный пласт, шахта, горная выработка, устойчивость, технология.

Сейчас в Кузбассе ведется выборочная отработка локальных участков пологих пластов коксующихся углей, пригодных для комплексной механизации. К неблагоприятным запасам в Кузбассе относят [1], в том числе, наклонные и крутонаклонные участки угольных пластов технологичные по

мощности (западное крыло Байдаевской брахисинклинали и западное крыло Антоновской синклинали и др.).

Опыт отработки наклонных и крутонаклонных угольных пластов средней мощности в России и зарубежом показывает [2-5], что применение в таких условиях очистных механизированных комплексов с традиционным построением, предназначенных для работы в условиях пологих пластов, связано с рядом особенностей и проблем: повышенный отжим пласта угля; сползание и разворот секций механизированной крепи и базы забойного конвейера с формированием нависающего забоя угольного пласта и снижением устойчивости призабойной кровли; скатывание с ускорением по лаве кусков угля и породы и проникновением их в рабочее пространство обслуживающего персонала; перепуск обрушенного массива пород кровли к нижней части очистного забоя; повышенная частота геологических нарушений и переменный угол падения пластов; сложность вождения элементов комплекса; проблемы монтажно-демонтажных работ, частые простои оборудования и др. Для снижения влияния угла падения на работу оборудования разработаны различные средства компенсации сползания оборудования или удержания его на месте.

Вопросы повышения производительности труда, улучшения условий работы персонала при добыче таких запасов, должны решаться, в основном, путем максимальной механизации и автоматизации производственных процессов.

На шахте «Куангхань» (Вьетнам) с мульдообразным залеганием для разработки угольных наклонных пластов средней мощности рассматривались три варианта [4]. Первый вариант – очистной забой, в котором выемка угля производится комбайнами или стругами, крепление лавы гидравлическими стойками. Второй вариант – очистной забой, в котором выемка угля производится комбайнами или стругами, крепление лавы механизированными крепями. Третий вариант – очистной забой, в котором выемка угля производится комбайнами или стругами, крепление лавы механизированными крепями; причем операции процесса добычи, например, выемка угля, крепление, транспорт и др. – выполняются по компьютерным программам, созданным специально для контроля оборудования, находящегося в лаве. Для достижения плановых показателей был применен второй вариант с максимальной реализацией возможностей современных высокопроизводительных механизированных комплексов. В настоящее время только Китай имеет успешный опыт отработки крутонаклонных пластов.

Необходимость совершенствования технологий доработки нетехнологических запасов - крутонаклонные части отрабатываемых пластов - является важной задачей.

В данной работе в качестве объекта исследования приняты условия шахты «Большевик» (Кузбасс).

Поле шахты «Большевик» расположено на севере Байдаевского геолого-экономического угленосного района Кузбасса, в Новокузнецком районе

Кемеровской области. В настоящее время основные горные работы ведутся только в восточном блоке (уч. Есаульский 3-4).

Восточный блок представляет тектоническую структуру, в пределах которой, продуктивная толща залегает в форме брахисинклинальной асимметричной складки. Ось складки имеет северо-западное простирание с пологим погружением ($2-5^{\circ}$) в данном направлении. Юго-западное крыло складки представлено полной структурой, от выходов пластов под наносы до глубины 250-280 м (гор ± 0), с падением крыла $50-30^{\circ}$ на выходах до $15-5^{\circ}$ вблизи горизонта ± 0 (оси складки). Шахтное поле АО «Шахта «Большевик» относится к месторождениям сложного строения – II группе сложности. Это подтверждает широкое развитие разрывных нарушений и наличие складчатых форм, а также мелких тектонических подвижек, размывов пластов и участков неустойчивой кровли, установленных в процессе подземной отработки угольных пластов: 29а, 30, 32.

Предстоит отрабатывать запасы в крутонаклонной части пластов 30 и 29а, которые расположены в восточном блоке северо-восточной части Байдаевского месторождения на геологических участках Есаульских 3-4 в пределах Есаульской брахисинклинали. Углы падения пластов в районе выходов под наносы составляют $30-50^{\circ}$. В блоке №3 по пласту 30 предусматривается отработать четыре выемочных столба, а по пласту 29а предусматривается отработать три выемочных столба [6].

На АО «Шахта «Большевик» осуществляется первоочередная отработка пласта 29а крутонаклонной части, так как это обеспечит наибольшую безопасность горным работам, в том числе и на вышележащем пласте 30 при условии проведения подготовительных выработок на пласте 30 после полной отработки крутонаклонной части пласта 29а.

Для исключения негативного влияния изменчивости угла падения пласта 29а (рисунок 1, при изменении угла залегания пласта от 15° до 45°) и обеспечения безопасных условий труда необходимо производить прогноз геомеханической обстановки и при объективной необходимости пересмотреть параметры технологии ведения горных работ.

Необходимо отметить, что в результате анализа условий отработки выемочных участков на крутонаклонных частях пласта 29а (рисунок 1) однозначно выделяется вопрос устойчивости охранных целиков, оставляемых на углах падения до 45° .

Разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий на АО «Шахта «Большевик» обуславливает многообразие средств повышения устойчивости выработок, которые, в конечном счете, сводятся к обеспечению максимальной прочности массива и снижению напряжений в массиве. Установлено, что в окрестности подготовительной выработки (рисунок 2), пройденной по простиранию пласта с углом падения 45° , наиболее опасными по устойчивости являются породы кровли и почвы выработки.

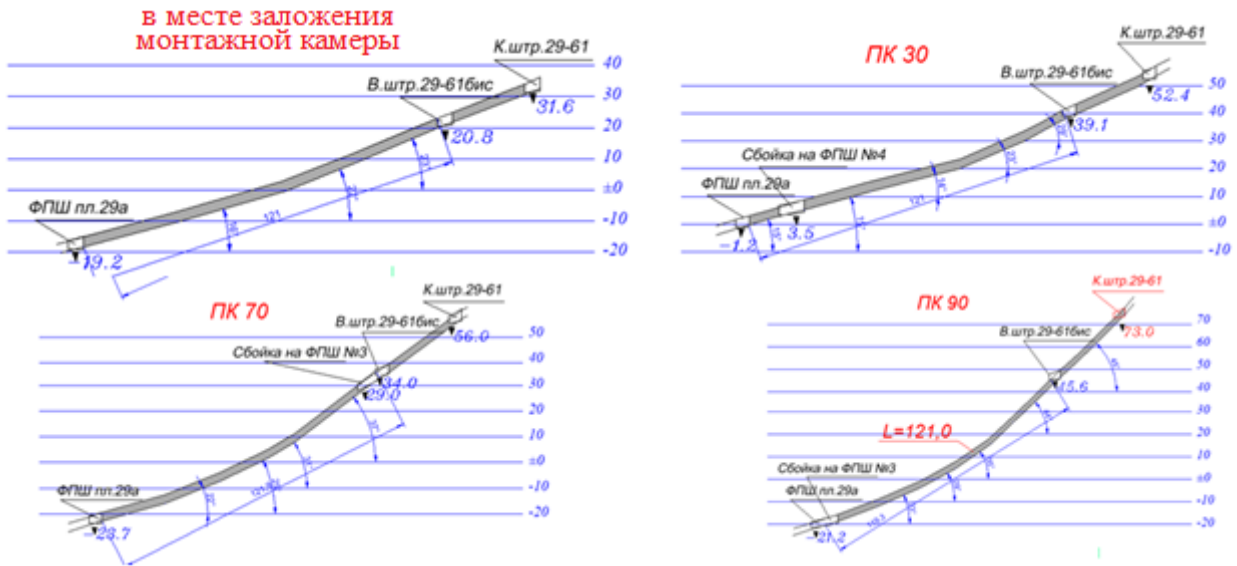


Рисунок 1 - Изменчивость угла падения пласта 29а (геологические разрезы по пикетам, выемочный участок 29-61 бис)

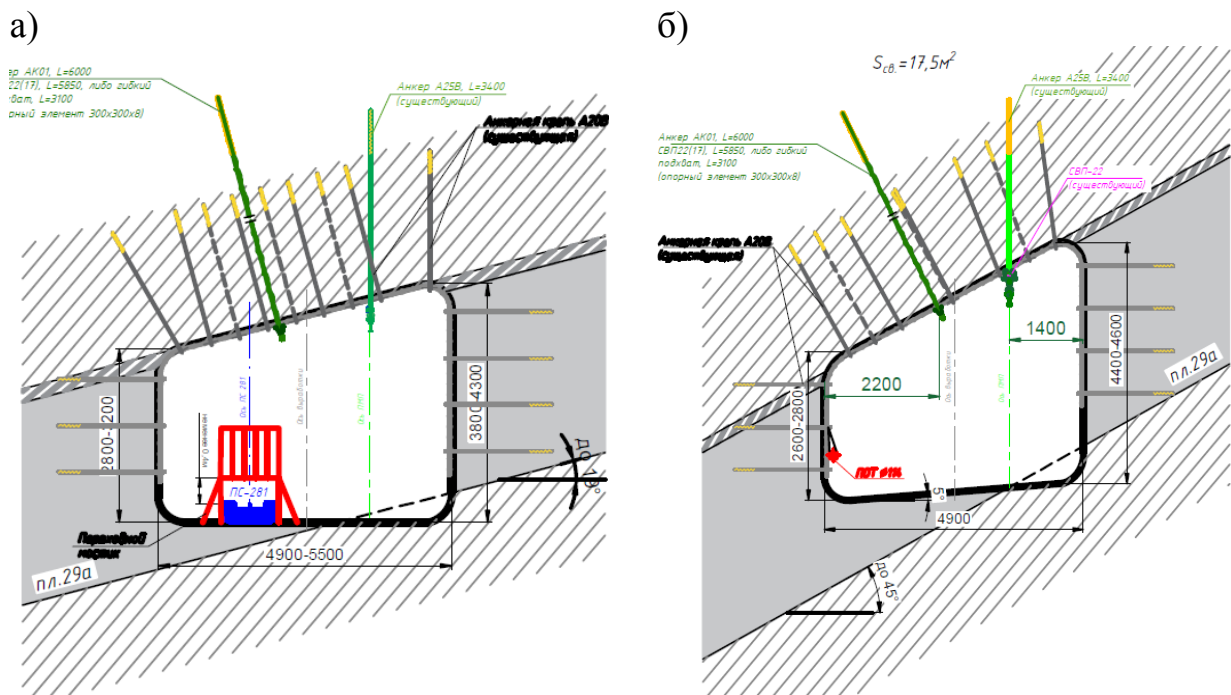


Рисунок 2 - Поперечные сечения флангового путевого штрека пл.29а (а) при угле залегания пласта до 19° и вентиляционного штрека 29-61бис (б) при угле залегания пласта до 45°

Возможны отжим и вывалы угля с висячей стороны пласта. Форма и размеры зон разрушения пород в кровле и почве штрека существенно зависят от угла падения пласта. Согласно результатам расчёта, при увеличении угла падения пласта в пределах 0-45 град. нормативную нагрузку на крепь необходимо увеличивать в два раза [7].

При ведении подготовительных работ в крутонаклонной части пластов

30 и 29а предлагается проведение монтажных камер, сбоек, диагональных сбоек (разрезных печей) с углами наклона до 45° сверху вниз. Проведение выработок с углами наклона до 25° предусматривается осуществлять с помощью проходческих комбайнов типа КП-21, оснащенных устройствами для удержания комбайна на данных углах заводского изготовления «Копейского машиностроительного завода».

Выработки с углом наклона до 45° по протяженности не превышают 100 м. Проведение данных выработок предусматривается осуществлять после проведения параллельных выработок (штреков). Транспортировку отбитой горной массы предусматривается осуществлять в выработках до 35° с помощью скребковых конвейеров СР-70, а при углах наклона от 35° до 45° транспорт горной массы предусматривается осуществлять по действием силы тяжести (самотечный способ). Для этого предусматривается с нижнего штрека пробурить скважину диаметром 500-800 мм.

Геомеханическое обоснование стабильной и безопасной работы очистного забоя с использованием численного моделирования и прогнозирования [7-10] при отработке крутонаклонной части угольных пластов позволит угольным предприятиям выйти на проектные показатели.

Наиболее перспективной технологией при отработке крутонаклонной части угольных пластов средней мощности будет являться технология с диагональным расположением линии очистного забоя с управлением горным давлением самопередвигающимися крепями при этом верхняя часть лавы опережает нижнюю.

Увеличение срока службы шахт возможно за счет отработки запасов наклонных и крутонаклонных частей угольных пластов с применением новых методов ведения горных работ, что потребует серьезной научной поддержки.

Библиографический список

1. Угольная база России. В 6-ти т. Т. 2: Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. – М.: ООО Геоинформцентр, 2003.– 604 с.
2. Анферов Б.А. Проблемы добычи коксующихся углей из крутонаклонных пластов и способы их решения / Б.А. Анферов, В.М. Станкус, Л.В. Кузнецова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2007. - Вып.10. - №12. - С. 256-266.
3. Анферов Б.А. Геотехнологическое обоснование эффективной комплексно-механизированной разработки крутонаклонных угольных пластов / Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2008. - №1. - С. 15-19.
4. Абрамкин Н.И. Обоснование направлений комплексной механизации очистных работ на наклонных угольных пластах средней мощности в горно- геологических условиях на шахте «Куангхань» / Н.И. Абрамкин, Фам Дик Тханг // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017. - №1. - С. 202-209.

5. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев / Ю.А. Коровкин, П.Ф. Савченко. – М. : Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.

6. Технический проект доработки запасов геологического участка «Есаульский 3-4» Байдаевского месторождения в лицензионных границах шахты «Большевик». Дополнение №14». - Кемерово, 2023 г.

7. Павлова Л.Д., Фрянов В.Н. Алгоритм численной оценки эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок на наклонных угольных пластах / Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2023: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 12-14 декабря 2023 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2023. – С. 208-210.

8. 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.

9. 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.

10. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли / Ю.М. Говорухин, С.В. Риб, А.М. Никитина, В.Н. Фрянов // Горный журнал. - 2019. - №4. - С. 23 - 26.

IV ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 614.8.086

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВБЛИЗИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ЛАЭС)

Спицын М.А., Темлянцева Е.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, e-mail: mixanika2017@rambler.ru*

В данной статье рассмотрены изучение и анализ производственного экологического контроля и мониторинга окружающей среды в Северо-Западном регионе России.

Ключевые слова: контроль и мониторинг, защита окружающая среда, химические выбросы, атом, ядерная энергетика, Росатом, безопасность.

Ленинградская атомная электростанция (ЛАЭС) является одним из крупнейших объектов атомной энергетики в России, играющим ключевую роль в обеспечении электроэнергией северо-западного региона страны. ЛАЭС строго соблюдает законодательство Российской Федерации по охране окружающей среды и осуществляет контроль и мониторинг радиационного, химического и биологического состояния на своей территории. Эти меры проводятся в границах станции, включающих санитарно-защитные зоны блоков РБМК-1000 (с радиусом 1,5 км) и блоков ВВЭР-1200 (ограниченной промышленной зоной), а также в зоне наблюдения с радиусом 17 км [2].

Одним из ключевых аспектов экологического мониторинга на ЛАЭС является контроль за выбросами радиоактивных веществ и других загрязняющих веществ в атмосферу. Для этого используются специализированные системы мониторинга и дозиметрии, которые позволяют оперативно отслеживать уровень радиационной обстановки и принимать меры по предотвращению загрязнения окружающей среды.

Система дистанционного дозиметрического мониторинга АСКРО на Ленинградской АЭС обеспечивает оперативное измерение уровня гамма-излучения на границе станции, в защитных зонах и зоне наблюдения. Она состоит из специализированных приборов и программного обеспечения, позволяющих непрерывно контролировать радиационную обстановку.

Эти данные позволяют оперативно отслеживать радиационную обстановку на границе площадки станции, в защитных зонах и зоне наблюдения. Полученная информация используется для реагирования на изменения в радиационной обстановке и принятия необходимых мер по обеспечению без-

опасности (рисунок 1).

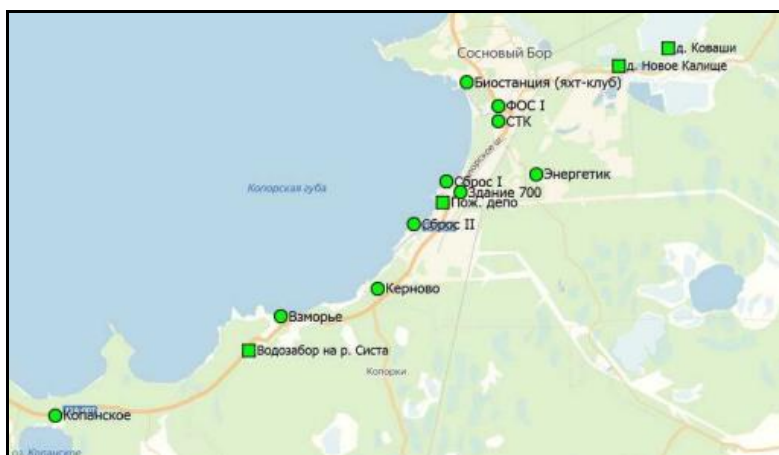


Рисунок 1 - Санитарно-защитная зона и зона наблюдений Ленинградской АЭС, расположение постов АСКРО

Предметом мониторинга и контроля являются источники воздействия вредных химических и радиоактивных веществ, а также элементы окружающей среды: стоки и водные объекты, выбросы в атмосферу и воздух, промышленные отходы, почвы, донные отложения и природоохранное оборудование. В настоящее время производится систематический исследовательский анализ природоохранительных мероприятий в соответствии с установленными экологическими нормами и требованиями. Эти нормы регулируют различные аспекты эксплуатации природных ресурсов, как показано на рисунке 2 [1].



Рисунок 2- Виды производственного экологического контроля на АЭС

Мониторинг отдельных компонентов окружающей среды осуществляется на основании лицензии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Этот мониторинг позволяет отслеживать уровень загрязнения воздуха, воды, почвы, а также радиационную обстановку в районе атомной станции

Полученные данные используются для оценки воздействия деятельности станции на окружающую среду и здоровье людей, а также для принятия мер по снижению негативных последствий.

Результаты мониторинга состояния водных объектов и атмосферного воздуха представлены в таблицах 1 и 2 соответственно [3].

Таблица 1 – Результаты мониторинга состояния Финского залива, мг/дм³

Наименование показателя	Концентрация, мг/дм ³					ПДК, мг/дм ³
	2018	2019	2020	2021	2022	
рН	8,17	8,22	8,28	7,93	7,97	6,5-8,5
Взвешенные вещества	3,11	1,62	3,51	2,24	1,47	10,25
Сухой остаток	3609	3387	3251	3296	3206	не норм.
Хлорид-ионы	1644	1601	1484	1515	1502	не норм.
Ион аммония	0,17	0,08	0,07	0,11	0,11	0,5
ХПК	19,9	18,6	20,7	22,5	27,7	30
БПКп	1,6	2,5	2,9	2,0	1,7	4,0
Нефтепродукты	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05

Таблица 2 - Результаты мониторинга состояния атмосферного воздуха на границе СЗЗ, мг/дм³

Наименование показателя	Концентрация, мг/дм ³					ПДК, мг/дм ³
	2018	2019	2020	2021	2022	
Взвешенные вещества	-	<0,09	<0,09	<0,04	<0,075	0,5 / 0,15
Азота диоксид	-	<0,013	<0,024	<0,02	<0,02	0,2 / 0,04
Азот оксид	-	<0,036	<0,036	<0,03	<0,03	0,4 / 0,06
Серы диоксид	-	<0,03	<0,03	<0,025	<0,025	0,5 / 0,05
Сероводород (дигидросульфид)	-	<0,0048	<0,0048	<0,004	<0,004	0,008 / -
Углерод оксид	-	<0,6	<0,6	<2,0	<1,5	5 / 3
Масло минеральное нефтяное	-	<0,025	<0,025	-	<0,025	0,05 / -
Железо и его соединения	-	<0,02	<0,00125	-	-	- / 0,04

Отделы радиационной безопасности на Ленинградской АЭС проводят контроль за радиацией с помощью различных лабораторий и служб, соблюдая все соответствующие нормы и правила.

Результаты долгосрочных наблюдений свидетельствуют о отсутствии значительного воздействия Ленинградской АЭС на окружающую среду за всё время её эксплуатации [4].

Несмотря на то, что Ленинградская атомная электростанция соблюдает все требования по экологической безопасности и проводит регулярный мониторинг окружающей среды, необходимо постоянное совершенствование системы экологического контроля и внедрение новых технологий для минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В заключение отметим что, изучение и анализ производственного экологического контроля на Ленинградской атомной электростанции имеет большое значение для обеспечения экологической безопасности региона и сохранения здоровья его жителей.

Информация, полученная в данной статье, может послужить основой для разработки дальнейших действий по улучшению экологической обстановки в районе атомной станции и повышению благосостояния местного населения.

Библиографический список

1. Российский энергетический атом (Росатом) [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-leningradskoy-aes/ (дата обращения 26.03.2024).

2. Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://xnbtb4bfrm9d.xn--p1ai/about/overview/> (дата обращения 27.03.2024).

3. Российский энергетический атом [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-leningradskoy-aes/bezopasnost-i-ekologiya/ (дата обращения 26.03.2024).

4. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru/odu-northwest/odu-northwest-zone/znachimye-ehnergoobekty/leningradskaja-aehs/> (дата обращения 27.03.2024).

ИЗУЧЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И РАДИОНУКЛИДОВ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ЛАЭС): ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Спицын М.А., Темлянцева Е.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, e-mail: mixanika2017@rambler.ru*

В данном исследовании были изучены выбросы опасных химических веществ и радионуклидов на Ленинградской атомной электростанции с целью оценки их воздействия на окружающую среду. Также были разработаны и предложены рекомендации по уменьшению отрицательного влияния на экосистему и здоровье человека.

Ключевые слова: химические вещества, радионуклиды, радиация, здоровье человека, выбросы веществ, безопасность, окружающая среда.

В современном мире атомная энергетика является одним из ключевых источников электроэнергии, обеспечивая потребности общества в энерго-снабжении. Однако, сопутствующие выбросы вредных химических веществ и радионуклидов, особенно на атомных электростанциях, вызывают серьезную обеспокоенность среди экологов и общественности. Ленинградская атомная электростанция (ЛАЭС) не является исключением, и ее воздействие на окружающую среду требует серьезного изучения и оценки.

Фактический общий выброс загрязняющих веществ в атмосферу в 2022 году составил 225 тонн, что на 30 тонн меньше по сравнению с 2021 годом (рисунок 1) [1].

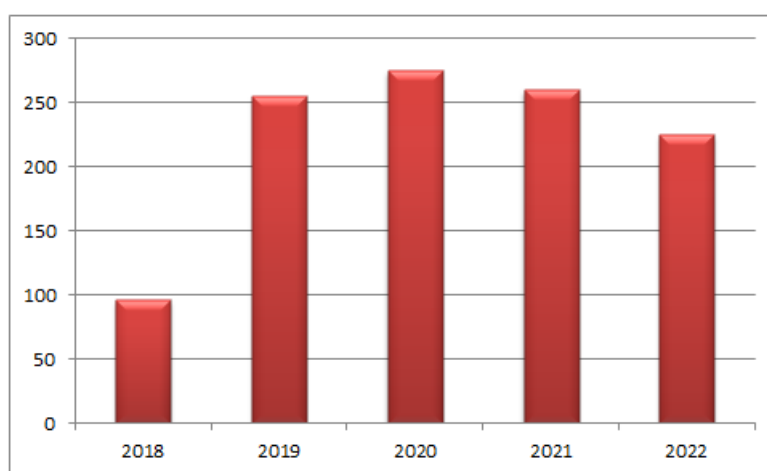


Рисунок 1- Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, т/год

Согласно полученным данным, не было обнаружено превышение установленных нормативов

Основные источники выбросов вредных веществ в атмосферу включают выбросы башенных испарительных градирен блоков ВВЭР-1200, дизель-генераторных установок и котельных на территории СП "Копанское" (таблица 1).

Нормы выбросов на основной площадке Ленинградской АЭС определены в Декларации об оценке воздействия на окружающую среду для основной площадки филиала АО «Концерн Росэнергоатом» действительны до 22.07.2026 года. [2].

В 2022 году для Ленинградской атомной электростанции были установлены стандарты допустимых выбросов радионуклидов в атмосферу в соответствии с нормативами предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в воздушную среду. [3].

Таблица 1 - Динамика выбросов радионуклидов в атмосферный воздух

Радионуклид	Период полураспада	% от допустимого выброса				Динамика
		2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	
³ H	12,3 года	0,05	0,08	0,07	0,12	↑
¹⁴ C5	600 лет	18,11	10,16	7,36	5,81	↓
⁴¹ Ar	110 мин	4,80	3,00	4,70	6,57	↑
^{85m} Kr	107 лет	0,11	0,15	0,19	0,22	↑
⁸⁷ Kr	76,3 мин	0,31	0,56	0,74	0,80	↑
⁸⁸ Kr	2,84 часа	1,09	2,00	2,40	2,48	↑
¹³³ Xe	5,3 дня	0,28	0,36	0,32	2,81	↑
¹³⁵ Xe	9,14 часа	0,17	0,27	0,28	0,37	↑
^{135m} Xe	15,3 мин	0,23	0,05	0,05	0,05	↓
¹³⁸ Xe	14,1 мин	0,39	0,05	0,05	0,05	↓
²⁴ Na	15,3 час	0,0005	0,0003	0,002	0,005	↑
⁵⁴ Mn	310 дней	0,01	0,01	0,001	0,0003	↓
⁵⁹ Fe	45 суток	0,0009	0,0004	0	0	↓
⁶⁰ Co	5,3 года	2,27	5,91	4,08	3,70	↓
⁶⁵ Zn	246,4 дня	0,004	0,003	0	0	↓
⁹⁵ Zr	64,05 суток	0,004	0,002	0,0003	0,0002	↓
¹³⁴ Cs	2,06 года	3,14	10,72	15,00	14,14	↑
¹³⁷ Cs	30,17 года	1,87	5,04	5,82	5,12	↑
¹³¹ I	8 суток	0,25	0,28	0,29	0,33	↑

В ходе исследования выбросов вредных химических веществ и радионуклидов на Ленинградской атомной электростанции было выявлено, что данное предприятие оказывает значительное воздействие на окружающую среду.

Высокие уровни выбросов могут негативно сказываться на здоровье человека и экосистеме в целом и привести к ухудшению качества воздуха, воды и почвы, а также повышению уровня радиационного загрязнения.

Результаты исследования предполагается использовать для разработки рекомендаций по улучшению экологической безопасности Ленинградской атомной электростанции и обеспечения устойчивого развития энергетического комплекса.

Для уменьшения негативного воздействия необходимо принимать целенаправленные меры, такие как сокращение выбросов вредных веществ, улучшение технологических процессов, повышение эффективности систем очистки и строгое соблюдение экологических стандартов [4].

Рекомендации по уменьшению негативного воздействия:

1. Внедрение современных технологий очистки выбросов, подразумевает использование различных фильтров, абсорберов, катализаторов и других средств для уменьшения выбросов вредных веществ.

2. Улучшение производственных процессов позволяет сократить использование ресурсов, повысить энергоэффективность для уменьшения объемов отходов.

3. Дополнительное обучение или переобучение сотрудников для соблюдения экологических норм (контроль за обеспечением соответствия производственных процессов требованиям законодательства в области охраны окружающей среды).

4. Взаимодействие с общественностью (детально информировать население о влиянии выбросов на окружающую среду и здоровье человека, а также проведение общественных слушаний и мероприятий с жителями).

Применение этих рекомендаций позволит сократить негативное воздействие ЛАЭС на окружающую среду и способствовать сохранению экологического баланса в регионе.

Библиографический список

1. Российский энергетический атом (Росатом) [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-leningradskoy-aes/ (дата обращения 03.04.2024).

2. Приказ Ростехнадзора от 28 декабря 2000 г. № 15 "Об утверждении и введении в действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "Требования к отчету по обоснованию безопасности ядерных энергетических установок судов" [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_369580/

3. Российский энергетический атом [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-leningradskoy-aes/bezopasnost-i-ekologiya/ (дата обращения 02.04.2024).

4. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru/odu-northwest/odu-northwest-zone/znachimye-ehnergoobekty/leningradskaja-aehs/> (дата обращения 03.04.2024).

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПАО «НК «РОСНЕФТЬ»: СТАТИСТИКА И МЕРЫ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ В КОМПАНИИ

Родина А.Д., Тюкалова О.В.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск., e-mail: vot5mkojr7wqhe3@mail.ru*

В Российской Федерации число работников, погибших и пострадавших при выполнении должностных обязанностей по-прежнему исчисляется тысячами. На сегодняшний момент для предприятий, занимающихся добычей и реализацией нефти и газа принципиально важным, остается вопрос безопасности и охраны труда на предприятии. Охрана труда и безопасность на предприятии позиционируют компанию как надежного работодателя.

Ключевые слова: компания, безопасность, охрана труда, нефть, травматизм, статистика.

По результатам Роструда за 2022 год несчастных случаев на производстве зарегистрировано 4639 имеющих тяжелые последствия для пострадавших, а 991 из них закончились смертельным исходом. В связи с этим усовершенствование мер безопасности в сфере нефтяной отрасли является высоко значимой задачей для экономики и населения [2].

Нефтяная компания ПАО «НК«РОСНЕФТЬ» является одной из лидеров данной отрасли. Основными видами деятельности являются поиск и разведка месторождений углеводородов, добыча нефти, газа, газового конденсата, реализация проектов по освоению морских месторождений, переработка добытого сырья, реализация нефти, газа и продуктов их переработки на территории России и за ее пределами. Компания включена в перечень стратегических предприятий России.

Под безопасностью в нефтяной сфере понимается защита работников и безопасные условия труда для реализаций планов и целей компании [4]. Цель безопасности заключается в нескольких пунктах, а именно:

1. Сокращение производственных рисков.
2. Снижение вероятности возникновения несчастных случаев на производстве [5].
3. Уменьшение затрат на медицинское обслуживание и компенсации [1].

О безопасности говорится и в ценностях компании. Четвертая ценность заключается в безопасности как важнейшем приоритете сохранения жизни и здоровья сотрудников обеспечении безопасности труда работников и окружающей среды.

В статье мы проанализировали статистику травматизма, смертности на предприятии. Травматизмом является травмы определенного круга людей,

которые находятся в определенных условиях. По итогам подсчета число травм на предприятии ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» составило 576 происшествий. Из них травмы легкой степени тяжести оказались у 503 работников, 53 человек получили тяжелую степень, смертельных случаев за 2023 год насчитывается 20 [6].



Рисунок 1 – Степень травматизма на предприятии

На основании итогов статистики по травматизму на предприятии ПАО «НК«РОСНЕФТЬ» можно отметить большой объем травматизма легкой степени. Под эту категорию попадают ссадины, царапины, небольшие ушибы и другие травмы, которые не влекут за собой серьезных сбоев в организме человека, но необходимость в обращении к врачу имеется. Несмотря на легкие повреждения, сотрудника могут поместить на амбулаторное лечение с целью дальнейшего лечения.

Также следует отметить, что снизилась смертность в соотношении 2022 и 2023 года. В 2022 году смертность на предприятии составила 31 человек из них 27 несчастных случаев со смертельным исходом, 3 инцидента из-за невнимательности работника, 1 случай по вине руководства. В 2023 году - 20 человек из них 17 несчастных случаев со смертельным исходом и 3 случая из-за невнимательности работника. Смертность на предприятии по итогам 2023 года уменьшилась на 35 %.

Была собрана судебная статистика по делам связанные с смертельными случаями [3].

Таблица 1 - Количество пострадавших со смертельным исходом

Наименование категории	Количество
Количество пострадавших со смертельным исходом (данные включают как единичные случаи ,так и групповые)	20
Количество несчастных случаев со смертельным исходом	17
Уголовные дела не возбуждались	7
Уголовное дело возбуждалось	10
Применены меры уголовной ответственности	2

Исходя из анализа можно отметить, что смертельных случаев на предприятии становится меньше. В 2022 году был зафиксирован 31 смертельный случай. На 2023 год количество смертельных исходов уменьшилось на 35%.

В ПАО «НК «Роснефть» функции контроля в области безопасности труда проводит:

1. Департамент контроля по вопросам ПБОТОС для обеспечения единства и независимости подходов.

2. Создана и функционирует комиссия в области безопасности, в полномочия которой входит рассмотрение результатов проведенных контрольных мероприятий с принятием оптимальных решений для устранения выявленных нарушений. При этом особое внимание уделяется устранению системных нарушений, а также нарушений, имеющих высокий и критичный уровень потенциального риска развития аварийных ситуаций.

Нами были проанализированы меры, которыми пользуется компания для снижения аварийности. Ими оказались меры:

1. Стратегия «РОСНЕФТЬ-2022» внедрила и успешно применяет Интегрированную систему управления промышленной безопасностью, охраной труда и окружающей среды.

2. Памятка «Золотые правила безопасности труда» доводится до работников ПАО «НК «Роснефть» и подрядных организаций в ходе проведения инструктажа, размещение текста памятки на информационных стендах, для ознакомления или демонстрация презентационных материалов на совещаниях по ПБОТОС;

3. Проведение ежегодных лекций с целью обучения сотрудников в области безопасности труда. Обучение заканчивается устной проверкой навыков и знаний безопасных приемов работы, приобретенных работником. Сотрудники, которые показали неудовлетворительные знания по безопасности труда к работе не допускаются.

4. При трудоустройстве на работу сотруднику проводят первичный инструктаж техники безопасности.

5. Внеплановые инструктажи проводят, если вводятся в действие новые или изменяются старые стандарты работы в области безопасности.

В завершении хотелось отметить какими факторами безопасности труда можно снизить производственный травматизм. На основании правил охраны труда, производственный травматизм снижаем при условиях:

Снижение производственного травматизма возможно только при соблюдении всех правил охраны труда:

1. безопасное исправное производственное оборудование;
2. максимальная автоматизация производства и внедрение дистанционного управления, исключающее неверные операции;
3. периодическое тестирование оборудования на наличие неполадок и его техническое обслуживание;
4. применение индивидуальных средств защиты;
5. правильное освещение рабочего помещения;

6. вентиляцию помещений, очистку воздуха от вредных примесей;
7. использование в производстве безвредных или маловредных веществ и материалов как альтернативу более вредным;
8. соблюдение чистоты на рабочих места и на производстве в целом.
9. соблюдение трудового законодательства;
10. применение предупредительных надписей и знаков [2].

Подводя итог следует сказать, что травматизм на предприятии, это серьезное упущение со стороны руководителей или игнорирование правил работников. В статье были перечислены меры для снижения травматизма, данные меры помогут снизить показатель травматизма на предприятии.

Библиографический список

1. Фалина Е. В. Способ снижения уровня травматизма на опасных производственных объектах/ Е. В. Фалина// Безопасность жизнедеятельности. – 2010 – № 2 – с. 5–8.

2. Кузьмина, О. В. Снижение уровня производственного травматизма в исследуемой организации / О. В. Кузьмина, А. К. Исакова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 26 (130). – С. 55-58. – URL: <https://moluch.ru/archive/130/35971/> (дата обращения: 06.03.2024).

3. Шапошникова Т.В., Волошина Е.А. Безопасность жизнедеятельности на производстве: учебное пособие. - М.: ИД Юрайт, 2019. - 240 с. ISBN 978-5-9916-8963-5.

4. Ванифатова Е.В., Черкасов С.В. Основы безопасности жизнедеятельности и пожарной безопасности: учебное пособие. - М.: Флинта, Наука, 2018. - 288 с. ISBN 978-5-9765-2381-2.

5. Маковский В. В. Организация безопасности предприятия: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2017. - 304 с. ISBN 978-5-4461-1107-8.

6. Электронный ресурс- Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/> свободный.- Официальный сайт ПАО «РОСНЕФТЬ».

УДК 65.015.3

АНАЛИЗ ВОПРОСА БЕЗОПАСНОСТИ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Горячева А. К., Тюкалова О.В.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск., e-mail: goryachevaangeli03@br.ru*

Вопрос безопасности в высших учебных заведениях на сегодняшний момент являются важной тенденцией спокойствия студентов преподавателей и родителей. Безопасная обстановка влияет на социальное и психологическое состояние студентов, преподавательского состава и администрации институтов. В статье рассмотрены требования, которые относятся к безопасности жизнедеятельности в стенах высших учебных заведениях.

Ключевые слова: студенты, преподаватели, статистика, новшество, безопасность, институт.

Институт является субъектом образовательной структуры высшего образования. Одной из задач которой ставит перед собой институт является безопасное и комфортное нахождение студентов и педагогов в стенах учебного учреждения. Создав социально безопасную среду, сотрудники образовательного учреждения способствуют минимализации конфликтов среди студентов.

В настоящее время серьезное внимание уделяется обеспечению комплексной безопасности образовательных организаций, привлекаются значительные финансовые и материальные ресурсы, внедряются новейшие системы видеонаблюдения, информационные технологии систем контроля и управления доступом. Обеспечение комплексной безопасности образовательного пространства является сложнейшей научно-технической задачей, которая требует консолидации усилий специалистов из различных областей.

Вопросом безопасности в большинстве образовательных учреждениях занимаются различные субъекты образования, обеспечивая и оснащая институт как технически, так и психологически. Речь идет о том, что психологически безопасная среда – также является залогом здоровья детей, что доказано на примере научных исследований.

По данным пресс-службы зампреда правительства России на 2023 год студентов в Российской Федерации насчитывается более 4 млн человек, данная цифра показывает важность подхода безопасности как в институтах, так и в общежитиях при учебном заведении [2].

Говоря о безопасности в первую очередь, мы подразумеваем комплексный подход, на сегодняшний момент комплекс мероприятий по безопасности в институте сводится к следующим действиям:

1. Физическая охрана высшего учебного заведения и территории института. К должностным обязанностям сотрудников охранного предприятия относят:

1. Пропускной режим.
2. Защита от насильственных действий.
3. Обеспечение инженерно-технической укрепленности.
4. Установка охранной сигнализации, тревожной кнопки, видеонаблюдения.
5. Ежегодная работа по вопросу антитеррористической защищенности института.
6. Организация контрольно-пропускного режима. Выполнение норм пожарной безопасности.
7. Выполнение стандартов охраны труда.
8. Ежегодная работа в сфере гражданской обороны.
9. Совместная работа с органами внутренних дел.
10. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности.

В 2023 году исследования платформы "Неравнодушный человек" совместно с Минобрнауки Российской Федерации и комитетом Государственной думы по молодежной политике был произведен опрос российских студентов на предмет удовлетворенности безопасностью в своих вузах [1].

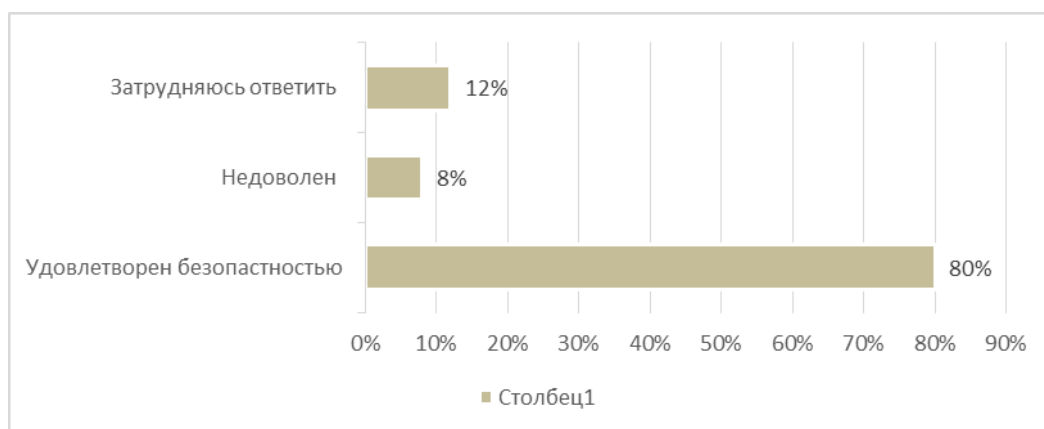


Рисунок 1 – Результаты опроса

В исследовании приняли участие 12 833 студента старше 18 лет во всех регионах РФ. "Условиями безопасности в учебных заведениях удовлетворены большинство опрошенных российских студентов (82 %), недовольны – 8 %, 12 % затрудняются ответить.

Также был проведен опрос удовлетворенности безопасностью в ФГБОУ ВО ИРНИТУ. В опросе приняли участие 100 студентов института высоких технологий. Первоначальным этапом опроса стала разработка анкеты для студентов. Анкета опроса состояла из двух вопросов:

1. Удовлетворены ли Вы мерами безопасности в стенах учебного заведения?
2. Нужно ли усовершенствовать безопасность в ФГБОУ ВО ИРНИТУ?

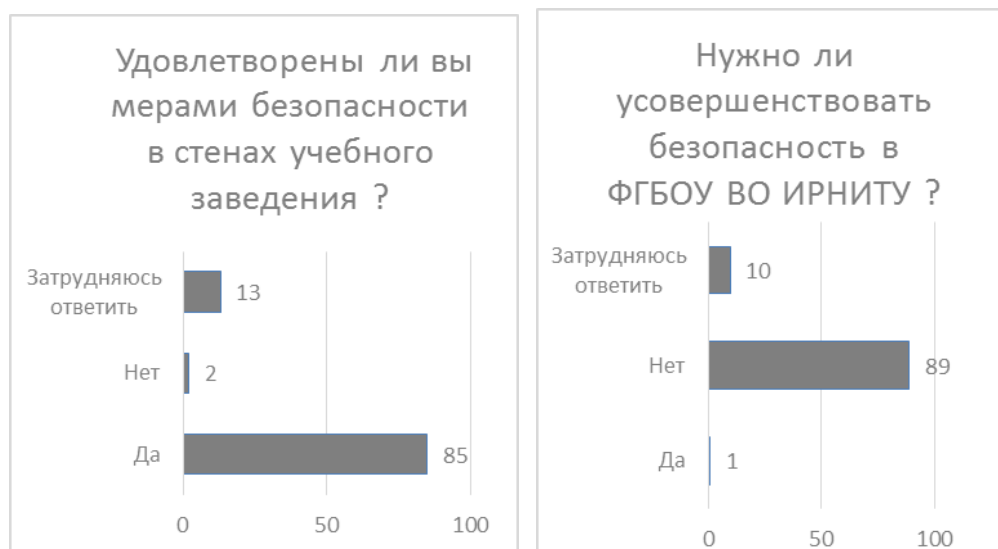


Рисунок 2 – Полученные результаты опроса студентов ФГБОУ ВО ИРНИТУ

Результаты проведенного исследования в ФГБОУ ВО ИРНИТУ показали, что в вопросе удовлетворенности мер безопасности 85 % студентов отметили хороший уровень и довольны безопасностью в стенах университета. Неудовлетворенными оказались 2% студентов, в пояснении они уточнили, что желали бы чуть больше охранников в университете.

Также 89 % опрошенных указали, что не хотят усовершенствовать систему безопасности в институте.

Подводя итог важно отметить, что безопасность в стенах учебного заведения в первую очередь отражает социальное и психологическое состояние института, а также его статус, чем больше внимания мы будем уделять безопасности, тем спокойней и уверенней будет наша жизнь [6].

Библиографический список

1. Ассоциация «Эталон» [Электронный ресурс.]: офиц. сайт. URL: <https://www.aetalon.ru/> (Дата обращения 23.02.2024).

2. Магид К. «Умные технологии» в охране труда: новейшие тенденции [Электронный ресурс.] // Про труд. – 2018. URL: <http://protrud.info/articles/oborudovanie-i-tekhnologii/umnyetekhnologii-v-okhranetruda-noveyshie-tendentsii.php/> (Дата обращения 23.02.2023).

3. Секачева Л.М., Овчаров А.И., Касьянова Т.И. Инновации в обучении охране труда: Проблемы внедрения [Электронный ресурс.] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. URL: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=5853> (Дата обращения 10.02.2024).

4. Смирнова И.Ф., Попов С.А. Безопасность образовательной деятельности: учебное пособие. - М.: Дрофа, 2019. - 208 с. ISBN 978-5-358-16196-4.

5. Черненко Н.Г., Казанцева Е.А. Охрана жизни и здоровья в образовательных учреждениях: учебно-методическое пособие. - М.: Академия, 2020. - 176 с. ISBN 978-5-4461-1112-2.

6. Безопасная образовательная среда: учебное пособие / Под ред. Хабибулиной Л.Г. - М.: Проспект, 2018. - 224 с. ISBN 978-5-3970-0950-8.

УДК 504

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРЫ Г. НОВОКУЗНЕЦКА

**Маракулина М.Ю., Удовицкий В.А., Гибадуллин Р.М.,
Ванюгин И.В., Водолеев А.С.,**

*Сибирский государственной индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail:marina_marakulina@mail.ru*

В данной работе представлены результаты состояния окружающей среды города Новокузнецка по материалам, предоставленным Новокузнецкой гидрометобсерваторией, территориальным отделом Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополу-

чия человека по Кемеровской области-Кузбассу в городе Новокузнецке и Новокузнецком районе, Комитетом градостроительства и земельных ресурсов администрации города Новокузнецка, городскими вузами и другими организациями, для обеспечения жителей города и всех заинтересованных лиц объективной, систематизированной информацией о состоянии окружающей среды города Новокузнецка за период 2018-2022 годы.

Ключевые слова: АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат», АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод», АО «Кузнецкие ферросплавы», Заводской район, Центральный район, Кузнецкий район, окружающая среда.

Сегодня Новокузнецк является крупнейшим промышленным центром Западной Сибири с ярко выраженной специализацией – металлургическое производство, добыча угля, промышленное и гражданское строительство. На территории Новокузнецка функционируют промышленные предприятия различных форм собственности, из них одни из ведущих и крупнейших в своих отраслях – АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат», АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод», АО «Кузнецкие ферросплавы». Высокий промышленный потенциал города имеет обратную сторону – напряженную экологическую ситуацию. Для обеспечения местных органов управления, научных и общественных организаций, а также населения города Новокузнецка систематизированной информацией о качестве окружающей среды, состоянии природных ресурсов и тенденций их изменения под влиянием хозяйственной деятельности ежегодно готовится доклад «О состоянии окружающей среды города Новокузнецка».

Город Новокузнецк характеризуется резко континентальным климатом со значительными годовыми и суточными колебаниями температур. Это обусловлено не только региональным положением города в Кузнецкой котловине юго-западной части Западной Сибири в центре Азиатского материка, но и его приуроченностью к зоне сочленения Кузнецкой впадины с горными массивами Кузнецкого Алатау, Горной Шории и Салаира.

Существенное влияние на климат г. Новокузнецка также оказывает пространственная ориентировка основных геоморфологических элементов, в первую очередь – речных долин и водоразделов: река Томь подходит к городу с северо-востока, затем течет на запад в широтном направлении, а в центре города резко поворачивает на север, северо-восток; река Кондома подходит к городу с юга, с предгорий Горной Шории, а река Аба – с запада, со стороны Салаирского кряжа.

В холодный период года котловина в основном находится под влиянием западного острога Сибирского антициклона. Для зимы характерны сильные морозы, обусловленные ночным выхолаживанием при ясной антициклональной погоде и стоком холодного воздуха в пониженные формы релье-

фа. Среднегодовая температура воздуха $+0,8^{\circ}\text{C}$. В среднем насчитывается 280 солнечных дней в году. Средняя продолжительность теплого периода года составляет 123 дня.

Город расположен в зоне достаточного увлажнения. В среднем выпадает около 600 мм осадков, причем около 450 мм приходится на теплый период. Продолжительность снежного покрова около 160 дней. Средняя глубина промерзания почвы на территории города составляет около 190 см. Преобладающее направление ветров южное и юго-западное. Среднегодовая скорость ветров – 2,3 м/сек, что способствует выносу загрязненного воздуха за пределы города. В то же время повторяемость штилевой погоды составляет 25 %.

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводятся на восьми стационарных постах Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды. Наблюдения на постах и анализ проб проводятся Комплексной лабораторией Новокузнецкой гидрометеорологической обсерватории во всех районах города по основным загрязняющим веществам: оксидам азота, диоксиду серы, монооксиду углерода, взвешенным веществам, бенз(а)пирену, саже, а также специфическим примесям: фтористому водороду, аммиаку, формальдегиду, фенолу, сероводороду, цианистому водороду, металлам [1].

Посты подразделяются на «городские фоновые» в жилых районах (посты 2, 9, 22), «промышленные» вблизи промышленных предприятий (посты 10, 18, 19, 23) и «авто» вблизи автомагистралей с интенсивным движением транспорта (таблица 1).

Таблица 1 – Посты наблюдения за атмосферным воздухом

№ п/п	№ поста наблюдения	Место расположения
1	ПНЗ-2	ул. Тольятти, 29
2	ПНЗ-9	ул. Тореза, 61
3	ПНЗ-10	ул. Обнорского, 32
4	ПНЗ-16	ул. Кугузова, 43
5	ПНЗ-18	ул. Кирова, 7
6	ПНЗ-19	ул. К.Маркса
7	ПНЗ-22	ул. Новоселов, 15
8	ПНЗ-23	ул. Шахтеров, 2

В 2022 году Комплексная лаборатория по мониторингу загрязнения окружающей среды перешла на измерения концентраций загрязняющих примесей с использованием газоанализаторов по государственной программе «Чистый воздух». В непрерывном режиме проводятся наблюдения за оксидами азота, углерода, серы, аммиаком, сероводородом, озоном, взвешенными частицами $\text{PM}_{2,5}$ и PM_{10} .

Это дало возможность регистрировать уровень загрязнения атмосферы города в течение суток во всех районах города. Наблюдения за содержанием

в атмосферном воздухе г. Новокузнецка озона, взвешенных частиц РМ 2,5 и РМ 10 в предыдущие годы не проводилось.

По данным наблюдений на стационарных постах атмосфера города более всего загрязнена бенз(а)пиреном: средняя за 2022 год концентрация бенз(а)пирена на постах Новокузнецка 11,2 ПДК.

Наиболее загрязнена этой примесью атмосфера Кузнецкого района, где средняя концентрация составила 13,5 ПДК. Средняя за 2022 год концентрация фтористого водорода 0,9 ПДК.

Максимальная из разовых концентрация – 3,9 ПДК, наибольшая повторяемость проб – 8,3 % зарегистрирована в Центральном районе. Средняя за 2021 год концентрация фторида водорода 1,2 ПДК.

Максимальная из разовых концентрация – 4,4 ПДК зарегистрирована в Центральном районе, наибольшая повторяемость проб выше ПДК – 11,9 % отмечена в Центральном районе. Средняя за 2022 год концентрация формальдегида 3,4 ПДК.

Максимальная из разовых концентрация – 3,7 ПДК и наибольшая повторяемость проб – 16,7 % зарегистрированы в Орджоникидзевском районе.

Средняя за 2022 год концентрация взвешенных веществ 1,95 ПДК. Максимальная из разовых концентрация – 2,5 ПДК зарегистрирована в Центральном районе, наибольшая повторяемость проб – 2,7 % отмечена в Кузнецком районе.

Среднегодовая за 2022 год концентрация монооксида углерода ниже 1 ПДК. Максимальная из разовых концентрация – 6,0 ПДК и наибольшая повторяемость проб выше ПДК – 2,7 % отмечены в Центральном районе.

Средняя за 2022 год концентрация оксида азота не превышает 1 ПДК.

Максимальная из разовых концентрация – 3,5 ПДК отмечены в Центральном районе.

Средняя за 2022 год концентрация фенола ниже 1 ПДК. Максимальная из разовых концентрация – 1,0 ПДК зарегистрирована в Новоильинском районе. Средняя за 2022 год концентрация аммиака ниже 1 ПДК. Максимальная из разовых концентрация – 1,9 ПДК отмечены в Кузнецком районе.

Средняя за 2022 год концентрация диоксида серы ниже 1 ПДК. Максимальная из разовых концентрация – 1,1 ПДК.

Средняя за 2022 год концентрация сероводорода 1,4 ПДК. Максимальная из разовых концентрация – 35 ПДК и наибольшая повторяемость проб – 19,1 % отмечены в Центральном районе.

В 2022 году максимальная из разовых концентрация цианистого водорода 0,016 мг/м³ зарегистрирована в Заводском районе. В 2021 году максимальная из разовых концентрация цианистого водорода 0,033 мг/м³ отмечена в Центральном районе

Средняя за 2022 год концентрация взвешенных частиц РМ 2,5 2,1 ПДК. Максимальная из разовых концентрация 16,3 ПДК и наибольшая повторяемость проб – 17,9 % отмечены в Куйбышевском районе.

Средняя за 2022 год концентрация взвешенных частиц РМ 10 1,8 ПДК.

Максимальная из разовых концентрация 8,7 ПДК и наибольшая повторяемость проб – 9,9 % зарегистрированы в Куйбышевском районе. Загрязнение воздушного бассейна металлами невелико: максимальные концентрации из среднемесячных значений не превышают допустимые санитарные нормы.

По критериям Росгидромета уровень загрязнения атмосферы города оценивается как «очень высокий». Атмосферные осадки, выпадавшие в течение 2022 года, имели в 11 % случаев слабокислую, в 19 % случаев - равновесную, в 42 % случаев – нейтральную, в 28 % случаев – слабощелочную реакции. Атмосферные осадки, выпадавшие в 2021 году, имели в 16 % случаев слабокислую, в 36 % случаев – равновесную, в 37 % случаев – нейтральную, в 11 % случаев – слабощелочную реакции.

За период 2022 года обобщены отчетные данные 58 предприятий.

Обобщенные данные об изменении валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города от стационарных источников представлены в таблице 2.

В 2022 году в атмосферу города Новокузнецка было выброшено 263,2 тыс. тонн загрязняющих веществ 57 наименований.

Относительно 2021 года общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города уменьшилась на 5,1 тыс. тонн (рисунок 1).

Таблица 2 – Данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу

Наименование загрязняющего вещества	2018 год, тыс. т/год	2019 год, тыс. т/год	2020 год, тыс. т/год	2021 год, тыс. т/го	2022 год, тыс. т/год
Всего:	295,8	294,2	277,5	268,3	263,2
Из них					
Твердые, в том числе:	33,5	33,8	26,2	24,4	22,8
Сажа	1,5	1,6	1,6	1,8	1,6
Бенз(а)пирен	0,00009	0,00009	0,0004	0,0004	0,0003
Газообразные и жидкие, из них:					
Диоксид азота	17,6	17,1	14,7	14,5	12,3
Диоксид серы	51,4	47,3	43,5	40,3	42
Оксид углерода	182,9	185	181	179	175,5
Фтористый водород	0,42	0,4	0,4	0,32	0,26
Сероводород	0,1	0,11	0,15	0,12	0,12
Изопропиловый спирт	0,001	0,001	0,001	0,004	0,002
Фенол	0,164	0,125	0,133	0,132	0,131
Формальдегид	0,01	0,01	0,01	0,01	0,012
Цианистый водород	0,66	0,65	0,67	0,66	0,66
Аммиак	0,3	0,29	0,4	0,38	0,38
Метан	5,2	5,79	7,2	6,3	7
Прочие газообразные и жидкие	3,54	3,62	3,13	2,17	2,035

На уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города повлияло не только снижение производства продукции на предприятиях, реконструкция и консервация производственного оборудования и агрегатов, но и модернизация, и техническое перевооружение крупных предприятий вследствие реализации природоохранных мероприятий.

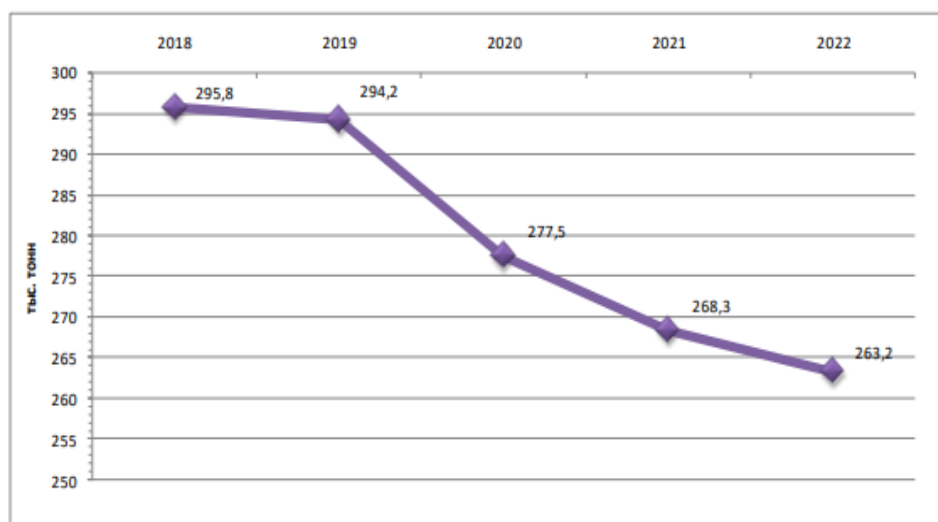


Рисунок 1 – Изменение общих валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Основную долю в общей массе городских выбросов в атмосферу составляют: монооксид углерода – 66,7 %; диоксид серы – 15,9 %; твердые вещества – 8,7 %; диоксид азота – 4,7 %; метан – 2,6 %. На долю остальных веществ приходится 1,4 %. Отношение объема загрязняющих веществ к доле в общей массе выбросов показано на рисунке 2.

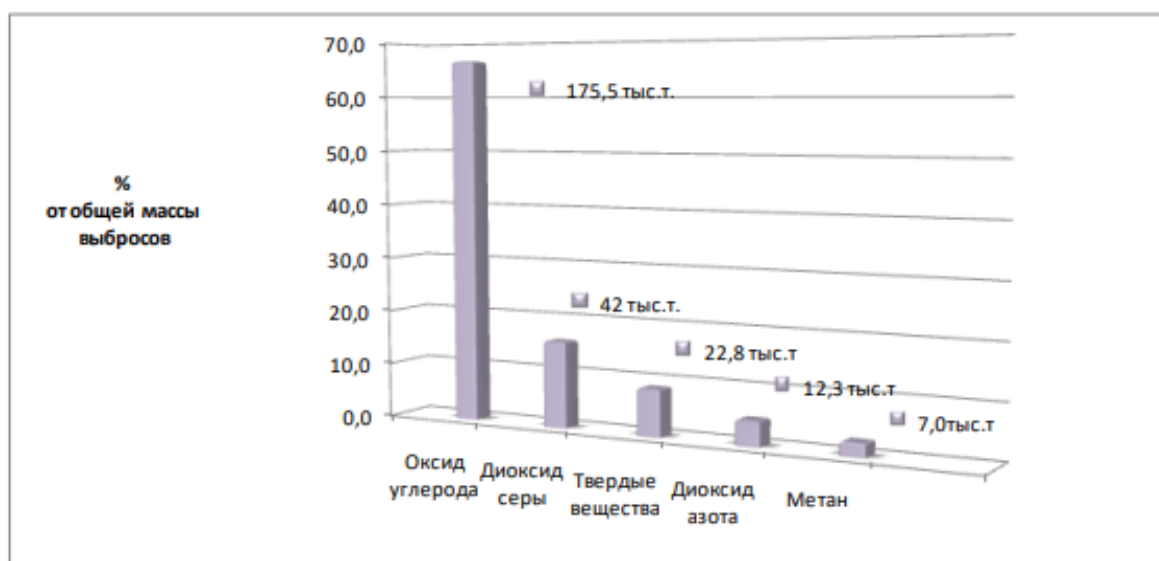


Рисунок 2 – Основная доля загрязняющих веществ в общей массе выбросов

Производственные мощности АО «ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК» расположены на двух площадках: строительного проката (Заводской район) и рельсового проката (Центральный район). Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу от источников АО «ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК», за 2022 год всего составило 215 493,5 тонн, в том числе: площадка строительного проката 213 626,1 тонн, рельсового проката 1 867,4 тонн.

Объем выбросов за отчетный период уменьшился на 4 710,1 тонн в сравнении с 2021 годом, что обусловлено снижением объемов производства.

Из поступивших на очистку уловлено и обезврежено 1 237 407,991 тонн вредных веществ, 523 636,536 тонн твердых веществ и 713 771,455 тонн жидких и газообразных. Количество стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на конец 2022 года составило 813, из них организованных – 617.

В 2022 году суммарные выбросы в атмосферу АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод» по сравнению с прошлым годом уменьшились на 585,3 тонн. Снижение достигнуто за счет перевода корпусов 7-8, 11-12 на технологию «Экологический Содерберг», внедрения в корпусах 9-10 технологии обожженного анода с переводом на электролизеры РА-167, а также внедрения в данные корпуса технологии «Экологический Содерберг».

Валовые выбросы загрязняющих веществ в отчетном году на АО «Кузнецкие ферросплавы» уменьшились на 159,7 тонн. Данное снижение связано с переводом закрытых печей в открытый тип и строительство газоочисток, кроме того проведены работы по ремонту газоочистного и аспирационного оборудования. На АО «Кузнецкая ТЭЦ» в 2022 году количество выбросов в атмосферу увеличилось на 249,6 тонн. Данный рост связан с увеличением количества сожженного топлива, а также с повышением содержания серы в угле.

Предприятием реализуются следующие мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ: ремонт золоулавливающих установок на всех котлоагрегатах; ремонт оборудования пылеприготовления.

Увеличение выбросов на 1,5 т/год в атмосферный воздух в результате производственной деятельности ООО «Абагурский карьер» за счет увеличения погрузочно-разгрузочных работ и выпуска готовой продукции. Общие валовые выбросы в атмосферу от АО «ЦОФ «Кузнецкая» за отчетный период составили 136,4 тонны, что на 124,2 тонны меньше, чем в 2021 году.

Снижение связано со снижением переработки и с изменением работы цеха сушки, кроме того проведены следующие работы: ремонт сушильных агрегатов №№2, 4; замены газоходы вторичного дутья, выполнен монтаж труб (дымовых, вентиляционных) и дымососа, замена растопочных труб в здании топок и обезвоживания, изготовлены и замены диспергационные решетки на скрубберах. Данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Изменения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от крупных промышленных предприятий

№	Наименование предприятия	2018 г., т/год	2019 г., т/год	2020 г., т/год	2021 г., т/год	2022 г., т/год
1	АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	248963,2	241084,3	226523,3	220203,6	215493,499
2	АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод»	14517,6	14458,4	14333	13999,5	13414,206
3	АО «Кузнецкая ТЭЦ»	8181,7	7481,6	6250,5	6358,3	6607,893
4	АО «Кузнецкие ферросплавы»	8686,7	8517,9	8340,8	7617,8	7458,090
5	ООО «СибЭнерго»	5050,1	4863,2	4019,4	5514,5	1277,152
6	Абагурская фабрика филиала «Евразруда-филиал АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	3815,5	4812,8	4687,6	1465,3	3683,237
7	ООО «ЭнергоТранзит»		532,2	1171,8	384,4	3425,085
8	АО «ЦОФ «Кузнецкая»	609,5	266,6	268,3	260,6	136,443
9	ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод»	414	424,9	442,5	391	438,964
10	АО «ЦОФ «Абашевская»	289,6	253	237,6	205,5	202,308
11	АО «Завод Универсал	228,8	242	228,8	321,1	260,976
12	ООО «Вторресурс - Переработка»	266	276,8	244,7	215,2	294,196
13	ООО «Шахта «Абашевская»	35,5	35,5	32,2	26,2	59,437
14	АО «Органика»	15,8	14,5	15,1	11,9	9,981
15	ООО «ЭкоЛэнд»	5036,3	5821,5	6607,4	6441,9	6855,229

На территории Заводского района города размещаются 9 предприятий и наблюдается наибольший объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Основная масса выбросов приходится на АО «ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК» (площадка строительного проката), ООО «ЭкоЛэнд», АО «ЦОФ «Кузнецкая».

Загрязняющими атмосферу веществами (по массе выбросов) в этом районе являются монооксид углерода – 69,6 % от общей массы выбросов в районе и 88,7 % от массы валового выброса монооксида углерода по городу, а также диоксид серы (сернистый ангидрид) соответственно 16 % и 85 %. Так, ООО «ЭкоЛэнд» выбросил в атмосферный воздух от валовых выбросов по городу: метана – 96 %.

Атмосфера Центрального района загрязнена выбросами 17 предприятий, вклад которых в общее загрязнение атмосферного воздуха составил 2,2 %. По району 59 % от массы выбросов составляет загрязнение монооксидом углерода, а также диоксид азота – 18%.

Основными предприятиями, которые вносят вклад в загрязнение атмосферного воздуха являются: АО «ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК» (площадка рельсового проката), Абагурская фабрика филиала «Евразрудафилиал

АО «ЕВРАЗ объединенный ЗСМК», свой вклад вносят также ООО «Вторресурс-Переработка», ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод». Например, Абагурская фабрика филиала «Евразруда-филиал АО «ЕВРАЗ объединенный ЗСМК» выбросил в атмосферный воздух 3683,2 т/год, что составляет от валовых выбросов по городу 1,4 %, площадка рельсового проката АО «ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК» - 1867,4 т/год, от валовых выбросов – 0,7 %.

На территории Кузнецкого района осуществляют экономическую деятельность 12 предприятия различных отраслей промышленности. Наиболее крупными из них являются: АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод», АО «Кузнецкие ферросплавы», АО «Завод Универсал», АО «Кузнецкая ТЭЦ», АО «Органика».

Предприятия района внесли свой вклад в общий объем валовых выбросов по городу 28,12 тыс.т/год, что составило – 10,7 %. Газообразные соединения в Кузнецком районе составляют 93 % от валового выброса по городу. Характерные для предприятия цветной металлургии являются выбросы таких веществ, как монооксид углерода, бенз(а)пирен. АО «РУСАЛ Новокузнецкий Алюминиевый завод» выбросил в атмосферный воздух 13414,2 т/год, что составило от валовых выбросов промышленных предприятий по городу – 5,1 %, а по веществам: монооксид углерода – 3,8 %, сернистый ангидрид (диоксид серы) – 0,2 %.

На загрязнения атмосферы Орджоникидзевского района оказывают влияние 10 предприятий, основные из них: АО «ЦОФ «Абашевская», ООО «СибЭнерго», ООО «ЭнергоТранзит». По району от массы выбросов составляют: монооксид углерода – 22,5 %, зола углей – 12,2 %, сажа – 8,2 %.

Наибольший процент в общей массе выбросов загрязняющих веществ в атмосфере от предприятий Куйбышевского района приходится на монооксид углерода – 36 %, золу углей – 13,8 %, 13 сажу – 14,2 %, диоксид серы – 19 % и диоксид азота – 12,9 %. В районе располагаются предприятия транспорта (в том числе железнодорожного) и котельные.

Данные о выбросах по районам города приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Выбросы по районам города в 2022 г.

Район	Валовый выброс, тыс. тонн/год	Доля вклада, %
Заводской	223,78	85
Кузнецкий	28,12	10,7
Центральный	5,79	2,2
Орджоникидзевский	3,71	1,4
Куйбышевский	1,8	0,7
Ильинский	0,001	0,0004
Всего по городу:	263,2	100

С целью снижения антропогенного воздействия на окружающую среду, обеспечения экологической безопасности в городе Новокузнецке Комитетом сформирован перечень природоохранных мероприятий промышленных предприятий города Новокузнецка на 2022 – 2024 годы общей сметной стоимостью 9,5 млрд рублей.

Финансирование осуществляется за счет собственных средств промышленных предприятий. Природоохранные мероприятия промышленных предприятий города Новокузнецка включают следующие направления: 1. Охрана атмосферного воздуха. 2. Охрана водных ресурсов. 3. Охрана и рациональное использование земель. Обращение с отходами производства и потребления. 4. Экологическое образование и просвещение.

Природоохранные мероприятия города Новокузнецка на 2022 - 2024 годы, одобренные Решением Новокузнецкого городского Совета народных депутатов от 25 мая 2021 года № 6/53. Текущее управление и координацию за выполнением мероприятий ежеквартально осуществляет Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов администрации города Новокузнецка. Совместно с Депутатами Новокузнецкого городского Совета народных депутатов, общественным экологическим Советом и общественностью города в рамках выездных мероприятий на промышленные предприятия проверяется фактическое выполнение утвержденных природоохранных мероприятий.

Кроме того, в связи с тем, что первоначально в план предлагались не все мероприятия предприятий, Комитетом осуществляется сбор информации от предприятий о реализации дополнительных природоохранных мероприятий с указанием полученного экологического эффекта.

Информация о выполнении природоохранных мероприятий ежеквартально направляется Заместителю Губернатора Кузбасса (по промышленности, транспорту и экологии), в Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса, Новокузнецкую межрайонную природоохранную прокуратуру для принятия мер в пределах своих полномочий. Запланированные мероприятия и ежеквартальные отчеты об их выполнении размещаются на сайте Комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов администрации г. Новокузнецка www.eko-nk.ru.

Библиографический список

1. Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов администрации города Новокузнецка [Электронный ресурс]. URL: <https://eko-nk.ru/> (дата обращения: 10.04.2024).

**ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»,
Г. НОВОКУЗНЕЦК**

Удовицкий В.А., Рыбак Е.А., Маракулина М.Ю., Водолеев А.С.

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

В данной работе представлены результаты экологического мониторинга почв санитарно-защитной зоны (СЗЗ) АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с учетом природоохранного законодательства. Большое внимание уделено контролю содержания химических элементов, в том числе тяжёлых металлов в составе исследуемой почвы. Используемые методы анализа включают инструментальный анализ, который обеспечивает получение качественной и количественной информации о почвенно-экологическом состоянии СЗЗ. Отбор проб и расположение точек измерений осуществляются согласно стандартам, учитывая климатические и природные особенности местности и розы ветров. Также в работе представлены результаты биологического мониторинга почвенной альгофлоры на различных участках СЗЗ.

Ключевые слова: санитарно-защитная зона, АО «ЕВРАЗ ЗСМК», выбросы в атмосферу, экологическое состояние почв, химические элементы, программа экологического мониторинга, почвенные покровы, тяжелые металлы, химические показатели, инструментальный анализ, биологический мониторинг, почвенная альгофлора.

Санитарно-защитная зона – это специальная территория с особым режимом использования, которая устанавливается вокруг объектов и производств, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека. По своему функциональному назначению санитарно-защитная зона является защитным барьером, обеспечивающим уровень безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме. Ориентировочный размер СЗЗ определяется СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 на время проектирования и ввода в эксплуатацию объекта. Санитарно-защитная зона АО «ЕВРАЗ ЗСМК» входит в состав санитарно-защитной зоны Северного промузла и включает 8 площадок для проведения экологического мониторинга.

В 2004 году на основании Постановления Коллегии Администрации города от 12.02.2003 № 9/3 и по требованию главного государственного инспектора по Кемеровской области (08.04.2003 № А55-08/28- 2С) архитектурно-планировочной мастерской «Экоград» выполнен проект по корректировке границ СЗЗ Северного промузла.

Граница санитарной зоны Северного промузла устанавливается за пре-

делами жилой зоны поселка Телеуты. Проект включает в себя лесной массив площадью 36,5 га в границах СЗЗ, которому присвоен статус санитарно-защитных насаждений.

Санитарно-защитная зона Северного промузла проходит: на севере в 5 км, на северо-востоке – 3,3 км, на востоке – 3,5 км, на юго-востоке – 4,1 км, на юго-западе - 1,8 км, на западе – 2,6 км, на северо-западе – 4 км, на юге – 4,2 км от промплощадки АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В настоящее время стратегия снижения выбросов в атмосферу включает в себя модернизацию систем газоочистки, а также внедрение современных технологий и ликвидацию устаревшего производственного оборудования. В 2014 году на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» запущена установка вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) и завершен монтаж гидрораспределителей коксохимического оборудования.

Однако объем основных выбросов в атмосферу увеличился по сравнению с уровнем 2013 г. на 5,1 тыс. т (или 4,2 %). Увеличение выбросов было обусловлено увеличением содержания серы в угле, используемом для производства электроэнергии и агломерации АО «ЕВРАЗ ЗСМК», что привело к увеличению выбросов сернистых газов, пыли Западно-Сибирской ТЭЦ, в результате низкой эффективности электростатических фильтров. В результате действия вышеперечисленных факторов объем выбросов в атмосферу ЕВРАЗ ЗСМК увеличился на 7 тыс. тонн по сравнению с 2013 годом.

Почвы исследуемых опытных площадок относятся к аллювиальным дерновым, среднесуглинистым. На глубину до 20 см состоят из темного гумусового слоя, имеют небольшие запасы питательных веществ, хорошие физико-механические свойства. Органическое вещество представлено грубым гумусом и слаборазложившимися остатками луговой и лугово-болотной растительности.

Санитарно-защитная зона – это территория, отделяющая зоны специального назначения, а также промышленные и другие производственные, коммунальные и складские объекты от близлежащих селитебных территорий, зданий и сооружений жилищно-гражданского назначения в целях ослабления воздействия на них неблагоприятных факторов. Территория АО «ЕВРАЗ ЗСМК» расположена в 1,2 км к востоку от русла р. Томи на правобережных пойменной, частично первой, второй и третьей надпойменных террасах. Ширина русла р. Томи в створе комбината составляет 240–350 м. Гидрологический режим водотока зависит от количества и режима выпадающих осадков. Опасных паводковых ситуаций в районе размещения комбината не наблюдалось. Характеристика стационарных наблюдательных площадок предоставлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика стационарных наблюдательных площадок с привязкой к площадкам мониторинга состояния атмосферы на границе СЗЗ северного промузла г. Новокузнецка

№ участка	Адрес участка	Направление ветра	Название почвы
1	Ильинский мост	Восточный	Пойменная, зернистая
2	Дер. Телеуты	Северо-восточный	Пойменная, аллювиально-луговая
3	Дер. Малая Щедруха	Северный	Чернозем выщелоченный, тучный
4	Шахта «Юбилейная»	Северо-западный	Чернозем выщелоченный
5	Курегеш – Есауловка	Западный	Луговая тяжёло-суглинистая
6	Район дороги Сидорова – Чистогорск	Юго-западный	Чернозёмо-луговая тяжёло-суглинистая
7	Район деревни Мокроусово	Южный	Чернозем выщелоченный среднемощный, легкосуглинистый
8	Район деревни Ильинка	Юго-восточный	Чернозем выщелоченный среднемощный, легкосуглинистый

Результаты по содержанию химических элементов и тяжёлых металлов в почвах СЗЗ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» за 2003 год представлены в таблицах 2-4.

Таблица 2 – Содержание тяжёлых металлов в почвах СЗЗ АО «ЕВРАЗ ЗСМК», мг/кг почвы

№ площадки	ванадий	марганец	мышьяк	сурьма	никель	медь	цинк	свинец
1	70	1500	0	0	50	130	200	50
2	70	1500	0	0	50	70	200	50
3	70	1500	0	0	50	100	150	50
4	70	1000	0	0	30	70	100	50
5	70	1500	0	0	50	70	200	50
6	70	1000	0	0	50	70	200	50
7	70	1500	0	0	50	70	150	50
8	70	1000	0	0	50	70	150	50
ПДК	150	1500	2	4,5	80	132	220	130

Таблица 3 – Спектральный полуколичественный анализ почвы СЗЗ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

№ п/п	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mn	Ti	Zr	Ag	Sb	P
	% 10 ⁻³	% 10 ⁻³	% 10 ⁻²	% 10 ⁻³	% 10 ⁻³	% 10 ⁻²	% 10 ⁻¹	% 10 ⁻²	% 10 ⁻⁵	% 10 ⁻³	% 10 ⁻¹
1	15	5	2	2	5	15	3	1	3	0	1
2	7	5	2	2	5	15	3	1	3	0	1
3	10	5	1,5	2	5	15	3	1	2	0	1
4	7	5	1	1,5	3	10	3	1	1	0	0
5	7	5	2	1	5	15	3	1	5	0	0
6	7	5	2	1,5	5	10	3	1	3	0	1
7	7	5	1,5	1,5	5	15	3	1	30	0	1
8	7	5	1,5	1	5	10	3	1	2	0	1
9	7	0	0,5	0,7	0,7	15	0,3	0,1	1	0	10
10	5	0,3	0	0,3	0,1	10	0,3	0,2	0	0	10
11	7	0,5	0,3	0,5	0,7	20	0,3	0,2	2	0	10
12	7	0,7	0,5	0,5	0,7	15	0,5	0,2	2	0	7
13	5	0,3	0,5	1	0,3	10	0,7	0,2	2	0	7

Таблица 4 – Спектральный полуколичественный анализ почвы СЗЗ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

№ п/п	Sn	As	Mo	V	Cr	Ba	Be	Si	Fe	Al	Ca	Mg	K
	% 10 ⁻⁴	% 10 ⁻²	% 10 ⁻⁴	% 10 ⁻³	% 10 ⁻³	% 10 ⁻²	% 10 ⁻⁴	%	%	%	%	%	%
1	3	0	2	7	15	10	3	>10	5	>10	2	2	0
2	3	0	1	7	15	10	3	>10	5	>10	2	2	0
3	3	0	2	7	15	7	3	>10	5	>10	2	2	0
4	3	0	3	7	15	7	3	>10	5	>10	1	2	0
5	2	0	3	7	10	7	3	>10	5	>10	1	2	0
6	3	0	2	7	15	7	3	>10	5	>10	2	2	0
7	3	0	2	7	15	7	3	>10	5	>10	2	2	0,3
8	3	0	3	7	15	7	3	>10	5	>10	2	2	0
9	0	0	5	5	1,5	10	0	7	1,5	0,5	5	7	>5
10	0	0	5	3	<1	3	0	5	0,7	0,5	10	2	0,7
11	0	0	3	3	1	7	1	7	1	2	10	5	3
12	0	0	3	3	1	7	0	>10	1	2	7	2	3
13	0	0	1	3	1	7	<1	>10	0,7	2	7	2	3

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.2.01-81 также необходимо контролировать содержание радиоактивных веществ в почве в санитарно-защитной зоне. Согласно литературным источникам [6,7], цезий-137 и стронций-90 относятся к радионуклидам «техногенного» происхождения.

На 2019–2024 годы в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» разработана программа экологического мониторинга почв на основе природоохранного законодательства: Ст. 13, 73 Земельного кодекса РФ, 2001г., ст. 67 ФЗ «Об охране окружающей среды», 2002г., ст. 11, 32 ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», 1999г., [1] ст.12 ФЗ «Об отходах производства и потреб-

ления», 1998г., [2] пункты 6.7 и 6.8 СанПиН 2.1.7.1287– 03 «Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» [3].

Мониторинг объекта предназначен для изучения и управления различными видами воздействия в пределах одного предприятия и определяется количественными и качественными характеристиками его производственной деятельности.

Для комплексной оценки экологического состояния почвы предусматриваются следующие виды мониторинга:

1. Мониторинг почвенного покрова;
2. Мониторинг снежного покрова (снегосъемка);
3. Мониторинг растительного мира (биоиндикация).

С учетом состава выбросов в атмосферу АО «ЕВРАЗ ЗСМК», результатов наблюдений предыдущих периодов:

1. При мониторинге почвенного покрова контролируются:
 - тяжелые металлы (марганец, свинец, кадмий, цинк, медь, никель, ртуть, ванадий);
 - химические показатели: рН, 3,4-бензапирен, нефтепродукты, сернистые соединения;
 - содержание радиоактивных веществ.

2. При снегосъемке контролируется рН, содержание хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, взвешенных веществ, рассчитывается нагрузка по пыли.

Мониторинг осуществляется на 8 стационарных наблюдательных площадках с привязкой к опытным площадкам мониторинга состояния атмосферы на границе санитарно-защитной зоны северного промузла г. Новокузнецка.

Качество почвенного покрова контролируется по содержанию экзогенных химических веществ (ЭХВ), которое не должно превышать ПДК в почве и, соответственно, не превышать остаточное количество вредных ЭХВ в овощной товарной массе выше допустимых норм. Объем подлежащих определению ЭХВ и периодичность контроля определяются в проекте мониторинга полигона.

Качество почвы контролируют по следующим химическим показателям: нефтепродукты, нитриты, свинец, ртуть, кадмий, рН.

Инструментальный метод используется для контроля состояния почвенного покрова.

Инструментальный метод анализа позволяет получить качественную и количественную информацию о содержании загрязняющих веществ.

Определение содержания химических загрязнителей в почвах проводят методами, применяемыми для обоснования ПДК или другими методами, метрологически аттестованными, включенными в государственный реестр методов.

Сроки, способы отбора проб и расположение точек отбора проб почвы должны быть одинаковыми для определения динамики изменения концентрации загрязняющих веществ. Отбор проводят по ГОСТ 17.4.4.0.2-84 «Поч-

вы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» и ГОСТ 17.4.3.01-83 «Почвы. Общие требования к выборке».

Отбор проб почвы проводят в период относительного покоя биоты с учетом вертикального строения, неоднородности почвенно-растительного покрова, рельефа и климата местности в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к выборке».

Участки сбора почвенных проб: №1. Ильинский мост; №2. Деревня Телеуты; №3. Деревня Малая Щедруха; №4. Шахта Юбилейная; №5. Дорога Курегеш–Есауловка; №6. Поселок Чистогорск; №7. Деревня Мокроусово; №8. Старая Ильинка.

Пробы с почвенной альгофлорой были отобраны по всем участкам 26 июня 2006г. Для определения почвенных водорослей использовались многотомные «Определитель пресноводных водорослей СССР» [4] и др. Количественная оценка почвенной альгофлоры и таксономическая оценка изучаемых участков СЗЗ ЗСМК предоставлена в таблицах 5-7.

Таблица 5 – Количественная оценка почвенной альгофлоры

Участок	Глубина взятия образца почвы, см	Число клеток в 1г почвы (X)
№ 1	0-5	7x10x12,5=875
	5-20	4x10x12,5=500
№ 2	0-5	9x10x12,5=1125
	5-20	4x10x12,5=500
№ 3	0-5	3x10x12,5=375
	5-20	2x10x12,5=250
№ 4	0-5	6x10x12,5=750
	5-20	3x10x12,5=375
№ 5	0-5	6x10x12,5=750
	5-20	5x10x12,5=625
№ 7	0-5	9x10x12,5=1125
	5-20	6x10x12,5=750
№ 8	0-5	5x10x12,5=625
	5-20	2x10x12,5=250

Количество клеток водорослей в 1г почвы:

$$X=a \times d \times 10,$$

где X – число клеток в 1г почвы;

a – число клеток, обнаруженных при счете;

b – количество капель в 1мл суспензии (1/0,08 или 12,5 капель);

10 – разведение в мл.

Таблица 6 – Таксономическая оценка почвенной альгофлоры

№ участ-ка	Глубина взятия образца почвы, см	Вид	Отдел	Количество колоний		
1	0-5	<i>Anabaena sphaerica</i>	Сине-зеленые	2		
		<i>Closterium pusillum</i>	Зеленые	1		
		<i>Cosmerium cumrenatum</i>	Зеленые	1		
		<i>Tribonema ulotrichoides</i>	Желто-зеленые	1		
		<i>Navicula mutica</i>	Диатомовые	1		
		<i>Nitzchia palea</i>	Диатомовые	1		
	5-20	<i>Oscillatoria limosa</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Closterium pusillum</i>	Зеленые	1		
		<i>Cosmarium cubcrenatum</i>	Зеленые	1		
		<i>Nitzchia palea</i>	Диатомовые	1		
2	0-5	<i>Anabaena variabilis</i>	Сине-зеленые	2		
		<i>Oscillatoria splendida</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Cosmarium cubcrenatum</i>	Зеленые	1		
		<i>Cylindrocystis crassa</i>	Зеленые	1		
		<i>Bumilleria sicula</i>	Желто-зеленые	1		
		<i>Gleocapsa minuta</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Nitzchia palea</i>	Диатомовые	1		
		<i>Nostoc sphaerica</i>	Сине-зеленые	1		
	5-20	<i>Oscillatoria splendida</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Cosmarium cubcrenatum</i>	Зеленые	1		
		<i>Bumilleria sicula</i>	Желто-зеленые	1		
		<i>Gleocapsa minuta</i>	Сине-зеленые	1		
		3	0-5	<i>Chlorosarcinopsis minor</i>	Сине-зеленые	1
				<i>Navicula pelliculosa</i>	Диатомовые	2
5-20	<i>Navicula pelliculosa</i>		Диатомовые	2		
4	0-5		<i>Anabaena variabilis</i>	Сине-зеленые	1	
		<i>Mesotaenium macrococcum</i>	Зеленые	1		
		<i>Bumilleria sicula</i>	Желто-зеленые	1		
		<i>Pleurochloris inaequalis</i>	Желто-зеленые	1		
		<i>Monodus chodatii</i>	Желто-зеленые	1		
		<i>Characiopsis minuta</i>	Желто-зеленые	1		
	5-20	<i>Mesotaenium macrococcum</i>	Зеленые	1		
		<i>Navicula mutica</i>	Диатомовые	1		
		<i>Monodus chodatii</i>	Желто-зеленые	1		
5	0-5	<i>Anabaena variabilis</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Mesotaenium macrococcum</i>	Зеленые	1		
		<i>Pseudanabaena galeate</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Navicula pelliculose</i>	Диатомовые	1		
		<i>Navicula mutica</i>	Диатомовые	1		
		<i>Chlorhormidium laccidum</i>	Зеленые	1		
	5-20	<i>Anabaena variabilis</i>	Сине-зеленые	2		
		<i>Pseudanabaena galeate</i>	Сине-зеленые	1		
		<i>Navicula mutica</i>	Диатомовые	2		

Продолжение таблицы 6

№ участ-ка	Глубина взятия образца почвы, см	Вид	Отдел	Количество колоний
7	0-5	<i>Anabaena variabilis</i>	Сине-зеленые	1
		<i>Closterium pusillum</i>	Зеленые	1
		<i>Mesotaenium macrococcum</i>	Зеленые	1
		<i>Phormidium autumnale</i>	Сине-зеленые	2
		<i>Navicula mutica</i>	Диатомовые	2
		<i>Nostoc sphaerica</i>	Сине-зеленые	2
	5-20	<i>Microcoleus vaginatus</i>	Сине-зеленые	1
		<i>Anabaena variabilis</i>	Сине-зеленые	1
		<i>Closterium pusillum</i>	Зеленые	2
		<i>Navicula mutica</i>	Диатомовые	1
8	0-5	<i>Nostoc sphaerica</i>	Сине-зеленые	2
		<i>Actinochloris spharrica</i>	Зеленые	2
	5-20	<i>Navicula pelliculose</i>	Диатомовые	2

Таблица 7 – Количественная оценка почвенных водорослей

№ участка	Глубина взятия образца почвы, см	Отдел	Количество водорослей в %
1	0-5	Сине-зеленые	28,6
		Зеленые	28,6
		Диатомовые	28,6
		Желто-зеленые	14,2
	5-20	Сине-зеленые	25
		Зеленые	50
2	0-5	Диатомовые	25
		Сине-зеленые	55,6
		Зеленые	22,2
		Желто-зеленые	11,1
	5-20	Сине-зеленые	11,1
		Зеленые	50
		Желто-зеленые	25
3	0-5	Сине-зеленые	33,3
		Диатомовые	66,7
	5-20	Диатомовые	100
4	0-5	Сине-зеленые	16,7
		Зеленые	16,7
		Диатомовые	66,6
	5-20	Зеленые	33,4
		Диатомовые	33,3

Продолжение таблицы 7

№ участка	Глубина взятия образца почвы, см	Отдел	Количество водорослей в %
		Желто-зеленые	33,3
5	0-5	Сине-зеленые	33,4
		Зеленые	33,3
		Диатомовые	33,3
	5-20	Сине-зеленые	60
		Диатомовые	40
	7	0-5	Сине-зеленые
Зеленые			22,2
Диатомовые			22,2
5-20		Сине-зеленые	50
		Зеленые	33,3
		Диатомовые	16,7
8	0-5	Зеленые	40
		Диатомовые	60
	5-20	Диатомовые	100

По количеству и видовому составу водорослей можно судить об уровне увлажненности и степени загрязненности почвы, а количественный учёт также позволяет диагностировать почвы. Влажность почвы является постоянным экологическим фактором, обуславливающим развитие отдельных видов водорослей.

Оценка уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и химическими веществами проводилась в соответствии с Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель [5] на основании показателей уровня загрязнения земель химическими веществами. Данные показателей для контролируемых веществ, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Показатели уровня загрязнения земель тяжелыми металлами и химическими веществами

Элемент, соединение	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
	1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
1	2	3	4	5	6
Кадмий	< ПДК	от ПДК до 3	от 3 до 5	от 5 до 20	> 20
Свинец	< ПДК	от ПДК до 125	от 125 до 250	от 250 до 600	> 600
Ртуть	< ПДК	от ПДК до 3	от 3 до 5	от 5 до 10	> 10
Мышьяк	< ПДК	от ПДК до 20	от 20 до 30	от 30 до 50	>50
Цинк	< ПДК	от ПДК до 500	от 500 до 1500	от 1500 до 3000	>3000
Медь	< ПДК	от ПДК до 200	от 200 до 300	от 300 до 500	>500
Никель	< ПДК	от ПДК до 150	от 150 до 300	от 300 до 500	>500

Продолжение таблицы 8

Элемент, соединение	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
	1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
Ванадий	< ПДК	от ПДК до 225	от 225 до 300	от 300 до 350	>350
Бенз(а)пирен	< ПДК	от ПДК до 0,1	от 0,1 до 0,25	от 0,25 до 0,5	>0,5
Нефть и нефтепродукты	< ПДК				
Сернистые соединения	< ПДК	от ПДК до 180	от 180 до 250	от 250 до 380	>380

Результаты химических анализов почвенных образцов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты химических анализов почвенных образцов

№ площадки (точки отбора)	Глубина отбора, см	pH водной вытяжки	Нефтепродукты, мг/кг ПНДФ 16.1.41-04	Бенз(а)пирен, мг/кг ИСО 13877 (ПДК=0,02)	Сера общ., мг/кг ГОСТ 8606-93 (ПДК=160)
1	0-5	7,16	<20	0,0044	<160
1	5-20	7,40	<20	0,0037	<160
2	5-20	7,27	<20	0,001	<160
3	0-5	7,38	<20	0,0021	<160
3	5-20	7,23	<20	0,0022	<160
4	0-5	6,30	<20	0,0033	<160
4	5-20	6,41	<20	0,0029	<160
5	0-5	7,07	<20	0,001	<160
5	5-20	7,05	<20	0,0013	<160
6	0-5	6,62	<20	<0,001	<160
6	5-20	6,53	<20	<0,001	<160
7	0-5	6,91	<20	0,0158	<160
7	5-20	6,76	<20	0,0197	<160
8	0-5	6,44	<20	<0,001	<160
8	5-20	5,75	<20	<0,001	<160

Данные таблицы 9 показывают:

1) Значения активной кислотности (рН водной вытяжки) находятся в пределах 6,30-7,40 единиц, что соответствует нейтральной и слабощелочной реакции почвенного раствора характерной для черноземов [8] и указывает на отсутствие техногенного закисления почв;

2) Содержание нефтепродуктов в отобранных пробах ниже порога обнаружения методом ПНД Ф 16.1.41-04, что свидетельствует об отсутствии загрязнения почвы нефтепродуктами и согласно рекомендациям почвы на всех площадках по данному соединению можно отнести к условно чистым;

3) Содержание бенз(а)пирена не превышает значений ПДК (0,02 мг/кг)

на всех экспериментальных площадках, кроме точки №7 - д. Мокроусово, где содержание бенз(а)пирена равно значению ПДК [9], что может быть следствием влияния действующего шламохранилища АО «ЕВРАЗ ЗСМК»;

4) Содержание соединений серы не превышает значений ПДК.

По результатам анализа, представленных данных можно выделить две категории площадок: те, где уровень загрязнения земель находится в пределах нормы или имеет низкий уровень и те, которые вызывают опасения из-за высокого уровня загрязнения.

Площадки, на которых уровень загрязнения земель химическими веществами находится в пределах нормы или имеет низкий уровень:

1. Деревня Телеуты;
2. Деревня Малая Щедруха.

Площадки, с более высоким уровнем загрязнения земель химическими веществами:

1. Ильинский мост;
2. Шахта "Юбилейная";
3. Курегеш – Есауловская;
4. Район дороги Сидорово – Чистогорск;
5. Район деревни Мокроусово;
6. Район деревни Ильинка.

Это свидетельствует о необходимости принятия дополнительных экологических мероприятий и проведения контроля за состоянием почвы на площадках с повышенным уровнем загрязнения. Такие меры могут включать в себя регулярный мониторинг, санитарно-гигиенические мероприятия и разработку программ реабилитации почвенного покрова для предотвращения дальнейшего загрязнения и защиты окружающей среды и здоровья человека.

Библиографический список

1. Ст. 13, 73 Земельного кодекса РФ, 2001г., ст. 67 ФЗ «Об охране окружающей среды», 2002г., ст. 11, 32 ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», 1999.
2. Ст.12 ФЗ «Об отходах производства и потребления», 1998.
3. Пункты 6.7 и 6.8 СанПиН 2.1.7.1287– 03 «Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы».
4. Определитель пресноводных водорослей СССР Текст : В 14-ти , 1951-1983
5. ГОСТ 8606-93. Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка.
6. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.2041-06. Утв. 18.01.2006.
7. Гигиенические нормативы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.2042-06. Утв. 18.01.2006.

8. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В. и др. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1993

9. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами № 4266-87. Утв. МЗ СССР 13.03.87

УДК 622.6

ОТХОДЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Баранов А., Семина И.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: abaranov199@mail.ru*

Работа представляет собой обзорную статью на тему состава отходов горной промышленности, их воздействие на окружающую среду, методы их исследования и использование в рекультивации нарушенных ландшафтов.

Ключевые слова: техногенные ландшафты, горнопромышленные отходы, класс опасности, рекультивация, спектральный анализ.

Рост эксплуатации месторождений полезных ископаемых приводит к нарушению все больших территорий естественных земель, с образованием значительного количества отходов горной промышленности, которые складываются в отвалы и образуют техногенные ландшафты. Данные территории представляют собой экоклин в естественном ландшафте, с ограниченными возможностями эксплуатации. Скорейшее возвращение данных территорий в народно-хозяйственное использование представляет большой научный интерес. В связи с чем, появляется необходимость в изучении количественного и качественного состава данных отходов, контроля содержания в них вредных веществ и их воздействия на окружающую среду, отнесение отходов в соответствующие классы опасности и их дальнейший мониторинг.

В Кемеровской области – Кузбассе отходы горнодобывающего и перерабатывающего производства в основном представлены вскрышными и вмещающими породами угольной промышленности и отходами обогатительных фабрик. Данные отходы формируют внешние и внутренние отвалы, используются для отсыпки нарушенных территорий (карьерных выработок). Это преимущественно песчаники, алевролиты, аргиллиты с включением углистых частиц и другие, сопутствующие добыче полезных ископаемых, породы, в том числе в виде мелкодисперсной фракции после процесса обогащения [8].

Подобные отходы, в силу содержания в них токсичных веществ, показателя их рН, и в зависимости от их концентрации, способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Препятствовать развитию растительности и восстановлению почвенных функций, загрязнять водные ресурсы, накапливаться в растениях. Вследствие чего, на территориях, сло-

женных данными отходами может наблюдаться малое видовое разнообразие растений, либо полное отсутствие растительности в течение длительного периода времени. Стоит отметить, что негативное воздействие на окружающую среду также зависит от физических свойств отходов, таких как пористость, плотность и влагоемкость [5,7].

Для оценки возможного воздействия отходов на окружающую среду и принятия необходимых мер по их обезвреживанию и мониторингу, разработаны методы по исследованию отходов, которые разделяются на химические, физико-химические и биологические. Основные физико-химические методы представляют собой спектральный анализ (эмиссионный, абсорбционный, атомно-абсорбционный), вольтамперометрию, хроматографию и потенциометрию, с помощью чего определяется содержание валовых и подвижных форм макро и микроэлементов, в том числе токсичных элементов, а также значения pH и водорастворимость. Биологический метод исследования позволяет выявить общую токсичность отходов за счет исследования воздействия на организмы и растения, например, на дафниях [3,6,9].

Влияние химических веществ, содержащихся в отходах, на компоненты окружающей среды оцениваются с помощью таких показателей как предельно допустимые концентрации (ПДК) ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), лимитирующие значения которых изменяются в зависимости от типа региональных почв, в Кемеровской области – Кузбассе допустимые концентрации определяются в основном относительно характерных для данной местности подзолистых, дерново-подзолистых, серых лесных почв, черноземов и др.

В соответствии с содержанием химических веществ, попадающих в почву из отходов, определяется класс опасности, который разделен на 3 типа:

1 – вещества высокоопасные: мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен;

2 – вещества умеренно опасные: бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром;

3 – вещества малоопасные: барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон.

В зависимости от класса опасности принимаются дальнейшие меры по мониторингу и использованию отходов [4].

Содержание и количество химических веществ в отходах напрямую зависит от пород, слагающих отвала. В отходах угольной промышленности преобладают в основном углефильные вещества: мышьяк, кадмий, селен, ртуть и др., которые накапливаются в углях. Многочисленные исследования отходов угольной промышленности учеными в Кемеровской области – Кузбассе не выявляют превышений содержания токсичных веществ по ПДК, однако фиксируются превышения по таким элементам, как As, Hg и Sb, а также фиксируется щелочная реакция среды [2,7-10].

В Кемеровской области – Кузбассе, отходы угледобычи, вскрышные и вмещающие породы, используются для восстановления нарушенных земель,

при этом свойства и состав являются определяющими для дальнейшего использования в биологическом этапе рекультивации нарушенных земель. Для повышения эффективности восстановления почвенных функций проведены исследования по использованию дополнительных органических и минеральных веществ, в результате чего наблюдается улучшение почвообразовательного процесса [1].

Отходы горнодобывающего и перерабатывающего производства могут оказывать негативное влияние на компоненты окружающей среды. С целью прогнозирования возможного негативного воздействия отходов на окружающую среду и определения их пригодности для использования в процессе восстановления нарушенных земель (растительного и почвенного покрова) необходимо проведение комплексных научных исследований по изучению отходов.

Библиографический список

1. Гаджиев И.М. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель / И.М. Гаджиев, В.М. Курачев, В.А. Андроханов // Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. – 37 с.

2. Геохимический фон тяжелых металлов в почвах и растениях на участках отвалов угольных месторождений / А.Е. Богуславский, В.А. Андроханов, Ю.О. Колмагорова, А.А. Ужогова, И.Н. Госсен, О.П. Саева // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2021. - № 2 (61). - С. 40-50.

3. Журавлева Н. В. Комплексная оценка токсичности промышленных отходов предприятий Кемеровской области / Н. В. Журавлева, Т. Н. Воропаева, О. В. Иваныкина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 6-2 (58). – С. 86–89.

4. Классификация химических веществ для контроля загрязнений: Гост 17.4.1.02-83. Москва Стандартиформ, 2008.

5. Masciandaro G. Phytoremediation of dredged marine sediment: Monitoring of chemical and biochemical processes contributing to sediment reclamation // Journal of Environmental Management. 2014. - No 134. - P. 166-174.

6. Ресурсы и специфика рекультивации отвалов угледобывающей промышленности Хакасии / Е.А. Гуркова, В.А. Андроханов, А.Т. Лавриненко. Почвы и окружающая среда, 2021. - Т.3. - Вып.4. - с. e127, doi:10.31251/pos.v3i4.127.

7. Семина И.С. Геохимический фон в молодых почвах на рекультивированных участках с использованием отходов углеобогащения / Семина И.С., Андроханов В.А. // Уголь. - 2022. - № 6. - С. 74-79.

8. Семина И.С. Почвенно-экологическое обследование участков рекультивированными отходами углеобогащения, на примере Кемеровской области – Кузбасса / Семина И.С., Андроханов В.А. // Уголь. - 2021. - № 7 (1144). - С. 57-62.

9. Журавлева Н. В. Содержание токсичных элементов во вскрышных и

вмещающих породах месторождений Кемеровской области / Н. В. Журавлева, О. В. Иванныкина, З. Р. Исмагилов, Р. Р. Потокина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 187–196.

10. Андроханов В.А. Итоги рекультивации на Назаровском угольном разрезе / В.А. Андроханов, И.Н. Госсен, В.Н. Уфимцев // В сборнике: Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. Сатка, Челябинская обл., 2022. - С. 16-19.

УДК 572. 087

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Володин Н.А., Коротков С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nikita79916@gmail.com*

В статье представлен анализ воздействия предприятий, входящих в топливноэнергетический комплекс, на окружающую среду. Приведены данные о выбросах загрязняющих веществ, которые могут негативно воздействовать на окружающую природную среду. Сделано сравнение уровня загрязнения при выбросах, производимых при использовании мазутного топлива и природного газа.

Ключевые слова: теплоэнергетика, атмосфера, топливо, выбросы, тепловая электростанция (ТЭС).

В России на тепловых электростанциях преимущественно используются установки котельных, проектирование и строительство которых происходило много лет назад. В то время основным приоритетом являлось эффективное сжигание топлива с высокой энергетической отдачей, минимальными потерями и безаварийной работой на долгосрочной основе. Однако в настоящее время появляются новые требования к оборудованию, в том числе к основным элементам тепловых электростанций, таким как котельные установки. Эти требования становятся более жёсткими и связаны с необходимостью снижения выбросов в атмосферу определенных продуктов сгорания твёрдого, жидкого и газообразного топлива.

Сжигание топлива на ТЭС приводит к образованию продуктов сгорания, содержащих летучую золу, диоксид серы (сернистый ангидрид), оксиды азота и газообразные продукты неполного сгорания. При сжигании мазута, помимо данных веществ, в атмосферу также выбрасываются соединения ванадия, соли натрия и частицы сажи. В золе некоторых видов топлива присутствуют мышьяк, свободный диоксид кремния, свободный оксид кальция

и другие соединения. Переход с твёрдого топлива на газовое приводит к существенному увеличению стоимости производимой энергии.

Азот и азотсодержащие компоненты топлива, при сжигании, превращаются в оксид азота NO в топочной камере, а часть оксида азота превращается в диоксид азота NO₂ перед выходом из котла. Концентрация оксидов азота NO_x в выбросах зависит не только от свойств сжигаемого топлива (как в случае с диоксидом серы или золой), но и от конструкции горелочной установки и режима работы котла. Образование оксидов азота NO_x (NO + NO₂) происходит при сжигании любого органического топлива.

Оксиды азота оказывают негативное воздействие на здоровье людей. Длительное воздействие даже незначительных концентраций NO_x серьезно увеличивает риск развития острых и хронических заболеваний дыхательной системы, а также негативно влияют на животный и растительный мир. В городах повышенная концентрация оксидов азота может привести к образованию фотохимического смога. При взаимодействии с атмосферной влагой оксиды азота (вместе с оксидами серы) образуют «кислотные дожди», которые наносят ущерб сельскому хозяйству, способствуют коррозии и разрушению строительных материалов, исторических памятников архитектуры и других культурных ценностей.

В России, как и в других развитых странах, существуют законодательные ограничения на выбросы оксидов азота в атмосферу. Максимально разовые предельно допустимые концентрации NO₂ составляют 0,2 мг/м³, а среднесуточные - 0,04 мг/м³ (3-й класс опасности для атмосферного воздуха в населенных местах). Если вопрос ограничения выбросов летучей золы и диоксида серы может быть решен путем очистки дымовых газов на тепловых электростанциях, то выбросы оксидов азота могут быть снижены только за счет особой организации процесса сжигания. Это важно для разработки новых технологий факельного сжигания на тепловых электростанциях и в котельных, являющихся основными производителями тепловой и электрической энергии в России [1].

При сжигании природного газа топливные оксиды азота отсутствуют, но при сжигании мазута и других видов твёрдого топлива они составляют значительную часть общих выбросов NO_x. Исследования зависимости объема образования топливных оксидов азота (NO_x) в процессе сжигания от температуры и избытка воздуха показали, что температурный уровень оказывает влияние на концентрацию топливных оксидов азота только при низких температурах. Более значительную роль играет концентрация кислорода в месте образования топливных NO_x. Данная зависимость была исследована в лабораторных условиях В. И. Бабием [2].

Тепловые электростанции оказывают большое влияние на усиливающийся парниковый эффект и выпадение «кислотных дождей». Они являются основным источником выброса углерода (в основном в виде CO₂), около 50% диоксида серы, оксидов азота (около 35 %) и около 35 % пыли. Вредные выбросы тепловых электростанций загрязняют окружающую среду радиоак-

тивными веществами в 2-4 раза сильнее, чем атомные электростанции такой же мощности [3].

Выбросы от ТЭС содержат значительное количество тяжелых металлов и их соединений, которые негативно влияют на экосистему через воду, почву и другие элементы.

При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн. кВт содержит более 100 миллионов доз алюминия и его соединений, 400 миллионов доз железа и 1,5 миллиона доз магния. содержится: алюминия и его соединений свыше 100 млн. доз, железа – 400 млн. доз, магния – 1,5 млн. доз. Таким образом, теплоэнергетика негативно влияет на все компоненты окружающей среды [3].

Важно отметить, что воздействие теплоэнергетики на окружающую среду и ее жителей в значительной мере зависит от использованных видов топлива. Наиболее экологически чистым является природный газ, затем идет нефть (мазут), каменный уголь, бурый уголь, сланцы и торф.

В настоящее время процесс производства электроэнергии кардинально меняется. Если ранее основная доля электроэнергии создавалась с использованием экологически чистых видов топлива, таких как газ и мазут, то сейчас мы сталкиваемся с увеличением использования угля.

Увеличение сжигания угля приводит к негативным последствиям, особенно для атмосферы. Уголь содержит большое количество серы в различных формах: пирит, сульфаты, закись железа и гипс. На данный момент существуют методы для улавливания серы при сжигании топлива, но их применение затруднено вследствие сложности и высокой стоимости. В результате большое количество серы по-прежнему попадает в окружающую среду.

Одной из серьезных экологических проблем являются твердые отходы ТЭС, такие как зола и шлаки. Несмотря на то, что большая часть золы улавливается различными фильтрами, каждый год в атмосферу поступает около 250 миллионов тонн мелкодисперсных аэрозолей, которые становятся ядрами конденсации для паров воды и вызывают осадки. Кроме того, попадая в дыхательные органы человека и других организмов, они могут вызывать различные респираторные заболевания.

Складирование золы и шлаков, особенно вблизи ТЭС представляет серьезную проблему, так как требует больших территорий, которые долгое время остаются неиспользуемыми, а также становятся источниками скопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности.

Увеличение использования ТЭС приводит к неизбежному увеличению потребления природных ресурсов, таких как органическое топливо, природная вода, воздух и почва. В свою очередь, это ведет к росту объема промышленных отходов, которые попадают в окружающую среду.

Создание полностью безотходной технологии производства электрической и тепловой энергии в соответствии с экологическими принципами является невозможной задачей. Сегодня перед энергетиками стоит важная за-

дача - взять у природы эти ресурсы и превратить их в безопасные для жизни людей и всего живого на земле отходы производства. Только так мы сможем обеспечить сохранение окружающей среды и улучшить качество жизни всех нас [4].

Библиографический список

1. Вредные вещества в промышленности. Т. 2. Под ред. Лазорева Н. В. – Л.: Химия, 1971–624 с.
2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Под ред. Калверта С., Инглунда Г. М. – М.:Металлургия, 1988–712 с.
3. Котлер, В. Р. Экологические проблемы угольных ТЭЦ – отчет всероссийского теплотехнического института [Электронный ресурс] [URL: http://vti.ru/files/public/ekologicheskie_problemy_ugol_nyh_tec.pdf] (дата обращения 10.02.2024).
4. В. И. Беспалов, С. У. Беспалова, М. А. Вагнер. Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 240 с.

УДК 572.087

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ И УЛАВЛИВАНИЯ ВРЕДНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГОСТАНЦИЯХ

Володин Н.А., Коротков С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nikita79916@gmail.com*

В статье представлен анализ воздействия предприятий, входящих в топливноэнергетический комплекс, на окружающую среду. Описаны методы позволяющие снизить выброс вредных веществ от ТЭЦ в окружающую среду.

Ключевые слова: теплоэнергетика, тепловая энергостанция (ТЭЦ), атмосфера, выбросы, дымовые газы, очистка.

Для обеспечения безопасности воздушного бассейна особенно важно предпринимать меры, направленные на сокращение выбросов дымовых газов твердых частиц (зола), оксидов серы и азота. Количество твердых частиц золы и недожога топлива, которые образуются и уносятся дымовыми газами из топок котлов, пропорционально количеству сжигаемого топлива, его зольности и эффективности золоулавливающих устройств.

В настоящее время не всегда обеспечивается должная эффективность функционирования электрофильтров установленных в системах газоочистки. Степень очистки зависит от физико-химических свойств золы и дымовых газов, а также от скорости движения и температуры этих газов. Совершенствование конструкции электрофильтров направлено на изменение интервалов

встряхивания электродов на различных ступенях фильтров, установку двойных клапанов между электрофильтром и системой удаления золы, а также кондиционирование газов. Такие меры позволяют достичь эффективности очистки в пределах 99–99,5 %. Большинство используемых золоуловителей селективно улавливают относительно крупные частицы золы, в то время как тяжелые металлы и другие токсичные компоненты концентрируются именно в мелких частицах [1].

Исследования показывают, что состав золы в значительной степени напоминает угольную пыль, поэтому степень ее измельчения непосредственно влияет на эффективность очистки газа – крупная зола улавливается лучше. Таким образом, на этапе подготовки топлива уже можно предпринять меры, направленные на снижение выброса золы.

При сжигании твердого топлива в атмосферу дополнительно поступают загрязнители в виде сажи, которая наносит серьезный вред окружающей среде, так как содержит кислоты и канцерогены. Для очистки выбросов используются специальные золоулавливающие установки (батареи циклонов, электрофильтры и т.д.), работающие при высоких температурах (350-400 °С). Однако оксиды серы и продукты их взаимодействия с другими вредными веществами осаждаются на почву, попадают в водоемы в виде аэрозолей и растворов, выпадающих с атмосферными осадками (кислотные дожди).

На территориях, где находятся крупные ТЭЦ, наблюдается повышенное содержание сульфатов в почвах, что влечет за собой снижение их плодородности [2]. Вредное влияние диоксида серы усиливается при наличии в воздухе оксидов азота, поэтому было установлено требование к суммированию концентраций оксидов серы и азота в рамках санитарных норм. Основное количество серы в выбросах состоит из диоксида серы (до 99 %), в то время как только 1 % приходится на триоксид серы.

Тем не менее, концентрация триоксида серы в выбросах значительно влияет на точку росы, что, в свою очередь, вызывает коррозию элементов системы отвода газов.

Существует множество методов очистки дымовых газов от диоксида серы, основанных на селективном поглощении серы разными соединениями. Однако наиболее экономичные влажные методы очистки имеют один существенный недостаток - они снижают способность дымовых газов к рассеиванию из-за их низкой температуры, что часто приводит к превышению допустимых норм концентрации диоксида серы в приземном слое над электростанцией, несмотря на проведенную очистку [3].

Системы по улавливанию диоксида серы на электростанциях имеют крупномасштабный характер. Площадь занимаемая установками соизмерима с площадью основных сооружений электростанций. Использование таких систем связано с необходимостью значительного расхода реагентов (известняка, извести, аммиака и др.) и образования соответствующего количества

отходов от извлечения диоксида серы, которые могут иметь коммерческую ценность.

Химические продукты, получаемые при очистке дымовых газов от диоксида серы, зависят от выбранного технологического процесса. При применении аммиачно-циклического метода можно получить 100%-ный сжиженный диоксид серы и сульфат аммония в качестве готовой продукции. Магнетитовый метод приводит к образованию промежуточного продукта - кристаллов сульфата магния, которые после обработки (сушки, обжига) используются в производстве серной кислоты.

Процесс образования оксидов азота связан с высокотемпературным сжиганием топлива и в основном происходит в результате окисления молекулярного азота воздуха непосредственно в зоне горения. Однако при низкотемпературном сжигании топлива увеличивается доля оксидов азота, образовавшихся в результате окисления связанного азота, содержащегося в топливе. Этот процесс протекает легче и быстрее, чем окисление молекулярного азота воздуха при относительно низких температурах, например, для угля при 250-280 °С.

С увеличением мощности энергетических котлов возрастает выделение оксидов азота. Максимальное содержание оксидов азота наблюдается в зоне активного горения. В других зонах, где температура ниже, атмосферный азот практически не окисляется. Это означает, что снижение температуры горения топлива приводит к уменьшению содержания оксидов азота в выбросах [4].

Сокращение выбросов оксидов азота из дымовых газов электростанций достигается за счет режимных и конструктивных мероприятий, направленных на уменьшение образования газов в топках котлов. Эти меры включают двухступенчатое сжигание, рециркуляцию дымовых газов в зону горения, сжигание топлива при малых избытках воздуха, разработку новых типов горелок и использование различных конструктивных решений для топочных устройств[4].

Однако при сжигании твердых топлив даже с применением комплекса мероприятий выбросы оксидов азота снижаются не более чем на 25 %. Эффективным способом снижения выбросов оксидов азота является очистка дымовых газов.

При сжигании твердых топлив в топках с «кипящим слоем» или при газификации топлива и использовании парогазовых установок можно достичь значительных результатов: количество оксидов азота может быть снижено на 80-90 %.

Из-за неспособности условий погоды рассеивать и удалять промышленные выбросы из приземного слоя атмосферы, значительные концентрации вредных веществ могут накапливаться. В таких районах особое внимание должно быть уделено организации мероприятий по защите атмосферы. В таких условиях имеется возможность временного снижения выбросов на промышленных предприятиях и тепловых электростанциях в периоды, в которые отсутствуют благоприятные условия для рассеивания вредных ве-

ществ. Если прогнозируется увеличение концентрации вредных веществ вследствие погодных условий, промышленным предприятиям и электростанциям заблаговременно передаются предупреждения.

Предприятия принимают меры для временного сокращения выбросов с использованием методов, применимых для всех отраслей промышленности, а также специфических для каждого предприятия. Общие мероприятия включают в себя:

- усиление контроля за соблюдением технологического режима производства и работой очистных устройств; запрет отключения очистных сооружений для ремонта и профилактического осмотра;
- изменение времени технологических процессов, связанных с выделением вредных веществ в атмосферу;
- остановка второстепенных производств, сильно загрязняющих воздух;
- переход на использование низкосернистого и низкосольного топлива;
- использование высококачественного сырья для уменьшения поступления вредных веществ в атмосферу;
- минимизация непромышленных выбросов;
- ограничение пылящих материалов при погрузке и разгрузке, запрещение чистки цистерн и других емкостей, и т.д.;
- приостановка сжигания производственных отходов;
- усиление контроля за полнотой сжигания топлива;
- остановка технологического оборудования на ремонт, если дата начала ремонта приближается к периоду неблагоприятных метеоусловий;

Для теплоэлектростанций разработаны специальные мероприятия, которые позволяют кратковременно снижать выбросы в периоды неблагоприятных метеоусловий:

- в отдельные периоды – снижение нагрузки электростанции до полного отключения котлов, работающих на высокосернистом и высокосольном топливе (расчеты показывают, что отключение таких котлов несущественно снижает общую нагрузку электростанции, но снижает загрязнение приземного слоя воздуха в несколько раз);
- в периоды с опасными метеоусловиями – кратковременное снижение нагрузки электростанции до 30% и, соответственно, сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- предотвращение пыления с поверхности золоотвалов путем их увлажнения.

По данным исследования можно отметить, что сегодня необходимо создать экологические нормативы оптимального режима работы оборудования на предприятиях теплоэнергетики и ввести в эксплуатацию, обеспечив такую организацию, при которой не допускается ухудшение качества природной среды и отрицательного воздействия на человека.

Библиографический список

1. Основы экологической геофизики: учеб. для вузов / В.И. Трухин; 2-е изд., испр. и доп. –СПб.: Издательство Лань, 2004. – 287 с.
2. Беспмятнов Г.П. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / Беспмятнов Г.П. – Л., 1985. – 528 с.
3. Панин В.Ф. Теоретические основы защиты окружающей среды: учеб. пособие / В.Ф. Панин – СПб.: Издательство Томск: ТПУ, 2009. – 101 с.
4. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Метрологические аспекты загрязнения и промышленные выбросы. Основные термины и определения.

УДК 504. 75

ОБРАЩЕНИЕ С ТВЁРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ: ОПЫТ РОССИИ И НЕКОТОРЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Володина Т.А., Коротков С.Г.

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

В работе дан сравнительный анализ состояния утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) в России и в экономически развитых странах, представлены оценки влияния системы управления обращения с отходами на эффективность утилизации ТКО, становление рециклинга как важнейшей отрасли вторичной переработки отходов. Показаны роль экологического права для участия бизнеса в решении экологических проблем обращения с отходами. Освещены административно-управленческие барьеры формирования рынка отходов в российской экономике.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы (ТКО), утилизация, рециклинг, экологическое право, управление.

Проблема утилизации ТКО становится все более актуальной и существенной по всему миру, особенно в крупных городах. В Европейском Союзе сформировано экологическое право, регулирующее процессы формирования, контроля, переработки и утилизации отходов. Власти ЕС принимают решения, а также разрабатывают документы, которые могут быть использованы членами Союза для разработки национальных программ и политик в области ресурсопотребления и управления отходами.

Опыт зарубежных стран показывает, что существует множество успешных подходов к обращению с ТКО. Некоторые страны уже достигли высокого уровня переработки отходов и снижения вывоза на свалки. Вот некоторые примеры:

1. Германия. В стране существует развитая система раздельного сбора

отходов, которая предусматривает использование разных контейнеров для пластиковых, стеклянных и бумажных отходов. Также многие мусорные полигоны в Германии оборудованы специализированными установками для обработки отходов и получения энергии из них.

2. Швеция. В Швеции около 99 % отходов подвергается переработке. Страна активно применяет метод их сжигания с восстановлением энергии. Большая часть производимой энергии в стране получается из сжигания отходов, что позволяет снизить использование традиционных источников энергии.

3. Япония. Япония известна своей эффективной системой сортировки отходов. В стране предусмотрено более 40 отдельных категорий для сортировки различных видов отходов. В результате Япония достигла очень высокого уровня их переработки.

4. Нидерланды. В данной стране действует прогрессивная система сортировки отходов и переработки, а также приняты меры по сокращению объемов мусора. Нидерланды активно внедряют современные технологии в области сжигания отходов, производства электроэнергии и производства топлива.

В целом, опыт этих и других зарубежных стран показывает, что эффективное обращение с ТКО возможно при использовании современных технологий, развитой системы сортировки и переработки отходов, а также консолидации усилий государства, бизнеса и населения. России стоит изучать и применять успешные практики из других стран для решения своих проблем в обращении с ТКО.

Ряд государств, включая Австрию, Бельгию, Данию, Францию, Италию, Норвегию и другие, приняли постановления, которые запрещают или ограничивают захоронение биоразлагаемых органических отходов на полигонах.

Эти страны разработали стратегию управления использованием отходов, основанную на принципах ресурсосбережения и сохранения окружающей среды. Главным направлением этой стратегии является масштабное развитие индустрии рециклинга. В развитых государствах уже более 20% новых товаров производится из отходов или вторичных ресурсов материального производства [1].

В странах Европы развивается система централизованного госрегулирования рециклинга, включающая поощрительные программы и жесткое нормирование доли отходов, подлежащих переработке. Предприятия несут ответственность за переработку выпущенной ими продукции и рациональное использование вторсырья.

В 2013 г. средний уровень переработки бумажных отходов в Европе достиг почти 72 % и лишь в 11 странах он не превышает 60 %. За период с 1998 по 2013 годы было собрано и переработано более 57 млн.тонн бумаги, прирост переработки составил 45 % или 18 млн.тонн [2]. Основная часть макулатуры получается из доступных источников: промышленных, торговых и административных предприятий и учреждений. Кроме того, организован

сбор макулатуры у населения.

Для решения общей задачи ЕС по сокращению объемов захоронения твердых коммунальных отходов, страны Европы используют собственные технологии и методы. Например, Германия и Нидерланды идут путем создания и установки специализированного оборудования для переработки пластиковых отходов в пунктах сбора. Это оборудование может размалывать или расплющивать пластиковые контейнеры. Благодаря этим мерам, в этих странах восстанавливают 60-70% от общего объема пластиковой тары.

Швеция является лидером среди европейских стран в области переработки и производства энергии из мусора. Лишь 4% от общего объема мусора отправляется на свалки (в то время как в среднем по Европе этот показатель составляет около 38%). Остальной мусор подвергается переработке, что позволяет обеспечить 20% потребности в центральном отоплении [3].

В России для хранения и переработки ТКО используются такие способы, как предварительная сортировка, санитарная земляная засыпка, захоронение на полигонах, сжигание, переработка, биотермическое компостирование. Свыше 90 % ТКО вывозится на полигоны для захоронения, уровень переработки составляет лишь 5–7%, в то время как в странах ЕС достигает 60 %. Следует отметить, что в России крайне мало полигонов, оборудованных в соответствии с современными требованиями, более половины из них переполнены и не отвечают задачам охраны окружающей среды. В Москве на полигоны отправляют около 93% ТКО, 3% утилизируются путем сжигания и только 4% перерабатываются с выделением вторичного сырья [4].

На территории России работают всего семь мусоросжигательных заводов (два из них в Москве, производительностью 120 тыс. т/год каждый), и в их технологических циклах не предусмотрена предварительная сортировка, что приводит к выбросам большого количества вредных веществ [5].

Для наиболее эффективной утилизации и переработки твердых коммунальных отходов в России необходимо создание мусороперерабатывающей отрасли, которая объединила бы весь цикл их утилизации. Развитие промышленных технологий по принципу комбинации различных методов переработки на мусороперерабатывающих заводах обеспечивает малую отходность производства, его максимальную экологичность и экономичность на новой основе сортировки, термообработки, ферментации.

Таким образом, обращение с ТКО является важной глобальной проблемой, требующей постоянного внимания и развитие ответственных и устойчивых подходов к управлению отходами.

Библиографический список

1. Организация утилизации и переработки бытовых отходов в Европе, США и Японии [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: https://popecon.ru/otrivki/865-organizacija-utilizacii-i-pererabotki-bytovyh-othodov-v-evrope-ssha-i-japonii.html?ysclid=lsfvidhx7f173574736&utm_referrer=

[https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F](https://yandex.ru/) свободный (дата обращения: 10.02.2024).

2. Европа: переработка бумаги превысила 70%. [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <http://greenrevolution.ru/2014/07/03/evropa-pererabotka-bumagi-prevysila-70/> свободный (дата обращения: 10.02.2024).

3. В Швеции готовы перерабатывать мусор из других стран [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://ecologynow.ru/news/v-svecii-gotovy-pererabatyvat-musor-iz-drugih-stran?ysclid=lsfvmpitg716716906> свободный (дата обращения 10.02.2024).

4. Отходный промысел. Как мусор становится индустрией. [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/2588922?ysclid=lsfvq2lodk303970275> свободный (дата обращения 10.02.2024).

5. РСМД : Земля против мусора. [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/zemlya-protiv-musora/?ysclid=lsfvsin7ah601139152> свободный (дата обращения: 10.02.2024).

УДК 502.1

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Володина Т.А., Коротков С.Г.

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

В работе представлены различные примеры методов обработки, которые сегодня используются для сокращения объёма твёрдых отходов и восстановления материальных ресурсов. Эти методы варьируются от простых до более сложных и технологически продвинутых, включая механическую сортировку, биологическую обработку и термическую переработку.

Ключевые слова: технологии, твёрдые коммунальные отходы, пиролиз, подходы, переработка, утилизация.

В настоящее время управление твердыми коммунальными отходами (ТКО) является одной из ключевых проблем во всем мире. Этот сектор занимает второе место после водоснабжения и канализации в системах городского, промышленного и сельского хозяйства по затратам и инвестициям [1]. Проблема становится все более серьезной, поскольку в развитых странах годовой рост ТКО составляет от 1 % до 4 %, что примерно равно 0,2-0,7 тонн на каждого человека. Ежегодно в мире образуется около 420 миллиардов тонн ТКО и данный объем постоянно растет. Например, только в 15 странах Евросоюза количество ТКО на одного человека в 1980 году увеличилось на 37% [2]. Общий объем ТКО в мире составляет от 1,2 до 4,2 миллиарда тонн в год, а в городах США только каждый год образуется около 150

миллионов тонн отходов, в Японии этот показатель превышает 72 миллиона тонн ежегодно.

Одной из особых проблем является рост опасных (токсичных) отходов, которые способны вызвать отравление и причинить вред живым организмам. В США около 41 % всех твердых коммунальных отходов относятся к этой категории, в Венгрии этот показатель составляет 33,5%, во Франции - 6%, в Великобритании – 3 %, в Италии и Японии - всего 0,3%.

В настоящее время захоронение отходов на полигонах является наиболее распространенным способом их утилизации (составляя примерно 99 % общего объема ТКО в России, 77 % в Европе и 30 % в Японии).

Согласно данным Минприроды, в России каждый год образуется около 70 милл.тонн ТКО, из которых только около 10% направляется на утилизацию и обезвреживание, а оставшиеся 90 % подвергаются захоронению на объектах, не отвечающих законодательству. В России на данный момент не построено ни одного мусороперерабатывающего завода (МПЗ). Основная часть мусора, 85 %, идет на захоронение, 12 % сжигается и только 3 % отправляется на переработку после ручного сортирования. Но уже в Костромской и Белгородской областях начато строительство комплексов по переработке отходов [3].

Одно из основных направлений улучшения использования ресурсов - это решение проблемы переработки и повторного использования отходов производства и потребления. Для этого необходимо реализовать целенаправленную государственную политику, которая бы способствовала созданию инновационных систем, включающих переработчиков мусора, производителей товаров из отходов и потребителей таких товаров.

Технологии обезвреживания, подготовки, переработки и использования отходов очень разнообразны и зависят от физических и химических свойств отходов, их размещения и степени опасности. На текущий момент известно более 30 технологий обезвреживания и утилизации отходов, при этом каждая технология имеет до 50 разновидностей (рисунок 1). Выбор конкретной технологии переработки отходов зависит от состава отходов, экологической ситуации, потребности в сырье и продукции, а также от природных, климатических, экологических и социальных условий.

Существующие системы захоронения представляют собой комплексные объекты, оборудованные устройствами, предотвращающими контакт отходов с окружающей средой. В России таких полигонов всего около 1 %. Несмотря на реальную проблему нехватки мест для захоронения отходов, строительство новых полигонов для переработки становится все более затратным.

Существующая переработка ТКО производится по следующим основным технологиям:

Термическая обработка

Термическая обработка подразумевает использование высоких температур для утилизации отходов. Сжигание отходов имеет свои преимущества,

такие как экономичность, использование полученной энергии, отсутствие загрязнения сточных вод и значительное сокращение необходимого пространства для хранения отходов. Однако у этого метода есть и недостатки, такие как выделение токсичных газов в атмосферу и необходимость особых условий для хранения полученной золы.

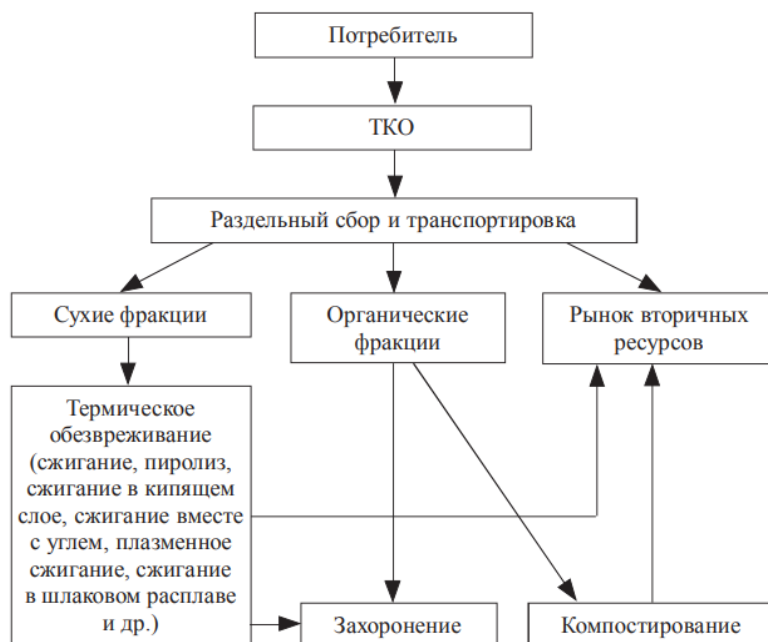


Рисунок 1 - Основные технологии переработки ТКО

Газификация

Метод газификации является одним из способов переработки отходов, при котором органические вещества утилизируются при высоких температурах с дефицитом кислорода. Основные преимущества метода газификации включают минимальное негативное воздействие на экологию, отсутствие сажи, отсутствие необходимости очищать образующийся газ и экономичность. Однако, для его реализации требуется сортировка и подготовка сырья.

Пиролиз

Пиролиз - это способ утилизации мусора с применением высокой температуры без доступа кислорода. Основные преимущества пиролиза включают использование выделяемого тепла в качестве энергии, отсутствие вредных примесей в газе, экономии на очистительных мероприятиях и возможность использования золы в дорожном хозяйстве. Недостатками пиролиза являются увеличение сметы расходов за счет затрат на оборудование и оставшаяся зола, содержащая тяжелые металлы при низкотемпературном пиролизе.

Компостирование

Компостирование представляет собой биотехнологическую переработку мусора путем утилизации органических продуктов с помощью аэробных организмов. Основные преимущества компостирования включают

снижение количества свалок, образование полезного компоста для дальнейшего использования и отсутствие загрязнения окружающей среды без применения химических веществ. Однако, для некомпостируемого сырья требуется обезвреживание и правильное хранение, а биотермический компост нельзя использовать из-за наличия вредных веществ. Также обработка и уничтожение исходного продукта требует большого количества энергии.

Брикетирование

Переработка ТКО путем уплотнения позволяет удобно транспортировать и хранить брикетированный мусор, и в основном применяется в сельском хозяйстве и промышленности.

Вторичная переработка мусора

Вторичная переработка мусора возможна в случаях, когда отходы можно повторно использовать в промышленном производстве. Такой способ переработки требует тщательной сортировки сырья. Вторичное использование позволяет сэкономить энергию, снизить загрязнение окружающей среды и уменьшить потребление природных ресурсов [4].

Экологический анализ методов показывает, что по своему воздействию на окружающую среду они имеют примерно равные показатели. В большинстве стран твердые коммунальные отходы складироваются на полигонах, за исключением Франции и Японии. В России на захоронение идет 85 %, 12 % сжигается и только 3 % отправляется на переработку после ручной сортировки. Эти данные показывают, что в текущий период ТКО используют крайне неэффективно и неразумно.

Выбор метода переработки определяется техническими возможностями и количеством образующегося мусора, а также экономическими соображениями. Однако, переработка ТКО требует значительных затрат [5].

Библиографический список:

1. Анисимов А.В. Экологический менеджмент : учеб. Ростов н/Д : Феникс, 2009. 348 с.
2. Милютин А.Г., Андросова Н. К., Калинин И. С., Порцевский А. К. Экология. Основы геоэкологии. М. : Издательство Юрайт, 2013. 542 с.
3. Погосян А. Московским мусором заинтересовались // Известия. 2015. 13 янв. с. 1–2.
4. Переработка ТКО, способы обработки, захоронение ТКО [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://old.torg-koms.ru/novosti/stati/pererabotka-tko-/?ysclid=lsk97mtc3r197683202> свободный__ (дата обращения 10.02.2024).
5. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: [учеб. пособие]/Л. Б. Хорошавин, В.А. Беляков, Е.А. Свалов; [науч. ред. А.С. Носков]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 220 с.

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРУДА-ОХЛАДИТЕЛЯ НА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Воробьев В.В., Коротков С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: viktorv_17@mail.ru*

Очистка водных объектов является одной из самых сложных и трудоемких задач при ликвидации последствий загрязнения нефтью и нефтепродуктами, что связано с динамичностью водной среды и сложностью процессов трансформации углеводородов в ней.

Ключевые слова: загрязнения водоемов нефтепродуктами, методы очистки, нефтяная пленка, экология.

Главные последствия контаминации нефтью водной среды – это образование пленки на воде, ухудшающей газообмен в поверхностных слоях, препятствующей проникновению света, и, как следствие, фотосинтезу, а также оседание тяжелых фракций на дно. Загрязнение углеводородами приводит к ухудшению физических и органолептических свойств воды и вызывает нарушения видовой и трофической структур водных экосистем. Попав в водную среду, нефть распределяется по ее профилю и оказывает влияние на все группы организмов, обитающих как в поверхностном слое, так и в толще и в донных осадках. Особенно сильно негативное влияние разливов в прибрежной зоне и на берегу.

Нефть с точки зрения химии представляет собой смесь углеводородов (метановые, нафтеновые, ароматические) в присутствии органических соединений, содержащих серу, азот, кислород. В распоряжении служб по борьбе с разливами нефти и нефтепродуктов имеется разнообразный набор методов, которые делятся на 4 основные группы:

- механические;
- термические;
- физико-химические;
- биологические;

Механические способы

Первоочередной мерой при ликвидации аварий на воде является механический сбор нефти, который наиболее эффективен в первые часы после разлива, пока толщина нефтяного слоя остается еще достаточно большой. Со временем под воздействием ветра и течения происходит растекание и дрейф пятна, его площадь увеличивается, а толщина уменьшается, что значительно затрудняет процесс отделения нефти от воды. К числу недостатков механических методов относится и то, что данная технология не решает проблему полностью и после сбора на поверхности остается более 30% нефти, а при

использовании всасывающих устройств, они поглощают значительное количество воды, содержащей нефтепродукты в различных состояниях (плавающие, эмульгированные и пр.). Чтобы вернуть ее обратно в водоем требуется дополнительная очистка, а это существенно удорожает процесс. Достоинствами метода является возможность утилизации собранной нефти и минимальный урон, наносимый экосистеме.

Для очистки воды механическими способами применяют либо стационарный сбор нефти с помощью бонов и нефтесборщиков для локализации и удаления нефтяных пятен, либо передвижные скиммеры – специальные устройства, которые отводят, собирают поллютант с поверхности, перекачивают его с помощью насоса в накопительный бак [1].

Термические способы

Термический метод является экологически небезопасным и основан на выжигании нефти. Он применяется при толщине слоя не менее 3 мм (иначе из-за охлаждающего действия воды нефть гореть не будет) и непосредственно сразу после загрязнения до образования эмульсии с водой. Физико-химические методы ликвидации разливов нефти базируются на использовании реагентов-диспергентов и сорбентов. Диспергирующие средства разрушают сплошную нефтяную пленку и ускоряют процесс диффузии нефти в водную толщу, восстанавливают водо-, газо-, энергообмен с атмосферой, тем самым приводя к усилению биodeградации. С помощью этих веществ можно быстро и эффективно снизить ущерб от загрязнения для птиц, обитающих на поверхности и для растительности на побережье. Однако большинство препаратов не способно разрушать очень вязкие нефтепродукты и стойкие эмульсии. К тому же, в качестве диспергентов используются различные поверхностно-активные вещества (ПАВ), большинство из которых являются высокотоксичными соединениями, и их отрицательное воздействие на водные организмы иногда бывает более существенным, чем самой нефти [2].

Физико-химические способы

Для упрощения и ускорения процессов механического сбора нефтяных загрязнений с поверхности воды используют различные физико-химические методы. К ним относят применение различных сорбентов, например, торфяной бертинат – обезвоженный торф, аэросил – пирогенная двуокись кремния (SiO_2), сорбент на основе бутадиенстирольного каучука в виде крошки и др. Наиболее предпочтительно использование углеродных сорбентов, в особенности углематериалов высокой пористости, которая достигается специальной обработкой углей: гидрофобный вспученный перлит, угольные адсорбенты, полученные в процессе окисления полукоксованием каменных углей, карбонизированный уголь, терморасширенный графит. К тому же, широкое применение находят синтетические сорбенты, изготавливаемые из полипропиленовых волокон, формируемых в нетканые рулонные материалы различной толщины [3].

Кроме того, используют полиуретан в губчатом или гранулированном виде, формованный полиэтилен с полимерными наполнителями и другие ви-

ды пластиков. В качестве сорбентов широко применяют пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели, активные глины и др. Наибольший интерес вызывают сорбенты, являющиеся отходами различных производств [4].

При их использовании в качестве сорбентов решаются сразу две задачи: очистка загрязненной воды и утилизация отходов.

Биологические способы

Большинство применяемых на практике технологий механической и физико-химической очистки воды от нефти и нефтепродуктов многостадийны, трудоемки, связаны с большими материальными затратами и не обеспечивают полного удаления загрязнителя с поверхности, не говоря уже об углеводородах, растворенных или эмульгированных в воде. На сегодняшний день большое внимание привлекают биологические методы очистки водных объектов от нефти и нефтепродуктов, преимуществами которых являются эффективность, экономичность, экологическая безопасность и отсутствие вторичных загрязнений. Ведущая роль в процессе очистки воды принадлежит микроорганизмам, т.к. только они способны разлагать нефть и ее производные до более простых и безопасных продуктов [5]. В таблице 1 описаны методы очистки воды от нефтяных загрязнений.

Таблица 1 – Методы очистки воды от нефтепродуктов

Название метода	Сущность метода очистки	Применение на практике
Механический	Нефть удаляется из воды путем ее отстаивания и фильтрации с последующим ее улавливанием специальными устройствами или вручную	1. Нефтеловушки 2. Нефтесборщики 3. Бензомаслоуловители
Химический	В Воду добавляют различные химические реагенты, которые вступают в реакцию с нефтью и осаждают ее в виде нерастворимых осадков	Добавление поверхностно-активных веществ
Физико-химический	Из воды удаляют мелкие и растворенные примеси, предварительно обработав нефтяную пленку	1. На пятно нефти напыляют тонкоразмолотый порошок активированного угля 2. Используют магнитные ловушки, предварительно обработав нефтяное пятно порошком
Биологический	Основан на использовании специальных микроорганизмов, питающихся нефтью и разрушающих ее	Обработка загрязнений препаратами, содержащими микроорганизмы и бактерии

Нам необходимо сравнить все перечисленные методы очистки от нефтяных загрязнений и сделать вывод о том, какой из методов самый эффективный. В таблице 2 приведен сравнительный анализ методов очистки нефтепродуктов.

Как видно из таблицы, все методы имеют как свои плюсы, так и минусы. Проведённое исследование позволяет сделать вывод о том, что каждый метод применим в зависимости от конкретной аварийной ситуации. На мой взгляд, наиболее безопасным и эффективным является биологический метод очистки.

Таблица 2 - Сравнительный анализ способов очистки

Метод	Плюсы	Минусы
Механический	Один из главных методов ликвидации нефтеразливов. Наибольшая эффективность достигается в первые часы после аварии. Когда нефть лежит толстым слоем на поверхности воды	Сбор нефти затруднен при малой толщине слоя большой площади разлива и движение воды под воздействием ветра
Химический	Степень очистки воды от нефти может достигать 98%. Метод применяют, если механический сбор не возможен	Метод применим для очистки ограниченного количества воды
Физико-химический	Применение метода ускоряет процессы разрушения нефти и ослабляет ее токсическое воздействие. При нанесении порошка активированного угля пятно сразу перестает растекаться	Сбор « грязного » порошка сложная и трудоёмкая работа, загрязняющая корабли и вредная для людей. Уничтожение собранной массы путем сжигания загрязняет окружающую среду
Биологический	Среди всех методов играет самую большую роль. Специальные бактерии питаются нефтью, быстро внедряются в ее слой и восстанавливают доступ воздуха. Микроорганизмы нетоксичны, одинаково хорошо работают в пресной и соленой воде	Не всегда понятно, каких побочных воздействий на экосистему следует ожидать от микроорганизмов в будущем

Библиографический список

1. Шамраев А.В. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды / А. В. Шамраев, Т. С. Шорина // Вестник

Оренбургского государственного университета. – 2009. – Вып. 6 (112) – 642–645 с.

2. Башкин В.Н. Аварийные разливы углеводородов в водную среду: проблемы и пути их решения / В. Н. Башкин, Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – Вып. 11. – 47 с.

3. Куликова И.Ю. Современные технологии очистки почвенных территорий и водных акваторий от нефтяного загрязнения / И. Ю. Куликова, И. С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – Вып. 25. – 72–75 с.

4. Куликова И. Ю. Современные технологии очистки почвенных территорий и водных акваторий от нефтяного загрязнения / И. Ю. Куликова, И. С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – Вып. 25. – 72–75 с.

5. Куликова И.Ю. Микробиологические способы ликвидации последствий аварийных разливов нефти в море / И. Ю. Куликова, И. С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2008. – Вып. 5. – 24–29 с.

УДК 672. 1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРУДА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Воробьев В.В., Коротков С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: viktorv_17@mail.ru*

В настоящее время не уступает своей актуальностью и глобальностью экологическая проблема, связанная с загрязнением окружающей среды от нефтеперерабатывающих предприятий. Наиболее остро данная проблема относится к водным ресурсам, так как загрязнение происходит с достаточно высокой степенью распространения по акватории, в результате приводит к не пригодности для питьевого и технического водоснабжения.

Ключевые слова: загрязнения водоемов нефтепродуктами, маслоохладители, пруд-охладитель, флуоресцентные датчики, экология.

Нефть с точки зрения химии представляет собой смесь углеводородов (метановые, нафтеновые, ароматические) в присутствии органических соединений, содержащих серу, азот, кислород. Также в нефти могут содержаться минеральные соли и присутствовать газы [1].

На ЗС ТЭЦ выявлено 2 способа попадания масла в пруд-охладитель через:

- маслоохладители смазки турбины;

- маслоохладители уплотнения валогенератора.

Маслоохладители устанавливаются для охлаждения масла, поступающего к подшипникам паровой турбины и на уплотнение валогенератора. Масло в охладителе движется в межтрубном пространстве. Давление масла в трубках должно быть обязательно больше, чем давление охлаждающей воды, для того чтобы в случае появления неплотностей в вальцовке трубок не происходило обводнения масла [2].

Для охлаждения маслоохладителей используется циркулирующая вода, которая поступает на всас насосов газоохлаждения, которые подают воды на маслоохладители смазки турбины и маслоохладитель УВГ, вода которая охладила турбинное масло сбрасывается в сбросные циркулирующие водоводы № 1 и 2, далее циркулирующая вода сбрасывается в пруд-охладитель.

Пруд-охладитель ЗС ТЭЦ служит для охлаждения воды, поступающей по обратному циклу вновь в подводящий канал через шлюз-регулятор №2 и создает резервный запас воды для поддержания работы насосов станций 1-го подъема, при прекращении или уменьшении подачи воды береговой насосной станцией.

Пруд-охладитель одной стороной примыкает к дамбе подводящего канала, три других стороны образованы насыпной дамбой, конструкция которой аналогична дамбам каналов. Верх дамбы имеет отметку 196,9 м.

Для подачи воды из пруда в подводящий канал имеется шлюз-регулятор №2 с двумя отверстиями сечением 1,5x1,5м, перекрываемыми плоскими стальными затворами с ручными винтовыми подъемниками.

Пруд-охладитель имеет площадь зеркала по отметке 194 м – 700000 м² и среднюю глубину 2 м [3].

При работе маслоохладителей с разрежением в водяной части, поврежденный маслоохладитель можно обнаружить только путем поочередного отключения работающих маслоохладителей по маслу. Когда отключение одного из маслоохладителей прекращает падение уровня масла, можно считать утечку найденной и поврежденный охладитель вывести в ремонт. Однако поочередное отключение маслоохладителей с выдержкой времени для контроля уровня – это операция довольно длительная, и ею можно заниматься при медленном снижении уровня в баке. Вместе с тем в соответствии с требованием охраны окружающей среды должна быть исключена возможность загрязнения сточных вод маслом.

В результате на ЗС ТЭЦ отсутствует постоянный контроль за определением в воде различных нефтепродуктов (турбинного масла) в сбросных циркулирующих водоводах и в пруду-охладителе. Попадание масла в воду определяется только визуальным способом.

Наиболее объективная картина, показывающая динамику загрязнений сточных и повторно используемых вод, может быть получена постоянными измерениями в режиме online поточными анализаторами. Непрерывные методы контроля сбросов приобретают всё большую актуальность ввиду ухудшения экологической ситуации и связанным с этим ужесточением норм

законодательства РФ в области экологии.

С задачей отбора проб относительно чистой воды, содержащей небольшое количество загрязнений и невысокую концентрацию нефтепродуктов, хорошо справляются поточные приборы. При этом вода, забираемая для анализа, отводится по специальным трубкам небольшого диаметра в камеру прибора – анализатора [4].

Для решения этой задачи, компанией GO Systemelektronik разработаны специальные флуоресцентные датчики спектрального анализа, предназначенные для постоянной работы в потоке исследуемой жидкости совместно с анализаторами присутствия нефти в воде, рисунок 1. Форма и материал датчиков обеспечивают их длительное функционирование в потоке сильно загрязнённой жидкости без образования на их поверхности налёта, снижающего работоспособность прибора. При извлечении датчика, незначительная плёнка образуется на его поверхности вследствие высыхания остатков загрязнённой воды, которая впрочем, достаточно легко удаляется, благодаря удобной форме наружной поверхности прибора. В случае необходимости применения в чрезвычайно загрязнённой воде, датчик опционально может комплектоваться автоматическим устройством очистки с помощью сжатого воздуха.



Рисунок 1 - Флуоресцентный датчик спектрального анализа

Датчик нефтепродуктов GO Systemelektronik является незаменимым инструментом для количественного определения нефтепродуктов, содержащихся в загрязнённых стоках. В результате производится контроль качества воды и контроль за загрязнением окружающей среды, путем установки данных датчиков на сбросных циркулирующих водоводах.

Библиографический список

1. Практикум по дисциплине «Основы органической химии и химии нефти и газа»: учеб пособие для студ./ под ред. В. Н. Кошелева — М.: РГУ нефти и газа, 2014. – 66 с.

2. Трухний А.Д., Лосев С.М., Стационарные паровые турбины. – М.: ЭНЕРГОИЗДАТ, 2018. – 300 с.

3. ПТИ 899-ТЦ-04-2023 – 11 с.

4. Анализатор нефтепродуктов для воды, стоков и канализации [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://vistaros.ru/stati/analizatory/pribor-dlya-opredeleniya-nefteproduktov-v-vode.html>./свободный (дата обращения: 12.01.2024).

УДК 504.3.054

СОСНА В КАЧЕСТВЕ ТЕСТ ОБЪЕКТА В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ГОРОДЕ НОВОКУЗНЕЦК

Трофименкова В.А., Лысенко Н.Е., Жидких А.Е., Шпилова А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: asya_nk77@mail.ru*

В статье описывается исследование загрязнения воздуха в г. Новокузнецк. В статье описаны исследования по методике «Определения состояния хвои сосны для оценки загрязнённости атмосферы».

Ключевые слова: растения, город Новокузнецк, объекты исследования, хвоя сосны, воздух.

Кемеровская область является одним из крупнейших промышленных регионов страны, с высоким экономическим потенциалом. Основой экономики региона являются угольная промышленность и металлургия. В Кузбассе сосредоточены основные угледобывающие компании страны, крупнейшие из которых: ОАО ХК "Кузбассразрезуголь", ОАО УК "Кузбассуголь", ОАО УК "Южкузбассуголь" и др. [4].

Город Новокузнецк является одним из важнейших промышленных центров страны и имеет ярко выраженную специализацию: металлургическое производство, добыча угля, промышленное и гражданское строительство. В городе 42 предприятия, которые выбрасывают в атмосферу более ста наименований загрязняющих веществ. Новокузнецк является одним из крупнейших металлургических и угледобывающих центров России, как следствие является одним из грязных городов. Следует отметить, что состояние технологического и очистного оборудования промышленных предприятий города оставляет желать лучшего – только 85 % выбросов улавливаются и обезвреживаются. Остальное остается в атмосфере и в сточных водах. Такие вещества, как диоксид серы (SO₂), диоксид азота (NO₃), углеводороды и т.д., оказывают наибольшее влияние на загрязнение окружающей среды. Среди них наиболее типичным является диоксид серы, образующийся при сгорании серосодержащего топлива (работа предприятий теплоэнергетики, котельных, отопительных печей населения, а также транспорта, особенно

дизельного) [5].

Город Новокузнецк расположен на юге Западной Сибири, на реке Томь, в южной части Кемеровской области. Площадь города – 424,27 км². Новокузнецк – 31-й по численности населения город России, его населяют 539 863 человека (2022г). Город состоит из 6 районов: Центральный, Заводской, Куйбышевский, Новоильинский, Кузнецкий и Орджоникидзевский.

Цель исследования: исследование состояния воздуха в городе Новокузнецк по хвое сосны, для выявления района города с наиболее чистым воздухом из следующих: Кузнецкий, Центральный, Заводской.

Задачи исследования:

- определить участки исследований, собрать пробы хвои сосны;
- изучить состояние хвои сосны в разных районах г. Новокузнецк;
- проанализировать и обобщить результаты исследования.

Объекты исследования - районы города Новокузнецка.

Растения играют огромную роль в жизни людей. Они вырабатывают кислород, защищают от ветра и шума, снижают запыленность и загазованность воздуха, влияют на тепловой режим. Есть растения, которые активно реагируют на загрязнения окружающей среды, по этим растениям можно судить о качестве воздуха в городе [6].

Повышенную чувствительность к SO₂ и другим загрязнениям окружающей среды имеют хвойные породы. Чувствительность к нему убывает в последовательности: ель - пихта - сосна - лиственница. При нормальных условиях продолжительность жизни сосны составляет 3 - 4 года, а при очень сильном загрязнении атмосферы 1 - 2 года. Хвоя сосны приобретает темно красный цвет, окрашиваясь от основания иглы к ее острию, и, прожив всего один год, хвоя отмирает и опадает. Поэтому по продолжительности жизни хвои сосны и характеру некрозов можно определить степень поражения сосны сернистым газом [1,7].

Для проведения исследования была выбрана сосна в качестве тест объекта.

Метод исследования - биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха с помощью сосны в качестве тест-объекта.

Исследования проводились по методике «Определения состояния хвои сосны для оценки загрязнённости атмосферы» [2]. Методика индикации чистоты атмосферы по хвое сосны состоит в следующем. С нескольких боковых побегов в средней части кроны 5-10 деревьев сосны в 15-20 летнем возрасте отбирают 200-300 пар хвоинок 2 и 3-его года жизни. Анализ хвои проводят в лаборатории. Вся хвоя делится на части (неповреждённая хвоя с пятнами и хвоя с признаками усыхания), и подсчитывается количество хвоинок в каждой группе. Данные заносятся в рабочую таблицу с указанием даты отбора проб на каждом ключевом участке.

Ход работы

Для проведения исследований были отобраны пробы в следующих местах.

Первый объект находился в центральном районе (рисунок 1). Проба была взята в парке Гагарина. Время осмотра 14:00. Сосна возрастом 27 лет находится в пяти метрах от площадки для воркаута, напротив в 49 метрах находится автомобильная дорога по проспекту Бардина, по пресечению с ней идет дорога по Кутузова, она в 45 метрах от сосны.



Рисунок 1 - Парк Гагарина

Второй объект находился в заводском районе (рисунок 2). Пробу отобрали в 15:00 с сосны возрастом 28 лет с аллеи Выпускников школ, в 14 метрах находится стадион Забсбовец, в противоположной стороне в метрах 47 автомобильная дорога по проспекту Советской армии.



Рисунок 2 - Аллея Выпускников школ

Третий объект находился в Кузнецком районе (рисунок 3). Проба сосны возрастом 25 лет взята в сквере «Пламя» в метрах 43 от автомобильной дороги по улице Ленина в 16:30.



Рисунок 3 - Сквер «Пламя»

Проведено оценивание степени вытоптанности участка по баллам от 1 до 4:

- 1 - вытаптывания нет;
- 2 - вытоптаны тропы;
- 3 - нет ни травы, ни кустарников;
- 4 - осталось немного травы вокруг деревьев.

На всех трех участках первая степень вытоптанности.

С каждого дерева были собраны около 30 хвоинок и визуально проанализировали их состояние. Распределяем по степени повреждения: неповрежденные, с пятнами, с признаками усыхания, и подсчитываем количество хвоинок в каждой группе (рисунок 4). Данные исследования заносим в таблицу 1.

Таблица 1 - Состояние повреждения и усыхания сосновой хвои

Участок	Класс повреждения хвои			Класс усыхания хвои сосны			
	1	2	3	1	2	3	4
	Доля, %			Доля, %			
1	57,2	42,8	-	64,3	35,7	-	-
2	47,6	52,4	-	76,2	23,8	-	-
3	38,9	61,1	-	55,6	44,4	-	-







Классы повреждения (некрозы)	1	2	3			
Классы усыхания	1	1	1	2	3	4
						

Рисунок 4 - Классы повреждения и усыхания хвои

Классы повреждения: 1 - хвоя без пятен; 2 - хвоя с небольшим числом мелких пятен; 3 - хвоя с большим числом черных и желтых пятен. Классы усыхания: 1 - на хвое нет сухих участков; 2 - на хвое усох кончик 2-5 мм; 3 - усохла 1/3 хвои; 4 - вся или большая часть хвои сухая [2].

Если сосновые иголки без пятен, воздух считается идеально чистым; если хвоинки с редкими мелкими пятнами, воздух чистый. Если имеются хвоинки с частыми мелкими пятнами, можно говорить о загрязненном воздухе, а при наличии черных и желтых пятен об опасно грязном воздухе [7].

По результатам исследования повреждений можно наблюдать, что в образцах с центрального района высокий процент хвои без пятен и меньший процент хвои с небольшим числом мелких пятен. По результатам исследований можно сделать вывод что наиболее благоприятный район с чистым воздухом является Центральный. На втором месте по загрязнению воздуха – Заводской. И самый загрязненный воздух в Кузнецком районе.

Библиографический список

1. Алексеев С. В. Изучаем экологию-экспериментально : Практикум по экол. оценке состояния окружающей среды / С. В. Алексеев, А. М. Беккер. Санкт-Петербург. гор. ун-т пед. мастерства, 1993. – 64 с.
2. Бондарук М. М. Биология. Дополнительные материалы к урокам и внеклассным мероприятиям по биологии и экологии в 10- 11 классах / М. М. Бондарук, Н. В. Ковылина. – 2-е изд. – Волгоград: Учитель, 2008. – 167 с.
3. Богданова, Т.Л. Биология. Задания и упражнения / Т.Л. Богданова, Москва: Высш. шк., 1991. – 350 с.
4. Осипов Ю.С. Большая Российская энциклопедия / Ю.С. Осипов – Москва: Научное издательство, 2004. – 992 с.
5. Дымова Т. В. Биоиндикация загрязнений окружающей среды города / Т.В. Дымова, Б.М. Насибулина, Т.Ф. Курочкина. – Астрахань: Астраханский ун-т, 2007. – 87 с.
6. Миркин Б. М. Экология России / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. – Москва: Юнисам, 1995. – 231 с.
7. Экология техносферы: учебное пособие / В. В. Вершинин, Д. А. Шаповалов, А. О. Хуторова, В. А. Широкова, Н. В. Хватыш, А. Ф. Гуров. – Москва: ГУЗ, 2017. – 164 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Мальков Д.П., Михайличенко Т.А.

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

Данное исследование направлено на изучение и оценку путей повышения эффективности работы теплоэнергетического оборудования АО «Евраз ЗСМК». В работе рассматриваются современные технологии и методы управления, которые могут применяться для оптимизации процессов производства и повышения энергетической эффективности. Особое внимание уделяется использованию современных систем мониторинга и диагностики, а также внедрению инновационных решений для улучшения работы оборудования. Результаты исследования могут быть использованы для разработки программы модернизации теплоэнергетического оборудования и повышения его надежности и эффективности.

Ключевые слова: турбина, котёл, пароперегреватель, теплоэнергетическое оборудование, эффективность работы, АО «ЕВРАЗ ЗСМК», исследование, оценка, повышение эффективности, техническое обслуживание, технологический процесс, энергосбережение, мониторинг, оптимизация, эксплуатация.

Сейчас в мире изучается текущее состояние оборудования и выявляются основные проблемы, которые могут препятствовать достижению оптимальной производительности. Предлагаются конкретные меры по оптимизации работы оборудования с целью увеличения его эффективности. Результаты исследования могут быть использованы для повышения энергоэффективности на предприятии и снижения затрат на теплоэнергию.

Перспективным направлением развития теплоэнергетических установок, таких как двигатели и котельные установки, является использование воды в процессе горения. Эксперименты показали, что даже небольшое количество воды может значительно улучшить качество горения и обеспечить возможность зажигания топлива. Исследования показывают, что вода играет важную роль в процессе горения углеводородов. Результаты табличных данных подтверждают, что вода участвует в горении и необходима для этого процесса (таблица 1).

Поскольку способность к диссоциации углеводородного горючего значительно превосходит другие компоненты, то, в первую очередь, будет происходить распад углеводородных молекул с образованием радикалов. Кроме того, константа равновесия процесса диссоциации воды на четыре порядка выше, чем у кислорода и, тем более, азота. Поэтому очевидно, что в начале горения происходит реакция прямого взаимодействия продуктов диссоциации воды с радикалами углеводородов по схеме:

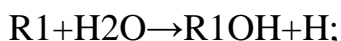
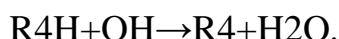


Таблица 1 - Степень диссоциации компонентов горючего, воды и воздуха

Соединение (радикал)	Уравнение диссоциации (распада)	Константа равновесия диссоциации (распада)	Степень диссоциации (распада)
Углеводородное горючее (газойль)	$C_nH_m \rightarrow R_1 + R_2 + \dots$	$5,24 \cdot 10^5$	-
Вода	$H_2O \leftrightarrow OH + H$	$2,16 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
	$H_2O \leftrightarrow H_2 + O$	$6,53 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
Гидроксил	$OH \leftrightarrow H + O$	$2,57 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Кислород	$O_2 \leftrightarrow O + O$	$2,08 \cdot 10^{-10}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$
Азот	$N_2 \leftrightarrow N + N$	$4,4 \cdot 10^{-25}$	$3,32 \cdot 10^{-13}$

Однако для реализации данного способа предлагается довольно сложная конструкция. Более простая реализация этого способа предлагается в конструкции изобретения [4].

В нашей стране подача паров воды во всасывающий тракт топливных систем карбюраторных двигателей впервые стала широко применяться на тракторных карбюраторных двигателях, что позволило использовать низкооктановые керосины при относительно высоких степенях сжатия. В автомобильных карбюраторных двигателях это дало возможность повысить их мощность и экономичность также за счёт увеличения степени сжатия. Широкое распространение использования воды в качестве компонентов топлива нашло в авиационных поршневых двигателях.



Эффективное участие атомов молекулы воды в горении водотопливных смесей и суспензий объясняется следующим. Скорость диффузии атомов водорода (вследствие их малого молекулярного веса) во много раз больше, чем у молекул кислорода и углеводородных радикалов. Поэтому образующиеся в избытке атомы водорода воды будут быстро диффундировать в зону избытка кислорода воздуха, и реакция их горения компенсирует затраты энергии на диссоциацию воды. Участием кислорода воды в горении можно объяснить также и выгорание частиц сажи при использовании паров воды и водотопливных эмульсий, которое происходит за счет того, что сажевые частицы, образующиеся в результате крекинга в зонах с дефицитом кислорода воздуха, взаимодействуют с кислородом воды и гидроксильными радикалами, и за счёт этого происходит их предварительное окисление. В результате предотвращается коагуляция сажевых частиц и происходит их быстрое дальнейшее выгорание.

В ходе экспериментальных исследований с водо-топливными эмульси-

ями на воде, приготовленной на основе изотопа кислорода ^{18}O , было установлено, что 60 % атомов кислорода воды водотопливной эмульсии участвовали в окислении углеводородов горючего [2]. Это указывает на то, что водотопливная эмульсия является не простой смесью «негорючей» воды и углеводородного горючего, а особым компонентом топлива, необходимым для горения и повышающим его эффективность.

Для усиления химического взаимодействия углеводородного горючего и воды немецкой фирмой «Лугсбург-Нюрнберг» предложен способ впрыска водотопливной эмульсии на нагретую до высокой температуры ($1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) поверхность катализатора, изготовленного из никеля, платины или гидроксида алюминия [3]. Это обеспечивает эндотермическую реакцию



Полученные при этом газообразные продукты CO и H_2 смешиваются с кислородом воздуха в камере.

Здесь при подаче воды и водоспиртовых смесей за счет увеличения наддува удалось повысить их мощность от 15% до 40 %. В годы Второй мировой войны многие американские, английские и немецкие самолёты были оборудованы системами подачи воды с целью форсирования мощности двигателей при взлёте самолётов и во время боя. Известно применение водоспиртовых смесей для ракетных двигателей на немецких баллистических ракетах ФАУ-2.

В настоящее время известно, что главным фактором, препятствующим появлению детонации в бензинах с добавками паров воды, является физический фактор: охлаждение рабочей смеси и конструкции (деталей) двигателя за счёт скрытой теплоты парообразования воды, которая значительно больше, чем у бензина, а также действие водяного пара как химически инертного газа в качестве рабочего тела. Вода способствует замедлению холодно-пламенных процессов в части заряда, сгорающей в последнюю очередь, и, таким образом, предотвращает процесс образования детонации. Кроме значительного антидетонационного эффекта воды в карбюраторных двигателях уменьшается количество образованного нагара. При этом сам нагар становится мягче и легче поддается очистке. Это можно объяснить действием химического фактора воды: наличием кислорода воды в зоне реакции, который ускоряет процесс догорания частиц углерода, при этом значительно снижается образование нагара. Это уменьшает износ и способствует увеличению ресурса двигателя.

В настоящее время известно достаточно много работ, посвящённых исследованиям эффективности подачи воды в дизели [5, 6]. Разработано значительное количество устройств подачи воды как во всасывающую систему дизеля, так и непосредственно в камеру сгорания.

Использование воды в дизелях является более эффективным по воздействию на его экологические и экономические показатели, но и более сложным в осуществлении, чем для карбюраторных двигателей. Поэтому

вначале большинство работ было направлено, аналогично исследованиям использования воды в карбюраторных двигателях, на внедрение способов и устройств подачи воды во всасывающий тракт дизеля.

Экспериментальные исследования тепловозных дизелей с природным газом, проведенные во ВНИИЖТе, показали, что в этом случае распылители форсунок при работе в газодизельном режиме перегреваются и часто выходят из строя. Это обусловлено тем, что через распылители подается малое количество охлаждающего их жидкого горючего при высокой температуре горения газа. В этом случае для обеспечения работоспособности форсунок применяют систему охлаждения распылителей, что, к сожалению, значительно усложняет конструкцию и снижает надежность форсунок.

В мировой практике существуют способы использования водотопливной эмульсии в качестве запального горючего для газодизельного процесса с биогазом. Исследования показали, что применение такой эмульсии позволяет снизить температуру распылителя форсунки на 100°C , уменьшить выбросы вредных веществ и повысить эффективность сгорания топлива. Однако при увеличении содержания газа в топливе возрастает эмиссия NO_x и уровень шума.

Исследования показали, что для работы с водотопливными эмульсиями наиболее подходят тепловозные дизели типа Д100 с противоположно движущимися поршнями. Эти дизели работают на холостом ходе более 35% времени, поэтому рекомендуется использовать дизельное топливо без добавления водоэмульсии в этом режиме. Для увеличения эффективности работы дизеля на холостом ходе предлагается подавать дизельное топливо без добавления водоэмульсии через форсунку в виде концентрированной струи под углом к оси цилиндра. При работе с нагрузкой наиболее эффективно будет добавлять водоэмульсию через другую форсунку, направленную против факела горящего топлива. Впрыск водоэмульсии следует начинать позже впрыска дизельного топлива на $5-15^{\circ}$ угла поворота коленчатого вала. Это позволит предотвратить крекинг топлива и обеспечить максимальный эффект от сгорания водоэмульсии. Предлагаемый метод особенно полезен при обкатке дизелей после ремонта на железнодорожных депо и заводах, что также способствует улучшению экологической ситуации в крупных городах.

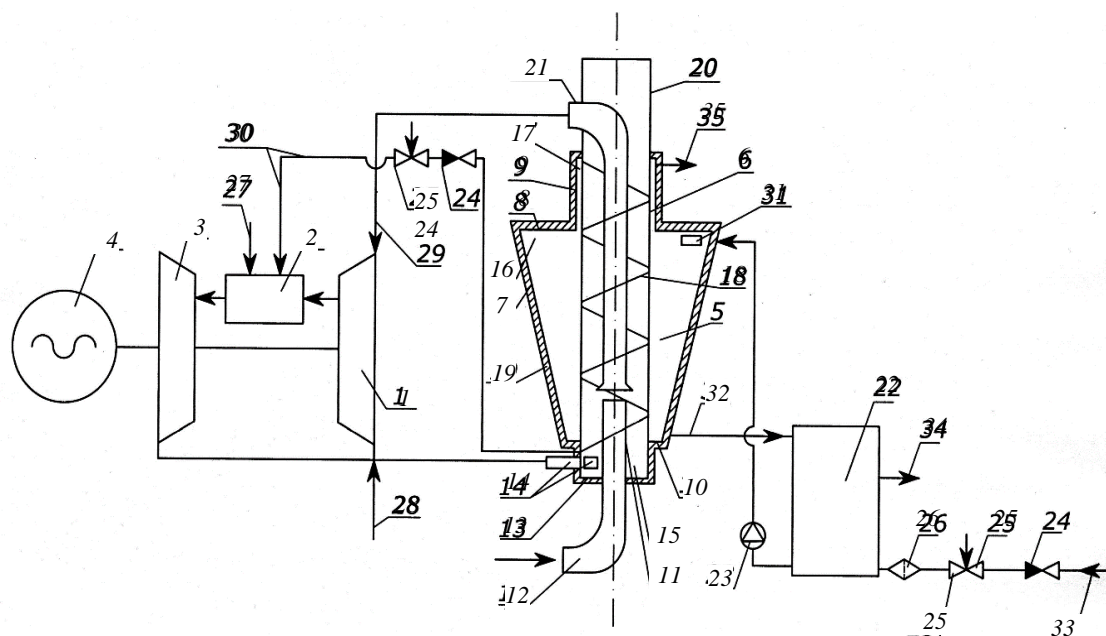
Исследования, проведенные в Новосибирске, показали, что использование водотопливных эмульсий может значительно снизить износ плунжерных пар при работе двигателей. Например, на Оренбургском тепловозремонтном заводе было выявлено снижение расхода горючего и содержания углекислого газа в отработавших газах при использовании водотопливных эмульсий. Это также привело к улучшению качества приработки основных узлов и сокращению времени обкаточных испытаний. Водотопливные эмульсии также позволили уменьшить обороты двигателя и снизить расход горючего на судовых и тепловозных дизелях. Применение эмульсий в тепловозных дизелях, которые часто работают на холостом ходе, остается открытой проблемой для массового применения.

Отметим, наконец, что применение в дизелях прямых водотопливных эмульсий для впрыска их непосредственно в камеру сгорания двигателей не приводит к микровзрывам капель со всеми вытекающими отсюда последствиями. Это значительно снижает положительный эффект их применения. Кроме того, наличие открытой водной фазы в ВТЭ может способствовать коррозии деталей топливной аппаратуры. В то же время устойчивость прямых эмульсий легко обеспечить с помощью применения сравнительно недорогих серийно выпускаемых поверхностно-активных веществ (ПАВ). Поэтому такие эмульсии могут использоваться в дизелях, которые длительное время работают на одном режиме, например, при реостатных испытаниях тепловозных дизелей после ремонта или для некоторых специально модернизированных дизелей маневровых тепловозов.

Из-за небольших размеров тепловозов использование известных методов парогазового цикла становится практически невозможным. Вместо этого могут использоваться следующие способы:

- использование ВТЭ как топлива;
- применение компактной парогазовой газотурбинной установки с частичной рециркуляцией отработанных газов;
- комбинация указанных выше методов. Новая технология STIG-процесса предлагает эффективное использование тепловой энергии отработанных газов для нагрева воды и атмосферного воздуха, который поступает в систему теплоэнергетической установки.

На рисунке 1 приведена схема газотурбинной теплоэнергетической установки с парогазовым циклом.



- 1 – турбокомпрессор; 2 – камера сгорания; 3 – силовая газовая турбина;
 4 – генератор электрической энергии; 5 – паровой котел; 6 – цилиндрический корпус котла; 7 – конусообразная стенка котла; 8 – верхний торцевой упор;
 9 – цилиндрический кожух паровой полости; 10 – нижний торцевой упор;

11 – труба для подачи воздуха; 12 – патрубок для подачи атмосферного воздуха; 13 – торцевая перегородка котла; 14 – тангенциальный подвод отработавших газов; 15 – полость для отработавших газов; 16 – пространство для входа воды в водопаровую полость котла; 17 – паровая зона; 18 – пароперегревательный трубопровод; 19 – теплоизоляция; 20 – труба для отвода отработавших газов; 21 – патрубок для подачи в компрессор атмосферного воздуха с парами воды и компонентами отработавших газов; 22 – емкость для горячей воды; 23 – водяной насос; 24 – клапан обратный; 25 – вентиль регулируемый; 26 – фильтр. Компоненты энергетического процесса: 27 – горючее; 28 – воздух; 29 – воздух с парами воды и компонентами отработавших газов; 30 – пар воды; 31 – подача магистральной воды; 32 – отвод магистральной воды; 33 – холодная магистральная вода; 34 – горячая магистральная вода; 35 – пар для потребления

Рисунок 1 – Газотурбинная теплоэнергетическая установка с парогазовым циклом

Библиографический список

1. Иванов В.М. Топливные эмульсии. Москва, 1962.
2. Гладков О.А., Бернштейн Е.В., Виноградов Д.П. Характер воздействия водотопливной эмульсии на процесс сгорания топлива в дизеле // Двигателестроение. – 1989. № 10. – С. 10-12, 33.
3. Verbrennungsmotorisches Arbeitsverfahren mit Rückgewinnung der anfallenden Verlustwärme und Brennkraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens. Германский пат. № 1115518. Мкл. F02B МКИ 46a63 / Siegfried Meurer и Erhaard Muhlberg. Заявл. 17.11.56; Оpubл. 19.04.62
4. А.с. №757755 СССР МКИ F02B19/12. Способ работы двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / И.А. Иванов. № 2580280/25-06. Заявл. 14.02.78; Оpubл. 23.08.80. Бюл. № 31 // С. 141.
5. Лебедев О.Н., Сомов В.А., Сисин В.Д. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях. – Ленинград, 1988. – 108 с.
6. Иванов И.А. Стратегия снижения затрат на топливно-энергетические ресурсы магистральных тепловозов: дисс. д-ра техн. наук. Самара, 2006. – С. 120-147.
7. Малов Р.В. К вопросу о механизме внутрикапельного распыливания эмульсий // Двигателестроение 1991. № 4. – С. 12-13.
8. А.с. № 1090903 СССР, МКИ F02B15/00. Способ работы двигателя внутреннего сгорания с противоположно движущимися поршнями / И.А. Иванов. № 3459435/25-06; Заявл. 24.05.82; Оpubл. 07.05.84. Бюл. № 17. – С. 121.
9. Nutzung von Biogas in Gaszundstrahlmotoren / Karl Schmillen, Franz-Martin Dubel, Hans-Josef Sckiffgens, Frans Pischinder // MTZ: Motortechn. Z., 1989. – № 7,8. – P. 351-357.

ПОЛЬЗА ИЗУЧЕНИЯ ДВУХСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ В ОЗЕРЕ БАЛХАШ

Лысенко Н.Е., Тетерина И.И.

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

В статье рассматриваются двухстворчатые моллюски как индикаторы оценки качества водных экосистем. В статье описывается расположение озера Балхаш, а также проводится описание раковин моллюсков.

Ключевые слова: биоиндикация, район исследований, озеро Балхаш, двустворчатые моллюски, размеры створок.

Оценка качества окружающей среды является важной общечеловеческой проблемой. Для объективного заключения о том, каково качество среды, нужна интегральная характеристика ее состояния, т.е. оценка всего комплекса воздействий всех факторов в их взаимодействии, взаимовлиянии и суммарном влиянии на природные объекты.

Возможность получить интегральную характеристику качества среды, находящейся под воздействием всего многообразия физических, химических и других факторов, дают биологические методы, в частности биоиндикация.

Перспективным объектом биоиндикационных исследований являются водные моллюски. Широкое распространение, удобство сбора, легкость идентификации позволяют использовать моллюсков в биоиндикации загрязнения водных экосистем.

О роли моллюсков как организмов-биоиндикаторов природных вод, подверженных антропогенной нагрузке, свидетельствуют результаты исследований многих ученых [9].

Район исследований. Озеро Балхаш расположено в Казахстане, точнее в его юго-восточной части в Балхаш-Алакольской котловине. Озеро окружено 4 областями страны: Алматинской, Жамбылской, Жетысуской и Карагандинской (рисунок 1).

Этот уникальный водоем имеет форму удлинённого полумесяца, сужающегося посередине, где расположен небольшой Узынаральский пролив и полуостров Сарыесик.

Береговая линия озера Балхаш протянулась почти на 2400 км, длина водоема 605км, его ширина в разных местах колеблется от 9 до 34км. Максимальная глубина озера 26,5 м, площадь водоема более 18000 км² [5].

Особенность озера в том, что оно разделено узким проливом на две части с разным составом воды: в западной части оно практически пресное, а в восточной - солоноватое.

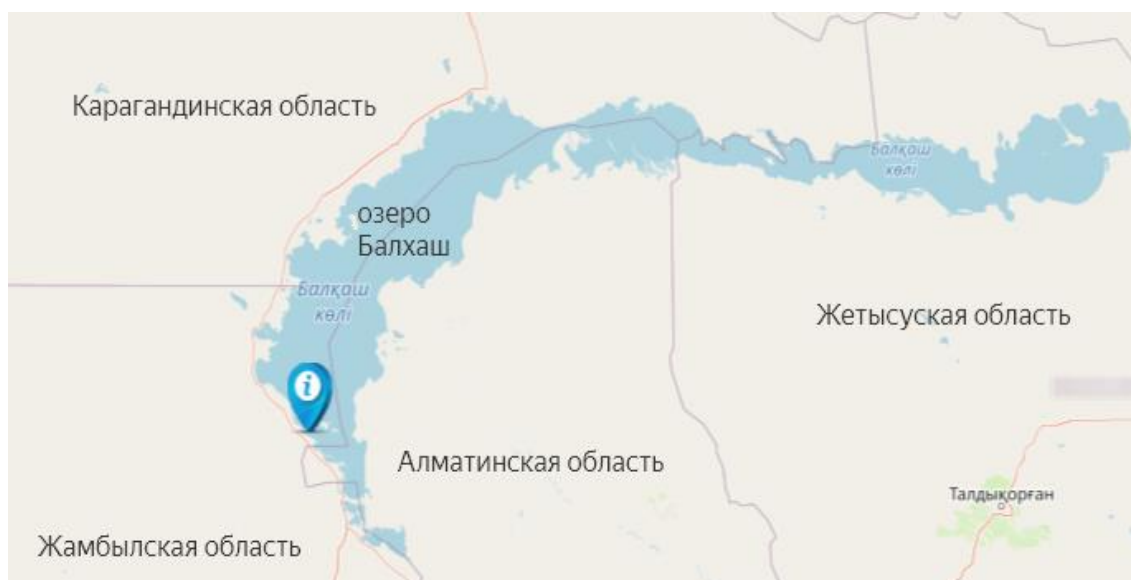


Рисунок 1 – Карта озера Балхаш с указанием места отбора проб

Раньше фауна водоема была достаточно богата, но ее разнообразие стало уменьшаться с ухудшением качества воды. На дне водоема обитают моллюски, личинки различных ракообразных, мелкие насекомые.

В последние десятилетия водоем столкнулся с серьезными экологическими проблемами, непосредственно связанными с загрязнением промышленных и сельскохозяйственных сточных вод в бассейне реки Или. Использование пестицидов, нарушение правил утилизации отходов приводят к ухудшению качества воды в озере, что негативно сказывается на жизни обитателей водоема [5].

Неблагоприятная экономическая ситуация, наблюдаемая в регионе, строительство ГЭС, несанкционированное использование озерной воды в промышленности и сельском хозяйстве могут привести к уничтожению местной флоры и фауны.

Являясь живыми очистителями и индикаторами качества воды, двустворчатые моллюски имеют следующие преимущества:

- отражают биологическое состояние водоема, так как воздействие токсических веществ приводит к изменениям внутри экосистемы, компоненты которой взаимосвязаны [2].

- позволяют избежать применения трудоемких и дорогостоящих физических и химических методов для изменения биологических параметров, так как живые организмы постоянно присутствуют в водоеме и реагируют на кратковременные и залповые выбросы токсических веществ, которые может не зарегистрировать автоматизированная система контроля.

- указывают пути и места скопления загрязнений [1].

- помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы [8].

У двустворчатых моллюсков фильтрующий тип питания. Одна особь за сутки пропускает через себя несколько литров воды, поглощая при этом не только питательные вещества и кислород, но и болезнетворные бактерии

и токсичные вещества. Благодаря этому моллюски прекрасно очищают воду. Мягкие ткани моллюсков концентрируют в сотни раз больше микроэлементов, чем раковина [4].

Моллюски поглощают тяжелые металлы, титан, марганец, алюминий. Вода, прошедшая фильтрационный аппарат моллюска, полностью освобождена от взвеси, которая осаждается на дне водоемов в виде агглютинатов.

Материал исследований. Образцы современных ракушек двухстворчатых моллюсков были собраны на побережье озера Балхаш 2 августа 2023 года.

Координаты точки отбора: широта 45.353.725м; долгота 73.753221м. С точки отбора были собраны 25 закрытых раковин и 75 створок раковин.

Раковины разных размеров: длина - от 11 до 31мм., высота - от 5 до 9мм., ширина - от 9 до 22мм. (таблица 1), округленно-треугольных и овальных форм с почти центральными макушками.

Таблица 1 – Размеры створок двухстворчатых моллюсков озера Балхаш

Номер образца	Высота, мм.	Ширина, мм.	Длина, мм.
1	5	16	19
2	5	16	19
3	6	20	27
4	5.5	14	26
5	7	21	28
6	7	21	29
7	5	13	16
8	5,5	15	20
9	7	18	23
10	7	17	23
11	6	15	19
12	7	17	23
13	7	17	29
14	8	19	27
15	6	21	29
16	8	21	26

На створках присутствует отчетливая радиальная скульптура.

Зубной аппарат представлен кординационным и латерными зубами. Связка наружная располагается на узкой связочной площадке позади макушек. Имеются отпечатки двух мускулов равной величины. Мантийная линия с неглубоким синусом (рисунок 2).

По размерам и внешнему виду раковины двухстворчатых моллюсков озера Балхаш схожи с раковинами представителями родов *Monodaspa* и *Cardium*.



1 – род *Cardium*, левая створка; 2 – род *Cardium*, правая створка;
 3 – род *Monodasna*, левая створка; 4, 7 – род *Cardium*, закрытая раковина, вид сверху; 5, 9, 10 – род *Monodasna*, правая створка с внутренней стороны;
 6, 8 – род *Monodasna*, закрытая раковина, вид сверху; 12 – род *Monodasna*, левая створка с внутренней стороны; 11, 13, 16 – род *Cardium*, левая створка с внутренней стороны; 14, 15 – род *Monodasna*, правая створка

Рисунок 2 – Образцы раковин двухстворчатых моллюсков озера Балхаш

Род *Monodasna* - раковина округлой формы, равностворчатая, с почти центральными макушками. Скульптура раковины представлена радиальными уплощенными ребрами. Замок сильно редуцирован: в правой створке, помимо одного хорошо развитого главного зуба, могут присутствовать слабо развитые боковые зубы. В левой створке имеется только один главный зуб. Мантийная линия с неглубоким синусом. Остальные признаки совпадают с признаками родов *Didasna* и *Cardium*. Представители рода неглубоко зарываются в землю. Род наиболее характерен для соленых бассейнов Понто-Каспийского региона (Азовское море, устья Черного моря) [4,7].

Рода *Cardium* - раковина маленьких или средних размеров, овальная, от округленно-треугольной до округленно-четырёхугольной формы, с почти центральными или слабо смещёнными вперед макушками. При смыкании створок раковина сбоку имеет сердцевидную форму, с чем связано название рода. На створках отчетливая радиальная скульптура в виде различно укра-

шенных ребер. Нижние края створок ровные или шиповатые, но всегда широко зазубренные изнутри. Зубной аппарат представлен двумя различно выраженными главными зубами: в правой створке имеется впереди и сзади по два боковых зуба, а в левой — по одному. Наружная связка располагается на узкой связочной площадке позади макушек. Имеются отпечатки двух мускулов равной величины. Мантийная линия плохо заметная, цельная, сплошная. Современные представители - одни из самых активных двустворок. Они неглубоко зарываются в песчаные или илистые почвы; они могут ползать внутри почвы или передвигаться, прыгая по дну на расстояние 15-20 см. Формы в основном теплолюбивы, живут в литоральном и сублиторальном, встречающийся как в морях с нормальной, так и с пониженной соленостью (Черное море) [6, 3].

Большая часть образцов раковин с побережья озера Балхаш крупные, их размеры: длина более 20 мм., высота 7 и более миллиметров и ширина от 19 мм и более. Следовательно, пищи моллюскам при жизни было достаточно что свидетельствует о достаточно хорошем состоянии озера на сегодняшний день. Несмотря на хорошее состояние озера необходимо проводить контроль загрязнения водоема, во избежание экологических проблем.

Библиографический список

1. Бедова, П.В. Использование моллюсков в биологическом мониторинге состояния водоемов / П.В. Бедова, Б.И. Колупаев // Экология. 1998. - № 5. - С. 410 - 411.
2. Бедова, П. В. Оценка состояния водной среды в республике Марий Эл с помощью гидробионтов / П. В. Бедова // Финно-угорский мир: Состояние природы и региональная стратегия защиты окружающей среды. – Сыктывкар: Марийский государственный университет, 1997. – С. 21-22.
3. Бондаренко О.Б., Михайлова И.А. Краткий определитель ископаемых беспозвоночных. /Под ред. В.Н. Шимаиского. 2-е изд., доп. и перераб. М., Недра, 1984. - 536 с.
4. Жадин, В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР [Текст] / В. И. Жадин. – Москва, Ленинград : акад. наук СССР, 1952. – 376 с.
5. Озеро Балхаш – чем интересен самый загадочный водоём Казахстана / [Электронный ресурс] // KZ24.NEWS 2021 – 2024. - Режим доступа свободный : URL: <https://kz24.news/article/interesnye-mesta/ozero-balhash.html>.
6. Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Том 1. Рыбы и моллюски / Н. Г. Богущая, П. В. Кияшко, А. М. Насека, М. И. Орлова. – Санкт-Петербург- Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 543 с.
7. Кантор, Ю. И. Каталог Моллюсков России и сопредельных стран / Ю. И. Кантор, А. В. Сысоев – М: Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 627 с.
8. Романова, Е.М. Биоиндикация водоемов с использованием моллюсков / Е.М. Романова, О.А. Индирякова, А.П. Куранова // Медико-

физиологические проблемы экологии человека: мат. всерос. науч. конф. Ульяновск, 2007. - С. 25-27.

9. Романова, Е.М. Использование моллюсков для биомониторинга водоемов на примере р. Свияга / Е.М. Романова, О.А. Индирякова, А.П. Куранова // Труды IV Всероссийской научной конференции «Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах». Т. 1. Краснодар: Просвещение-ЮГ, 2007. - С. 103–105.

УДК 504.732(571.17)

РАСТЕНИЯ ГОРНО-ТАЕЖНОЙ И ЛЕСА-СТЕПНОЙ МЕСТНОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ

Лысенко Н.Е., Трофименкова В.А., Шпилова А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, e-mail: asya_nk77@mail.ru*

В статье показаны основные сведения о карбоновых фермах и карбоновых полигонах, необходимость их создания. Рассматриваем растительность орографических районов Кемеровской области. Описываем травянистую растительность горно-таежной и леса-степной местностей Кемеровской области. Приведено ключевое различие между фотосинтезом С₃, С₄ и САМ растений. Предлагается создание карбоновых полигонов с растениями так называемой группы С₃-фотосинтеза. Мы предлагаем проанализировать местную растительность для использования на карбоновых фермах.

Ключевые слова: карбоновые фермы, карбоновые полигоны, растительность, горно-таежной, леса-степной, цикл Кальвина, С₃ растения, Кемеровская область.

Всё более очевидной становится проблема глобального потепления и все более актуальным становится вопрос о выбросах в атмосферу большого количества парниковых газов. Если говорить о способах разрешения этого вопроса, то одним из способов сокращения парниковых газов в атмосфере является улавливание СО₂ из атмосферы через лесные и другими природными экосистемы. С этой целью создаются карбоновые полигоны. Проблема отрицательного баланса углерода в нашей области обостряется тем, что Кузбасс – это один из немногих регионов в России, где доля каменного угля в структуре топливно-энергетического комплекса на фоне других видов топлива резко преобладает [1].

Карбоновый полигон - это новое словосочетание, несколько лет назад о нем мало кто слышал. В феврале 2021 года Минобрнауки запустило пилотный проект по созданию карбоновых полигонов в различных регионах России, чтобы восполнить острый недостаток информации о потоках парниковых газов на территории нашей страны. В специально отобранных экосистемах принимаются меры по мониторингу (климатически активных) пото-

ков парниковых газов и разрабатываются технологии для сокращения их выбросов и увеличения поглощения в атмосфере. Полигоны называются карбоновыми, потому что в основном речь идет об изучении выделения диоксида углерода, а вместе с ним и других парниковых газов, таких как метан или закись азота. Их содержание в атмосфере планеты сейчас самое высокое за последние 800 000 лет.

Эти выбросы окутывают землю, удерживая солнечное тепло, что приводит к росту глобальной температуры и другим климатическим изменениям. Сокращение антропогенных выбросов и восстановление потенциала природных экосистем, которые контролируют обмен между поверхностью Земли и атмосферой, представляют собой серьезную проблему для человечества [2].

Карбоновые фермы – плантации, участки земли, на которых эти технологии поглощения парниковых газов применяются на практике [3].

Кемеровская область расположена на юго-восточной окраине Западно-Сибирской равнины и горах Южной Сибири. Выделяется пять орографических районов: Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Салаирский кряж, Кузнецкая котловина и Западно-Сибирская равнина.

Более половины территории покрыто тайгой, причем в горах тайга имеет название «черневая», а на крайнем севере области произрастает равнинная тайга. В Кузнецкой котловине и на северо-востоке области встречается степная и лесостепная растительность. Высоко в горах можно увидеть горную тундру, которая очень похожа на тундру северных районов России, и высокогорные альпийские луга с яркими травянистыми растениями.

На склонах гор и речных долинах раскинулись темнохвойные леса, в которых преобладают сибирская пихта, осина, растут сибирский кедр, сибирская ель, вереск и кустарники. Кроны хвойных деревьев образуют сплошной зеленый шатер.

Удивительная флора Горной Шории. Среди черновой тайги сохранились представители древней растительности сибирских лесов: липа сибирская и более 20 видов травяных растений, таких как подлесник европейский, подмаренник душистый, копытень европейский, чистец лесной.

Значительную часть территории области на севере и в Кузнецкой котловине занимают лесостепи. Они состоят из берёзовых, берёзово-осиновых колков и участков луговых степей. Под пологом деревьев растут боярышник кроваво-красный, карагана кустарниковая, жимолость татарская. Богато лесное и луговое разнотравье лесостепей. Здесь распространены купальница азиатская и горицвет весенний, ветреница лесная и синеголовник плосколистный, типчак и сныть обыкновенная.

В западной части Кузнецкой котловины расположены разнотравно-ковыльные степи, плодородные черноземные почвы которых используются под поля. В настоящее время сохранились только отдельные участки этих степей. Характерными степными растениями являются ковыль перистый, типчак, тонконог гребенчатый, полынь обыкновенная. Весной степи расцве-

чиваются яркими красками цветущих растений.

Поднимаясь по склонам гор, можно увидеть, как черневую тайгу сменяет высокогорная кедро-пихтовая тайга. Кедр сибирский, пихта сибирская, берёза бородавчатая являются её основными деревьями. Выше, в горах, растут небольшими группами низкорослые пихты и кедр с флагообразной кроной. Заросли кустарников берёзы карликовой и ивы сизой чередуются с субальпийскими и альпийскими лугами. Богаты они разными травами: баданом толстолистным, горечавкой холодной, водосбором сибирским. Летом эти луга покрывают горы ярким и красочным ковром цветущих растений. Еще выше, до самых вершин, простираются горные тундра, каменистые россыпи которых покрыты мхами и лишайниками. Среди них выделяются низкорослые кустарники берёзы карликовой, ивы сизой, можжевельника сибирского (рисунок 1) [4].

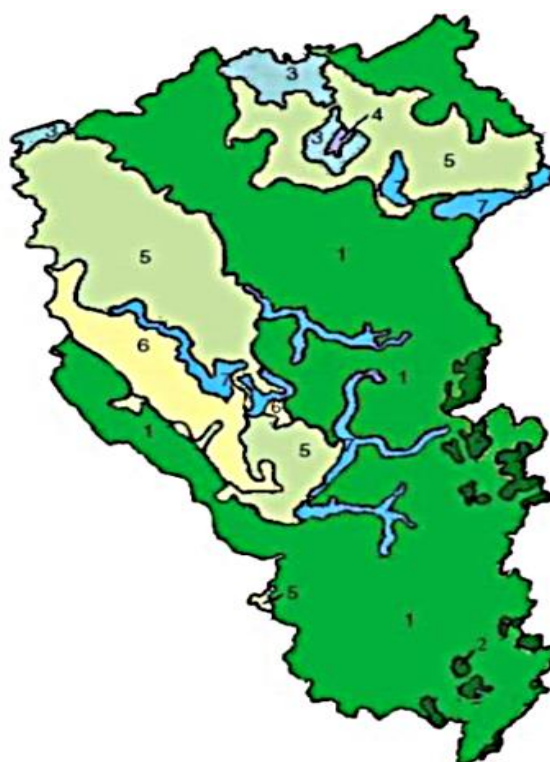


Рисунок 1 – Карта растительности Кемеровской области: 1- темнохвойная тайга; 2- альпийские и субальпийские луга, горные тундры; 3- лиственные леса; 4- светлохвойные леса и кустарники; 5- лесостепи; 6 - степи и суходольные луга; 7- пойменные луга

На первый взгляд, Кемеровская область богата лесами. Общая площадь земель лесного фонда в Кузбассе составляет около 5,3 млн га, или 56 % территории региона. Большая часть из них занята труднопроходимой черневой тайгой Кузнецкого Алатау, главными ярусообразователями которой выступают пихта сибирская (*Abies sibirica* ledeb.) и осина (*Populus tremula*). Через всю область тянется лесостепная Кузнецкая котловина – ее облесенность многочисленными березовыми колками достигает 30-35 %. На севере Кузбасса начинается Западно-Сибирская низменность с ее знаменитыми веко-

выми ельниками и кедровниками. При оценке углеродного баланса прежде всего следует учесть, что около 60 % лесов Кузбасса – это приспевающие, спелые и перестойные леса, которые имеют нулевой или отрицательный баланс углерода [5].

Цикл Кальвина, также известный как цикл фиксации углекислого газа, является одним из ключевых процессов фотосинтеза. Он был открыт и исследован в 1950-х годах. История открытия цикла Кальвина началась с исследований фотосинтеза и процесса фиксации углекислого газа в растениях. Кальвин и его коллеги проводили эксперименты с использованием изотопов углерода, чтобы отследить путь, по которому углекислый газ превращается в органические соединения. Цикл Кальвина или фотосинтетическое восстановление углерода - это серия химических реакций, которые преобразуют углекислый газ и соединения-переносчики водорода в глюкозу. Однако процесс фотосинтеза у разных растений разный, в зависимости от условий их обитания. Тремя важными типами фотосинтеза являются фотосинтез C₃, C₄ и САМ.

Ключевое различие между фотосинтезом C₃, C₄ и САМ заключается в способе извлечения растениями углекислого газа из солнечного света, который в значительной степени зависит от среды обитания растения. При фотосинтезе C₃ образуется трехуглеродное соединение по циклу Кальвина, в то время как при фотосинтезе C₄ образуется промежуточное четырехуглеродное соединение, которое распадается на трехуглеродное соединение по циклу Кальвина. Растения, использующие фотосинтез САМ, собирают солнечный свет днем и фиксируют молекулы углекислого газа ночью.

Несмотря на лесное богатство Кузбасса, эмиссия углерода в Кузбассе преобладает над депонированием. Для выравнивания углеродного баланса требуется увеличение доли молодых насаждений в общей структуре лесного фонда. Мы считаем, что эффективней будет создание карбоновых полигонов с растениями так называемой группы C₃-фотосинтеза. В результате это будут карбоновые фермы с неприхотливыми травянистыми культурами, которые смогут поглощать углекислый газ и выделять кислород.

C₃ растения подавляющее большинство наземных растений, от которых мы полагаемся в качестве пищи и энергии для человека, используют путь C₃, который является старейшим из путей фиксации углерода и встречается у растений всех таксономий. Почти все современные живые организмы даже те, которые живут в регионах с C₄- и САМ-растениями – зависят от C₃-растений в качестве средств к существованию.

В таблице приведены виды растений, подобранных, для использования на Карбоновых фермах Кузбасса.

Для карбоновых ферм в горно-таежном районе предлагаем использовать: баданом толстолистным, горечавкой холодной, овсяница гигантская, ясенник душистый, водосбором сибирским, борщевиком сибирским, борцом высоким.

Бадан толстолистный – многолетнее травянистое растение, вид рода

Бадан семейства Камнеломковые. Корневище ползучее, мясистое, толстое, на изломе светло-розовое, достигает нескольких метров в длину и 3,5 см в диаметре, сильно разветвлённое, расположенное близ поверхности почвы, переходящее в мощный вертикальный корень, уходящий на глубину до 50-60 см.

Таблица 1 – Растения для карбоновых ферм

Растительные зоны	Растения	Тип фотосинтеза
Горно-таежная	Бадан толстолистный	C3
	Горечавка холодная	C3
	Овсяница гигантская	C3
	Ясменник душистый	C3
	Водосбором сибирским	C3
	Борщевик сибирский	C3
	Борец северный	C3
Леса-степная	Купальница азиатская	C3
	Горицвет весенний	C3
	Ветреница лесная	C3
	Синеголовник плосколистный	C3
	Типчак	C3
	Сныть обыкновенная	C3
	Ковыль перистый	C3
	Тонконог гребенчатый	C3
	Полынь обыкновенная	C3

Стебель толстый, безлистный, голый, розово-красный, высотой 15-50 см. Листья в прикорневой густой розетке (зимующей под снегом), тёмно-зелёные, с почти округлой пластинкой и плёнчатым влагалищем, крупные, широкоовальные, цельные, голые, кожистые, блестящие, в прикорневой розетке они сохраняются 2-3 года. Мелкие цветки, правильные, пятичленные, без прицветников, в верхушечном густом метельчато-щитковидном соцветии, с двумя длинными красноватыми безлистными цветоножках до 4 см длиной [6].

Борщевик сибирский это двулетнее или многолетнее травянистое растение с вертикальным корнем. Корневище мощное стержневое, на срезе светлое. Стебель одиночный, высотой до 180 см, полый, грубый толстый ребристый, опушённый щетинистыми волосками, в верхней части ветвится. Растение обладает слабым, специфическим пряным запахом. Листья крупные, грубые, шероховатые, округло-яйцевидные лопастные или перисто-рассечённые, иногда дважды или трижды перистые, неравнозубчатые; нижние – черешковые, верхние – с сильно уменьшенной листовой пластинкой, сидящей на расширенном влагалище. Цветёт летом, плодоносит с июля по сентябрь [7].

Борец высокий – травянистое растение, вид рода Борец семейства Лю-

тиковые. Корень длинный, ветвистый, образованный плотно сросшимися шнуровидными мочками. Стебель высотой от 65 до 200, иногда до 250 см высотой, ребристый, опушённый. Листья длиной до 15 и шириной до 25 см, сердцевидно и почковидно округлые, пушистые, особенно по краям и на нижней стороне по нервам. Соцветие – конечная рыхлая кисть, при основании ветвящаяся, с дугообразно отходящими цветоносами [7].

А для карбоновых ферм в леса-степном районе предлагаем использовать: купальница азиатская, горицвет весенний, ветреница лесная, синеголовник плосколистный, типчак, сныть обыкновенная, ковыль перистый, тонконог гребенчатый, полынь обыкновенная.

Купальница азиатская – травянистое многолетнее растение рода Купальница семейства Лютиковые. Корень состоит из многочисленных шнуровидных мочек. Стебель гладкий, прямостоячий, одиночный, простой или ветвистый 10–80 см высотой. Прикорневые листья на длинных черешках, пластинки их в очертании пятиугольные, до основания рассечённые на 5 ромбических сегментов, глубоко надрезанных на неравнозубчатые дольки. Стеблевые листья в числе 1–5, нижние черешковые, верхние сидячие, с пластинками, сходными с прикорневыми, но кверху мельчающими. Цветёт во второй половине мая – в июне. Опыляют цветок мелкие жуки, мухи, пчёлы, прилетающие за нектаром [8].

Ветреница лесная – многолетнее травянистое растение; вид рода Ветреница семейства Лютиковые. Стебель 5–15 см высотой, вверху почти беловолочный. Цветоносный стебель с мутовкой из трёх черешковых листьев, опушённых с обеих сторон, рассечённых на три сегмента. Корневище вертикальное. Прикорневые листья в числе двух–шести, длинночерешковые, с тремя–пятью ромбическими трёхраздельными сегментами. Цветоносы одиночные, длинные. Цветки 3–7 см в диаметре. Листочки околоцветника чисто белые, в числе пяти, снаружи опушённые. Цветет в конце весны – начале лета [4].

Полынь обыкновенная – вид многолетних травянистых растений рода Полынь, семейства Астровые. Ветвистое растение, обычно конусообразной формы, высотой 0,5–2 м, реже 2,5 м. Стебель облиственный по всей высоте, прямостоячий, буроватый с фиолетовым оттенком, в сечении угловато ребристый. Корневище многоглавое или коротко ползучее, в верхней части утолщённое. Листья мягкие дважды или трижды перисторассечённые с широколанцетными или линейно-ланцетными сегментами, зелёного цвета, длиной 5–20 см, сверху светло- или тёмно-зелёные, голые или слабо опушённые, снизу густоопушённые до белёсости и даже серебристости (нижняя часть листьев по окраске резко отличается от верхней – в этом отличие от близкой полыни горькой). Верхние листья простые и более мелкие. Конечные сегменты листьев 2,5–9 мм шириной. Хорошо заметны несколько пар ушек (от 1 до 5) у основания черешка. Цветки мелкие, многочисленные, жёлтые или коричневатые. Цветёт с июля по сентябрь [9].

Актуальность снижения эмиссии углерода на территории Кемеровской области – Кузбасса обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов.

Так, вследствие концентрации на относительно малой (95,5 тыс. км²) площади, по сравнению с соседними регионами, развитой горнодобывающей отрасли, доля которой в общероссийском масштабе угледобычи составляет около 60%, удельная площадь нарушенных земель в Кузбассе чрезвычайно высока. По данным официальной статистики, в Кузбассе нарушено около 100 тыс. га, а по экспертным оценкам – в 1,5-2 раза больше. Эта площадь постоянно растёт – посчитано, что на 1 млн. тонны добываемого угля изымается в среднем 36 га естественных экосистем. Таким образом, при среднегодовом уровне добычи в 250 млн тонн ежегодно оказываются уничтоженными около 9 тыс. га [10].

И так, из краткого обзора следует, что уже наблюдаемый рост концентрации углекислого газа в атмосфере может оказывать влияние на растительный покров не только косвенно, а изменяя климат. Выбирая местную растительность для карбоновых ферм, мы сможем не только поглощать углекислый газ и выделять кислород, но и поддерживать естественную экосистему. Такие карбоновые фермы будут состоять из таких типов растений, которые растут в местных климатических условиях.

Библиографический список

1. Копытов, А. И. Добыча угля в Кузбассе и новые экотехнологии / А. И. Копытов, О.А. Куприянов // ЭКО. – 2021. – № 6. – С. 67-76.
2. Константинов А. Карбоновый полигон. что это такое и как работает / Константинов А. [Электронный ресурс] // Цифровой океан. – Режим доступа свободный : - URL: <https://digitalocean.ru/n/lovcy-ugleroda>.
3. Экономические аспекты организации карбоновых ферм на лесных землях / С. С. Морковина, Е. А. Панявина, И. И. Шанин, И. А. Авдеева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2021. – № 1 (52). – С. 17-25.
4. Марсова О.П. Растительный мир Кемеровской области / О.П. Марсова [Электронный ресурс] // Образовательная социальная сеть nsportal.ru – Режим доступа свободный: - URL: <https://nsportal.ru/blog/obshcheobrazovatel'naya-tematika/all/2013/05/02/rastitelnyy-mir-kemerovskoy-oblasti>.
5. Швиденко, А. З. Углеродный бюджет лесов России / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – №1. – С. 69–92.
6. Комаров В. Л. Флора СССР / В. Л. Комаров, С. В. Юзепчук. Т. 9. – М.; Л.: АН СССР, 1939. — 540 с.
7. Иллюстрированный определитель растений Средней России / И. А. Губанов, К. В. Киселёва, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. Т. 2. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – М: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. – 631 с.
8. Никифоров, Ю. В. Алтайские травы-целители / Ю. В. Никифоров. — Горно-Алтайск: Юч-Сумер – Белуха, 1992. – 205 с.
9. Иллюстрированный определитель растений Средней России Т. 3: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И. А. Губанов, К. В.

Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. – Москва: Товарищество науч. изд. КМК, 2004.–519 с.

10. Манаков, Ю. А. Добыча каменного угля в аспекте устойчивого развития региона / Ю. А. Манаков, А. Н. Куприянов, А. И. Копытов // Уголь. – 2018. – № 9. – С. 89-94.

УДК 504.732

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ДЛЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ

Лысенко Н.Е., Печкуров С.С., Шпилова А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, e-mail: asya_nk77@mail.ru*

В статье рассматривается развитие карбоновых ферм и их влияние на территорию регионов. В статье описываются основные сведения о карбоновых фермах, необходимость их создания. В статье описаны растения для карбоновых ферм.

Ключевые слова: карбоновые полигоны, карбоновые фермы, углекислый газ, баланса углерода.

В последнее годы всё более очевидной становится проблема глобального потепления и все более актуальным становится вопрос о выбросах в атмосферу большого количества парниковых газов. Если говорить о способах разрешения этого вопроса, то одним из способов сокращения парниковых газов в атмосфере является улавливание CO₂ из атмосферы через лесные и другими природными экосистемы. С этой целью создаются карбоновые полигоны.

Карбоновые полигоны (от англ. carbon– углерод) – земельные участки, где будут разрабатывать и испытывать технологии контроля за выработкой и поглощением парниковых газов, а также изучать скорость фотосинтеза разных растений [1,2].

Карбоновые фермы – плантации, участки земли, на которых эти технологии поглощения парниковых газов применяются на практике.

Актуальность снижения эмиссии углерода на территории Кемеровской области – Кузбасса обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов. Так, вследствие концентрации на относительно малой (95,5 тыс. км²) площади, по сравнению с соседними регионами, развитой горнодобывающей отрасли, доля которой в общероссийском масштабе угледобычи составляет около 60%, удельная площадь нарушенных земель в Кузбассе чрезвычайно высока. По данным официальной статистики, в Кузбассе нарушено около 100 тыс. га, а по экспертным оценкам – в 1,5-2 раза больше. Эта площадь постоянно растет – посчитано, что на 1 млн т добываемого угля изымается в среднем 36 га естественных экосистем. Таким образом, при среднегодовом уровне добычи в 250 млн т ежегодно оказываются уничтоженными около 9

тыс. га [3]. Полная деградация природных ландшафтов, которые, с большей или меньшей эффективностью, вносили свой вклад в дело секвестрации углекислого газа, еще более способствует ускорению темпов его эмиссии.

Проблема отрицательного баланса углерода обостряется тем, что Кузбасс – это один из немногих регионов в России, где доля каменного угля в структуре топливно-энергетического комплекса на фоне других видов топлива резко преобладает [4].

Ежегодно в Кузбассе сжигается более 10 млн т угля. Если учесть, что 1 га леса в период интенсивного роста аккумулирует в виде древесины около 3-4 т углерода, то для поглощения углекислого газа, выделяемого только ТЭЦ, котельными и частными домовладениями, требуется 3-3,5 млн. га молодых активно растущих древесных насаждений.

На первый взгляд, Кемеровская область богата лесами. Общая площадь земель лесного фонда в Кузбассе составляет около 5,3 млн га, или 56% территории региона. Большая часть из них занята труднопроходимой черной тайгой Кузнецкого Алатау, главными ярусообразователями которой выступают пихта сибирская (*Abies sibirica ledeb.*) и осина (*Populus tremula*). Через всю область тянется лесостепная Кузнецкая котловина – ее облесенность многочисленными березовыми колками достигает 30-35 %. На севере Кузбасса начинается Западно-Сибирская низменность с ее знаменитыми вековыми ельниками и кедровниками. При оценке углеродного баланса прежде всего следует учесть, что около 60 % лесов Кузбасса – это приспевающие, спелые и перестойные леса, которые имеют нулевой или отрицательный баланс углерода [5].

Оценка вышеперечисленных факторов демонстрирует, что, несмотря на лесное богатство Кузбасса, эмиссия углерода в Кузбассе преобладает над депонированием. Для выравнивания углеродного баланса требуется увеличение доли молодых насаждений в общей структуре лесного фонда. Мы считаем, что эффективней будет создание карбоновых полигонов с высокопродуктивными растениями и растениями так называемой группы С4-фотосинтеза. В результате это будут карбоновые фермы с неприхотливыми травянистыми культурами, которые смогут эффективно поглощать углекислый газ и выделять кислород.

Растения группы С4 фотосинтезируют значительно интенсивнее, нежели другие растения, и их дыхание значительно слабее проявляется. Из них мы, конечно, выберем какое-то ограниченное число, которое предложим в качестве растений, перспективных для карбоновых ферм. С их помощью мы можем интенсифицировать процесс: засаживать территории высокопродуктивными растениями и таким образом искусственно увеличивать скорость связывания углекислого газа.

Растения можно экологично утилизировать. Какие-то виды использовать в качестве биотоплива, какие-то – для корма животным, а третьи – в пищу для людей, как, например, амарант.

Из семян амаранта делают муку с высоким содержанием полезной

аминокислоты – лизина. Это также источник кальция, магния, натрия, фосфора и железа. Амарант растет буквально на глазах, при хороших погодных условиях за день может вырастать на 20 сантиметров и в итоге достигать трех метров в высоту, – описал растение директор ботанического УрФУ [7]. Амарант – одно из немногих растений так называемой группы C4-фотосинтеза. Это означает, что у таких растений процесс связывания углерода в три-четыре раза эффективнее, чем при обычном фотосинтезе. Поэтому это растение крайне перспективно для карбоновых ферм.

Еще одно растение ботанического сада УрФУ - Горец Вейриха - удобно исследовать на карбоновых фермах, так как культура неприхотлива [7].

Горец Вейриха – многолетняя кормовая сельскохозяйственная культура, растения относятся к семейству Гречишные. Растение представляет собой крупный, хорошо облиственный куст. Стебель прямой, в узлах немного изогнутый, полый, бороздчатый, ветвится слабо, высота до 150-250 см. Листья крупные, широкояйцевидной формы, снизу опушены. Соцветие – рыхлая, разветвленная метёлка. Цветки беловато-розового или красного цвета. Опыление перекрестное. Плод – трёхгранный коричневый орешек. Масса 1000 плодов – 2,0-3,0 г.

Горец (гречиха) Вейриха рано отрастает, позволяет получить первый укос в начале лета, второй – в начале осени. Зеленая масса используется в свежем виде и консервированном для заготовки силоса, сенажа, витаминных кормов [8].

Люцерна изменчивая- многолетнее растение с мощной развитой корневой системой. Куст в фазе бутонизации и цветения полулежачий, развалистый и полупрямостоячий. Люцерна изменчивая является гибридным видом, полученным при скрещивании люцерны посевной и люцерны желтой (*Medicago sativa* x *M. varia*). Селекционные сорта подразделяются на 4 основные группы сортоотипов - синегибридная, желтогибридная, пестрогибридная и синепестрогибридная.

Зимостойка, засухоустойчива, к почвам мало требовательна, быстро отрастает весной и после скашивания. Вид характеризуется высокой экологической пластичностью. Более зимостойкий, чем люцерна посевная, поэтому более перспективный для территорий с экстремальными условиями среды. Используется для залужения лугов и пастбищ, склоновых земель, подверженных разрушению водной и ветровой эрозией. Характеризуется устойчивостью к основным болезням и вредителям. Отзывчив на орошении и плодородие почв. Растение долголетнее, в культурном травостое может сохраняться более 10 лет. Заметно улучшает структуру и плодородие почвы и является ценным предшественником многих культур. Используется в чистом посеве на зеленую подкормку, сено, силос, травяную муку [9].

Ваточник сирийский это кормовая культура. В нем очень высокое содержание протеина, больше, чем в кукурузе. При достаточном количестве влаги может достигать трех метров.

Ваточник сирийский – многолетнее травянистое растение, типовой вид

рода Ваточник семейства Кутровые.

Хороший медонос. Молодые растения используют в пищу, вместо спаржи. В семенах ваточника содержится до 20-25 % жирного масла.

При семенном размножении растения зацветают на второй-третий год. Цветение во второй половине лета, 3-4 недели. При посадке надо учитывать, что растение светолюбиво и при разрастании образует вытянутую группу. В средней полосе России зимостоек без укрытия [10].

Мордóвник шароголóвый (лат. *Echinops sphaerocephalus*) – типовой вид растений рода Мордовник (*Echinops*) семейства Астровые (*Asteraceae*). Многолетнее травянистое растение 1-2 м высотой. Обычно растёт по опушкам, в кустарниках, на лугах, иногда на каменистых и щебенистых склонах, известняковых обнажениях, у жилья.

Введён в культуру как лекарственное растение: размножается семенами, в первый год образуется розетка, на втором году зацветает. После плодоношения растения отмирают, но иногда из почек возобновления на корневой шейке образуются новые розетки.

До недавнего времени плоды служили сырьём для получения медицинского препарата «Эхинопсин». Алкалоид эхинопсин применяется в медицине при мышечной атрофии, периферических параличах, при радикулитах и плекситах, а также при гипертонии. В народной медицине используются отвары из семян и настойки из плодов при лечении головных болей, эпилептических припадков, рассеянного склероза и др. Жирное масло применяется наружно при некоторых кожных заболеваниях [11].

Растения превращают газ CO₂ в простые сахара - процесс, известный как фотосинтез. Затем эти сахара используются для построения живых тел растений. Если захваченный углерод попадает в древесину, он оказывается изолированным от атмосферы на многие десятилетия. Когда растения умирают, их ткани разлагаются и включаются в почву.

Часть углерода растений может оставаться под землей в течение десятилетий или даже столетий. Вместе наземные растения и почва содержат от 2500 гигатонн углерода, примерно в три раза больше, чем содержится в атмосфере [6].

В выборе растительности учитывали опыт не только зарубежных исследований, но и отечественный опыт. Так как пилотный проект создания в России карбоновых полигонов запущен Минобрнауки РФ в 2021 году. Первые площадки будут созданы в Чеченской Республике, Краснодарском крае, Калининградской, Новосибирской, Сахалинской, Свердловской и Тюменской областях [7].

Поскольку растения являются отличными естественными хранилищами углерода, вполне логично, что увеличение количества растений во всем мире может снизить концентрацию CO₂ в атмосфере.

Такие карбоновые фермы будут способствовать поиску, разработке и внедрению экономически и климатически эффективных технологий поглощения (секвестрации) атмосферного углерода природными экосистемами

России с учетом различных почвенных, климатических условий, типа растительности, рельефа местности, видов землепользования и других факторов.

Библиографический список

1. Энергоемкость и торговля квотами на выбросы после вступления в силу Киотского Протокола и механизма торговли квотами на выбросы ЕС / [Электронный ресурс] Энергетическая Хартия. Подготовлено ECoSecurities. - 2006. - 52 с. - URL: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/Emissions_Trading_2006_ru.pdf.

2. Экономические аспекты организации карбоновых ферм на лесных землях / С. С. Морковина, Е. А. Панявина, И. И. Шанин, И. А. Авдеева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2021. – № 1 (52). – С. 17-25.

3. Манаков, Ю. А. Добыча каменного угля в аспекте устойчивого развития региона / Ю. А. Манаков, А. Н. Куприянов, А. И. Копытов // Уголь. – 2018. – № 9. – С. 89-94.

4. Добыча угля в Кузбассе и новые экотехнологии / А.И. Копытов, О.А. Куприянов, Ю.А. Манаков и др. // ЭКО. 2021. - № 6. С. - 67-76

5. Швиденко, А. З. Углеродный бюджет лесов России / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69-92.

6. Джанлука Р. Леса никогда не хватит, чтобы компенсировать выбросы CO₂ / Джанлука Р. [Электронный ресурс] // Футуропроссимо. - Режим доступа свободный : - URL: <https://ru.futuroprossimo.it/2021/04/le-foreste-non-saranno-mai-sufficienti-a-compensare-le-emissioni-di-co2/>.

7. Ученые предложили высокопродуктивные растения для карбоновых полигонов / [Электронный ресурс] // Тюменская линия. Режим доступа свободный : - URL: <https://t-l.ru/309234.html>.

8. Вавилов, П. П. Растениеводство / П. П. Вавилов, В. В. Гриценко, В. С. Кузнецов – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1986. – 512 с.

9. Головкин Б. Н. Культурный ареал растений / Б. Н. Головкин. – 5-е изд. – М.: Наука, 1988. – 184 с.

10. Мартынюк Г. Ваточник сирийский / Г. Мартынюк // Наука и Жизнь. – 2002. – № 9. – С. 7-9.

11. Губанов И. А. Дикорастущие полезные растения СССР / И. А. Губанов, И. Л. Крылова, В. Л. Тихонова. – М.: Мысль, 1976. – 360 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫЕ ТЕРРИТОРИИ

Трабер Н.С., Никитина Д.Ю., Никитина А.М., Семина И.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, nikitatraber01@gmail.com*

В данной статье приведены исследования качества атмосферного воздуха по химическому составу снежного покрова в поселке Рассвет (Новокузнецкий район). Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения влияния пылевых выбросов разреза ООО «Энергоуголь» на окружающую среду прилегающих урбанизированных территорий, а также оценки природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: пылевые выбросы, загрязнение, снежный покров, окружающая среда, химический состав, проба.

Кузбасс является регионом с развитой угледобывающей и углеперерабатывающей промышленностью. Разработка месторождений открытым способом оказывает негативное влияние на гидросферу, литосферу и атмосферу. Выбросы крупных угледобывающих предприятий содержат большой процент пылевых частиц разнообразного химического состава, которые могут накапливаться в снежном покрове. Основными источниками пылеобразования являются: автодороги, взрывы, отвалы, буровые станки, экскаваторы, автосамосвалы, бульдозеры, конвейеры [1].

Снежный покров выступает как индикатор загрязнения атмосферы при проведении геоэкологических исследований и позволяет проследить величину сухих и влажных атмосферных выпадений в зимний сезон. На территориях со сплошным снежным покровом практически исключается его литогенное загрязнение. Это позволяет использовать вещественный и химический состав твердого осадка снега, как функцию атмосферных выпадений. Таким образом, снеговой покров можно считать надежным индикатором загрязнения атмосферы.

С целью исследования влияния пылевых выбросов от угледобывающих предприятий на прилегающие урбанизированные территории в качестве объекта исследования был выбран поселок Рассвет.

Пробы снега отбирались методом шурфа и были помещены в полиэтиленовые пакеты, в журнале был указан номер пробы, дата отбора, расстояние от разреза. Таяние снега проводили при комнатной температуре 20 °С в течение суток.

Пробы отбирались в следующем порядке:

Проба №1 – 400 м от границы разреза ООО «Энергоуголь»;

Проба №2 – 800 м от границы разреза ООО «Энергоуголь»;

Проба №3 – 1200 м от границы разреза ООО «Энергоуголь»;
Проба №4 – 2000 м от границы разреза ООО «Энергоуголь»;
Проба №5 – в лесу, вдали от предприятий около 20км. Данная проба была выбрана в качестве эталонной.

Расположение мест отбора проб снега представлено на рисунке 1, сведения по качеству талой воды – в таблице 1.



Рисунок 1 – Карта с местами отбора проб снега

Перед началом эксперимента пробы талой воды фильтровали, рисунок 2. Анализ проб талой воды проводился в научно-исследовательской химической лаборатории Геоэкология ФГБОУ ВО «СибГИУ» с использованием анализатора вольтамперометрического Та-Lab и спектрофотометра ПЭ-5400УФ (рисунок 3).



Рисунок 2- Фильтрация талой воды

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в талой воде представлены в таблице 2.

Анализируя состав талой воды, можно прийти к выводу, что водородный показатель (рН) во всех рассмотренных пробах не превышает ПДК, таблица 2.

В соответствии с уровнем рН воду можно разделить на следующие типы: проба №5 – слабокислая, пробы №3, №4 – нейтральная, пробы №1, №2 – слабощелочная.



Рисунок 3 – Оборудование для исследования талой воды: а) анализатор вольтамперометрический Та-Lab; б) спектрофотометр ПЭ-5400УФ

Таблица 1 - Сведения по качеству воды

Определяемый показатель	Результаты проб талой воды				
	1	2	3	4	5 (эталонная)
Водородный показатель (рН), ед. рН	8,062	7,76	7,14	6,52	5,92
Хлориды, мг/дм ³	<10,0 (6,32)	<10,0 (6,32)	<10,0 (4,72)	<10,0 (4,72)	<10,0 (1,60)
Железо общее, мг/дм ³	>10,0 (27,0)	>10,0 (19,4)	4,44±0,67	2,10±0,32	0,21±0,05
Медь валовая, мг/дм ³	0,0055±0,0019	0,0041±0,0017	0,0028±0,0012	0,0013±0,0005	0,0009±0,0004
Цинк валовый, мг/дм ³	0,052±0,011	0,013±0,003	0,0044±0,0019	<0,0005	<0,0005
Кадмий валовый, мг/дм ³	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Свинец валовый, мг/дм ³	0,0067±0,0019	0,0064±0,0018	0,00093±0,00025	0,00095±0,00026	0,00088±0,00024

Таблица 2 - ПДК химических веществ в талой воде

Определяемый показатель	ПДК
Водородный показатель (рН), ед. рН	6-9
Хлориды, мг/дм ³	350
Железо общее, мг/дм ³	1,0
Медь валовая, мг/дм ³	1,0
Цинк валовый, мг/дм ³	5,0
Кадмий валовый, мг/дм ³	0,001
Свинец валовый, мг/дм ³	0,03

Содержание железа превышает ПДК во всех точках отбора проб за исключением пробы, взятой в качестве эталонной (проба №5).

В пробе №1 превышение в 27 раз, пробе №2 в 19,4 раз, пробе №3 в 4,44 раза и пробе №4 в 2,1 раза.

Содержание хлоридов, меди, цинка, кадмия и свинца во всех пробах не превышает ПДК.

Результаты анализа проб талой воды представлены в виде диаграмм, рисунки 4 и 5.

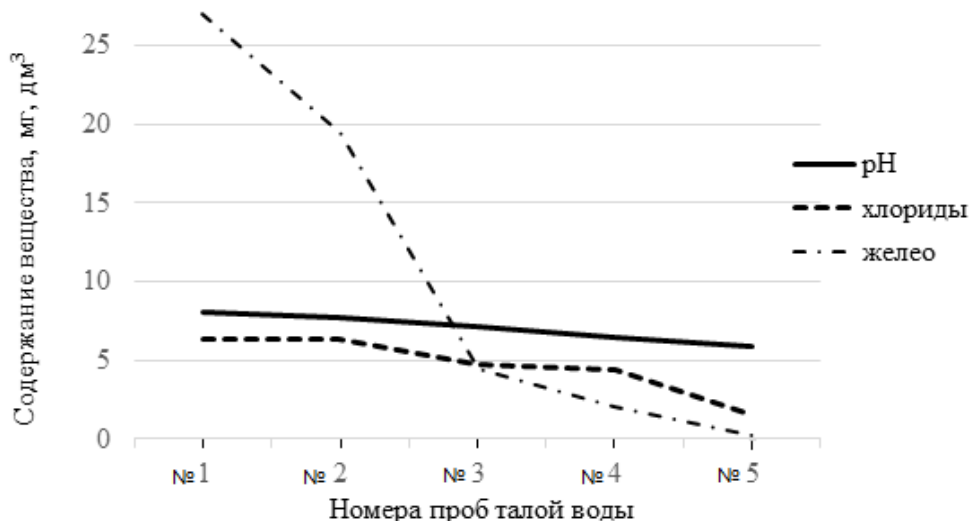


Рисунок 4 - Содержание pH, хлоридов, железа в талой воде

В данном районе преобладает юго-западный и южный ветер. Поперек распространения ветра рекомендуется разместить лесополосу. Использование лесных насаждений в целях уменьшения загрязнения атмосферного воздуха является современным трендом при проектировании промышленных и городских территорий. Лесополосы оказывают положительное влияние на процесс распространения пылевого облака угольных частиц, попадающих в атмо- и гидросферу [2].

Предприятиям рекомендуется соблюдать следующие меры по охране окружающей среды:

1. Применение технологий очистки газов: установка электрофильтров, сухих и мокрых очистителей газов, а также сжигание отходящих газов.
2. Обновление и модернизация угольных разрезов: внедрение современных технологий и оборудования, которые позволяют сократить выбросы пыли и газов.
3. Проведение экологической экспертизы: оценка воздействия на окружающую среду и разработка плана мероприятий по снижению вредных выбросов.

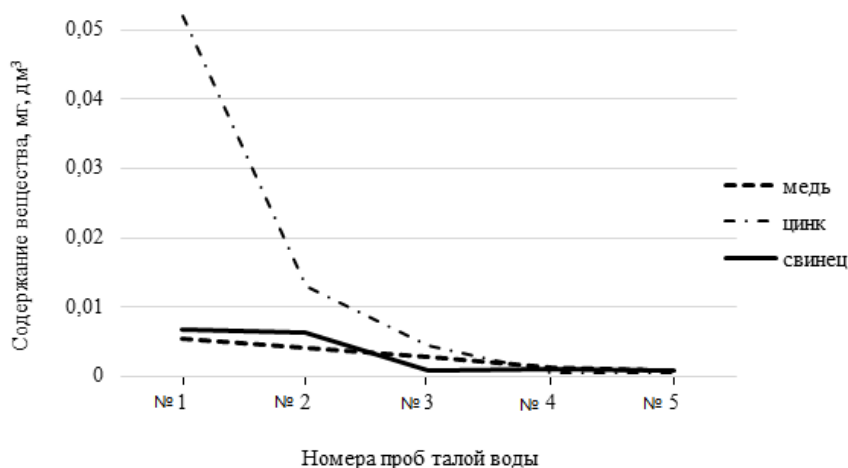


Рисунок 5 - Содержание меди, цинка, свинца в талой воде

Вывод: угледобывающие предприятия, ведущие добычу открытым способом, оказывают негативное влияние на окружающую среду. В данном районе (места отбора проб), выбросы поступают как с разреза ООО «Энергоуголь», так и с частного сектора (п. Рассвет). Содержание веществ в талой воде закономерно уменьшается с увеличением расстояния от границы разреза.

Библиографический список

1. Шарипова Н.В. 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.

2. Исследование качества атмосферного воздуха в городе 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. 2018. С. 346-350.

3. Применение системы пылеулавливания вдоль технологических дорог / Альвинский Я.А., Григорьев А.А., Мананников С.Д., Никитина О.Ю. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-17 мая 2023 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2023. – Вып. 27. – Ч. 2 : Технические науки.– С. 28-32.

УДК 666.76

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ РЕЗИНЫ В КАЧЕСТВЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ БРИКЕТОВ

Матвеева А.А., Домнин К.И., Павловец В.М.

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

Проведена оценка технологии переработки отработанных автомобильных шин, необходимая для разработки процесса получения частиц резины с регламентированными свойствами. Показана принципиальная возможность использования частиц резины в качестве структурообразующих добавок сформованных продуктов в различных отраслях техники. Обоснован режим избирательного смешивания компонентов шихты брикетируемой массы. Исследована динамика прироста массы структурных агрегатов, составляющих основу для получения железосодержащих брикетов с высокими металлургическими свойствами.

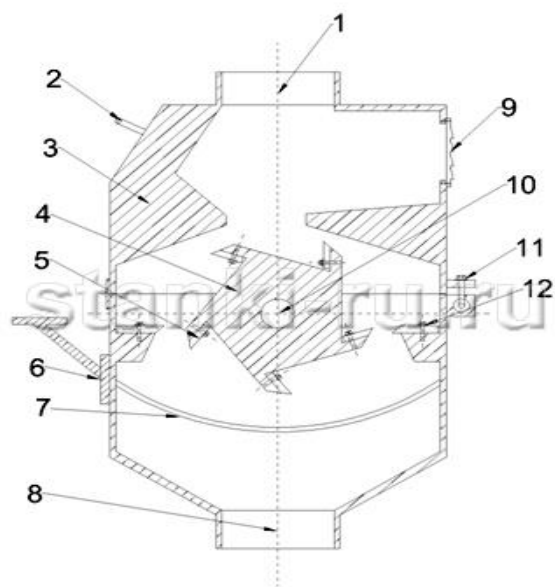
Ключевые слова: отработанные автомобильные шины, частицы резины, структурные агрегаты, избирательное смешивание, компоненты шихты, железосодержащие брикеты.

Механическое измельчение отработанных автомобильных шин (ОАШ) в промышленности осуществляется с помощью режущих кромок вращающейся фрезы (на первой стадии технологии) и заточенных элементов ножевого гранулятора (на второй стадии технологии). В зависимости от способа измельчения и типа измельчителя резиновая крошка может быть рубленой, рваной, в форме «елочной иглы», состоять из смеси разных видов частиц. Качество крошки зависит от наличия примесей в виде пыли, текстильного и металлического корда, фракционного состава частиц и региона производителя. Крошка рубленой округлой формы с равномерными размерами преимущественно получается на ножевом грануляторе. Резиновые гранулы рваной неправильной формы получают на вальцах и конусных дробилках.

Окончательную форму и состояние поверхности частицы резины получают на второй стадии технологии в ножевом грануляторе. Он применяется для вторичного измельчения методом резания крупных кусочков резины размером ≤ 15 мм в резиновую крошку (гранулы резины). При размалывании резиновых чипсов на вальцах измельчителя форма крошки получается «рваной» и неоднородной по размерам. При доизмельчении такой крошки на ножевом грануляторе, частицы резины приобретают более правильную кубовидную форму. Частицы становятся более однородными по составу. Такая крошка имеет ряд преимуществ перед неоднородными частицами: «красивый» внешний вид, экономия связующего при производстве резиновых напольных покрытий. Очистка кубовидной крошки правильной формы от текстиля проходит более эффективно благодаря более гладкой форме частиц, что делает отделение текстиля успешным при использовании отборщика на основе воздушного классификатора. Упрощенная схема ножевого гранулятора и его внешний вид показаны на рисунке 1.

Принцип работы ножевого гранулятора заключается в следующем. Резиновые фрагменты ОАШ подаются в загрузочную горловину (рисунок 1), где попадают в полость между корпусом и главным валом, который опирается на два роликовых подшипника. Измельчение резины осуществляется двенадцатью подвижными ножами, закрепленными на валу, и четырьмя неподвижными ножами, закрепленными на корпусе. После того, как измельченное сырье достигнет нужного размера, оно отводится из сборного бункера при помощи пневмотранспорта. Гранулятор снабжен системой охлаждения камеры дробления и дробимого материала вентиляторным воздухом. Конструкция допускает возможность дробления резиновой смеси с включениями тканевого корда как в распушенном виде, так и в виде нитки. Режущая группа ножевого гранулятора ZSJ-22-M содержит 4 ножа на режущей коронке, срок службы которых дает возможность перерабатывать до 50 000 кг сырья. Средняя производительность станка составляет 80–120 кг/час. Продукт на

выходе содержит резиновые пластинки и ленту, размером Д/Ш/В: 30–150/10–50/1–5 мм. С каждой грузовой изношенной шины (диаметром от 1000 до 1200 мм) снимается 20–45 кг чистой резиновой крошки, в зависимости от степени износа протектора и габаритов шины. При необходимости, на станке можно перерабатывать и предпротекторные слои покрышки с включениями текстиля и металла.



а



б

а – схематичный разрез гранулятора; б – внешний вид установки

1 – загрузочная воронка; 2 – ручка; 3 – горловина; 4 – опора для подвижных ножей; 5 – подвижный нож; 6 – подставка для откидывающейся части корпуса; 7 – сетка с отверстиями Ø3 или Ø5 мм; 8 – разгрузочная воронка; 9 – решётка забора воздуха; 10 – главный вал гранулятора; 11 – крепление откидывающейся части корпуса; 12 – неподвижные ножи

Рисунок 1 – Упрощенная схема ножевого гранулятора для измельчения резины (разрез) – а и его внешний вид – б

Параметры производственного участка для производства товарного резинового гранулята ЛПШК-5-1600 следующие: производственная площадь – 35–50 м², рабочая смена – 2 человека. Среднее потребление электроэнергии при эксплуатационном режиме составляет – 25 кВт/час. В связи с тем, что оборудование работает циклично, не с полной нагрузкой после запуска двигателей, оно может возрасти до 36 кВт/час. Под склад готовой продукции используется металлический 20–40 футовый контейнер, в который входит до 15–30 тонн резиновой крошки. На грануляторе этой конструкции можно перерабатывать не только резиновые пластинки, но и резиновые камеры, флипперы, отходы РТИ, старую обувь.

Форма частиц и состояние их поверхности существенно влияют на состав и стоимость массы, идущей на производство резиновой плитки и цветных бесшовных покрытий, поскольку главной статьей затрат является полиуретановое связующее – упрочняющий клей. Средняя стоимость 1 тонны резиновой крошки на российском рынке составляет 15–30 тыс. руб. Стоимость рубленой крошки фракции 2–4 мм, полученной на ножевом грануляторе, составляет 25 руб./кг. Стоимость крошки, полученной на вальцах существенно ниже – 18 руб./кг. Стоимость клея с доставкой достигает 210 руб./кг. В бесшовных цветных покрытиях содержание клея составляет 13–20 % в зависимости от типа используемой крошки. Если использовать округлую крошку рубленой формы с одинаковыми прочностными характеристиками, то необходимо 13–15 % клея. Если использовать крошку рваной формы с деформированной поверхностью, то содержание клея возрастает до 20 %. Это объясняется тем, что удельная поверхность рваной частицы значительно больше аналогичной рубленой частицы того же размера. Поэтому клея требуется больше, чтобы смочить поверхность рваной частицы и заполнить в ней поры. Исходя из этого, предполагаемая экономия на более дешевой рваной крошке, оборачивается более высокой себестоимостью резинового напольного покрытия. Кроме этого, покрытие из рубленой крошки имеет более привлекательный внешний вид. Следует заметить, что это утверждение справедливо не для всех формуемых частиц в различных отраслях техники, поскольку не учитывает увеличение прочности сформованного изделия за счет сил межчастичного взаимодействия, которое возрастает при деформации поверхности частиц и развитости ее рельефа. Это положение убедительно доказывают исследования свойств окускованных железорудных материалов, сформованных на частицах неправильной формы с развитым рельефом поверхности, при подготовке сырья в черной и цветной металлургии [1–3]. Подобные результаты получены при производстве огнеупорных и теплоизоляционных материалов [4].

Технология измельчения ОАШ позволяет получать крошку любых фракции (от 0,5 до 12 мм), что достигается путем выбора сит с разным диаметром ячеек. Благодаря острым ножам гранулятора и эффективной системе воздушного охлаждения крошка не имеет следов термического окисления и на выходе имеет относительно небольшую удельную поверхность. При необходимости, крошку можно получать на грануляторе из тканекордных слоев шины и чипсов с включением текстильного корда. При прохождении через ножевой гранулятор текстиль окончательно освобождается от структуры резины и приобретает вид текстильной ваты, которую проще удалить из крошки. Крошку с включениями текстиля можно сепарировать на дополнительном оборудовании. Внешний вид резиновых пластинок (чипсов) и крошки, полученных в промышленных масштабах, показан на рисунке 2.

Одним из перспективных предложений по масштабному использованию резиновой крошки в промышленности является ее использование в качестве триединого материала: порообразующего и восстановительного сред-

ства, дополнительного источника тепловой энергии и основы для формирования структурных агрегатов (СА) при производстве железосодержащих брикетов в металлургии [5–9].



а

б

а – резиновые пластинки (чипсы); б – резиновая крошка рубленой (правильной) округлой формы размером 1–3 мм

Рисунок 2 – Внешний вид резиновых пластинок (чипсов) и крошки, полученных на УПШ-Т

Структурные агрегаты – это искусственно сформованные пористые твердожидкостные объекты, входящие в состав шихты для производства брикетов и необходимые для эффективной металлизации окускованного железосодержащего сырья [10–12]. Исследование динамики прироста массы структурных агрегатов при избирательном смешивании компонентов шихты, составляющих основу для получения брикетов с высокими металлургическими свойствами, позволяет получить массовые характеристики шихты и подобрать рациональный режим избирательного смешивания. Формирование СА возможно с помощью избирательного смешивания компонентов массы, при котором на поверхности порообразующих добавок (ПД) на основе частиц резины формируется слоевая структура, состоящая из последовательно сформированных слоев материалов. Ключевым звеном в технологии избирательного смешивания является форма, размеры и состояние поверхности ПД. Поэтому этот фактор необходимо учитывать при разработке технологии брикетирования.

Целью работы явилось исследование прироста массы структурных агрегатов на основе частиц резины в режиме избирательного смешивания компонентов шихты железосодержащих брикетов и разработка рационального режима избирательного смешивания.

Методика экспериментов заключалась в следующем. В качестве порообразующих добавок и основы для СА использовали частицы резины, полученные различными механическими методами: резанием с помощью ножей (ПД 1), сверлением с помощью вращающегося сверла (ПД 2) и фрезерованием с помощью металлического ножовочного полотна (ПД 3). Размеры частиц ПД 1 и ПД 3 составляли 2×2×5 мм, размеры частиц ПД 2 были суще-

ственно меньше и составляли 1×1×3 мм. Для получения частиц резины использовали отработанные автомобильные воздушные камеры автомобиля КАМАЗ толщиной 5 мм. В экспериментах фрагмент камеры размером 200×300 мм, закрепляли на деревянной основе с помощью металлических заклепок для придания жесткости. Частицы ПД являлись основой для формирования шихтовых структурных агрегатов. В качестве железосодержащего материала использовали железорудный концентрат (ЖК) Тейского месторождения ($Fe_{\text{общ}}=63,4\%$, $d_{\text{ч}}=0,068$ мм). В качестве связующего применяли 50 % раствор жидкого стекла (ЖС), обеспечивающий необходимую вязкость и схватываемость массы в процессе технологических операций [5–7]. Жидким восстановителем являлось отработанное моторное масло (ОММ) ДВС, которое использовали в качестве техногенного вторичного сырья, подлежащего полезной переработке. Применение ОММ в металлургических технологиях является перспективным направлением, позволяющим генерировать высококонцентрированные восстановительные газы для процесса металлизации. Использование в исследуемой шихте нескольких видов техногенного вторичного сырья существенно расширяет функциональные возможности техники брикетирования. Режимы избирательного смешивания компонентов шихты для получения СА приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Структура режимов избирательного смешивания и последовательность смешивания компонентов СА

№ режима смешивания	Последовательность смешивания компонентов брикетируемой массы			
	1	ПД	ОММ	ЖС
2	ПД	ЖС	ОММ	ЖК

Для формирования СА порообразующие добавки помещали в один из вышеназванных компонентов и вручную перемешивали. На поверхности ПД формировался слой нового материала, после чего ее помещали в следующий материал и перемешивали, формируя на ПД второй слой. В конце экспериментов на поверхности ПД было сформировано три слоя материалов (ОММ, ЖС и ЖК), расположенные в определенной последовательности (таблица 1). Визуально оценивали макро - и микроструктуру ПД и СА. Анализ структуры проводили с помощью стереоскопического микроскопа Микромед МС-5-ZOOM LED в ЦКП «Геоэкология» СибГИУ.

После взвешивания ПД и компонентов шихтовой массы на их поверхности рассчитывали относительные массы Θ_m , %, по выражению

$$\Theta_m = (M_i / M_0) \times 100,$$

где M_0 – исходная масса порообразующих добавок, г;

M_i – масса порообразующих добавок со слоем соответствующего i -го компонента смеси после перемешивания, г.

Прирост массы i -го компонента на поверхности ПД $\Delta\Theta_m$, %, рассчиты-

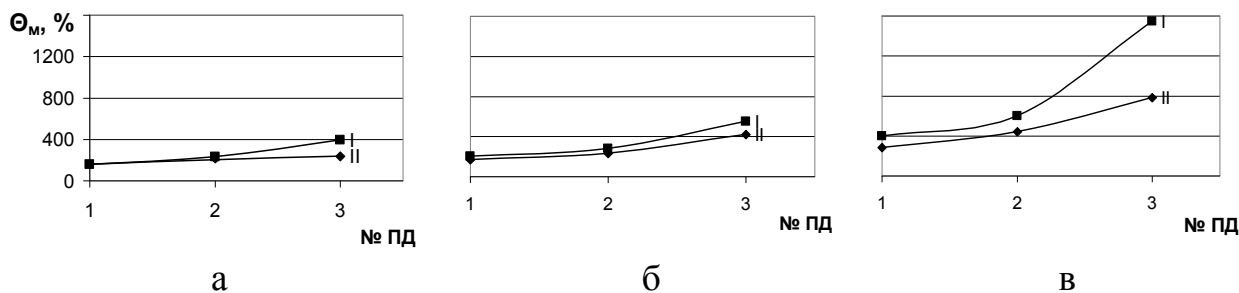
вали по формуле:

$$\Delta\Theta_M = \Theta_{M i} - \Theta_{M i-1}$$

где $\Theta_{M i}$ – относительная масса ПД со слоем i -го компонента на ее поверхности, %;

$\Theta_{M i-1}$ – относительная масса ПД со слоем $i-1$ -го (предыдущего) компонента на ее поверхности, %.

Результаты экспериментов приведены на рисунке 3.



- а – СА на первой стадии смешивания (ПД+первая жидкость);
- б – СА на второй стадии смешивания (ПД+первая и вторая жидкости);
- в – СА на третьей стадии смешивания (полный СА)
- I – режим смешивания ПД+ОММ+ЖС+ЖК, II – ПД+ЖС+ОММ+ЖК

Рисунок 3 – Зависимость относительной массы СА от вида ПД и режима смешивания

Результаты экспериментов показывают принципиальную возможность получения прочных СА на основе частиц резины, полученных различными механическими способами измельчения. Установили, что прирост массы и собственная масса СА существенно зависят от режима смешивания и состояния поверхности частиц резины (рисунок 3). На первой стадии смешивания прирост массы достаточно высокий (более 400 %). На второй стадии смешивания на поверхность ПД, смоченную первой жидкостью, наносится вторая жидкость, массовый прирост которой существенно ниже – около 100 %. Наибольший прирост массы (300–900 %) дает третья стадия смешивания, на которой мелкодисперсный сыпучий материал внедряется в слой смеси, состоящей из двух жидкостей, при этом вторая жидкость, по-видимому, большей частью находится на поверхности первой жидкости. Причем по режиму 1 формируются более массивные СА, поскольку сыпучий материал более эффективно удерживается ЖС, расположенным во втором (предпоследнем) слое СА. Влияние типа частиц резины на массовые характеристики СА проявляется также определенно. Минимальная масса СА формируется на частицах первого типа (ПД 1), гладкая и слабдеформированная поверхность которых содержит минимальное количество дефектов, способных концентрировать обе жидкости и, соответственно, сыпучий материал. И напротив, частицы ПД 3 третьего типа, содержащие максимальное количество поверхностных дефектов способны эффективно концентрировать жидкости и сыпучий материал. Это свойство является положительным для шихтовой сме-

си, подготовленной для брикетирования. Частицы второго типа (ПД 2) формируют у СА массовые характеристики, близкие к этим характеристикам для частиц первого типа (ПД 1).

Опытные данные позволяют сформировать пакет производственных условий для получения частиц резины, полученных из ОАШ, применительно к технологии подготовки железосодержащего сырья к металлургической плавке. В качестве регуляторных факторов можно использовать один из рассмотренных или ранее разработанных режимов смешивания [8, 9], вид механического измельчения ОАШ, размер частиц резины и некоторые другие факторы влияния на технологический процесс окускования сырья. Исследуемая технология [12] зарегистрирована как объект интеллектуальной собственности.

Библиографический список

1. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии / В. М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 336 с.

2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 328 с.

3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 284 с.

4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 268 с.

5. Павловец В.М. Использование техногенных отходов производства в технологии брикетирования железосодержащих материалов / В.М. Павловец, К.И. Домнин К.И. // Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество» «Металлургия-2021», Часть 2, 347 с., Новокузнецк, СибГИУ, 2021, с. 159–183.

6. Павловец В.М. Исследование процесса брикетирования железорудных материалов, содержащих в качестве нетрадиционного восстановителя отработанное минеральное масло / В.М. Павловец, К.И. Домнин К.И. // Сборник трудов XXIII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Выпуск 26, часть 2, 410 с, Новокузнецк, СибГИУ, 2022, с. 225–231.

7. Павловец В.М. Исследование процесса брикетирования железорудных материалов, содержащих в качестве нетрадиционного восстановителя отработанное минеральное масло / В.М. Павловец, К.И. Домнин // Сборник трудов XXIII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Выпуск 26, часть 2, 410 с, Новокузнецк, СибГИУ, 2022, с.

225–231.

8. Павловец В.М. Исследование динамики прироста массы шихтовых агрегатов, используемых для производства железосодержащих брикетов / В.М. Павловец, К.И. Домнин // Сборник трудов XXIII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Выпуск 26, часть 2, 410 с, Новокузнецк, СибГИУ, 2022, с. 193–203.

9. Павловец В.М. Исследование процесса брикетирования железосодержащих и структурообразующих материалов, подвергнутых избирательному смешиванию / В.М. Павловец, К.И. Домнин // Сборник трудов X X III Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Выпуск 26, часть 2, 410 с, Новокузнецк, СибГИУ, 2022, с. 203–211.

10. Павловец В.М. Формирование структуры железорудных окатышей, полученных с использованием теплосилового напыления влажной шихты / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2016. – № 10. – С. 857–863.

11. Павловец В.М. Особенности развития техники и технологии окомкования железорудной шихты в производстве окатышей / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2023. – Том 66. – № 5. – С. 529–537.

12. Патент № 2814587 Российская Федерация, МКИ⁸ С22В 1/24. Способ получения железосодержащих брикетов / В.М. Павловец, К.И. Домнин – № 2023106911/02, Заявл. 22.03.2023; Оpubл. 01.03.2024. Бюл. №7 // Изобретения. Полезные модели. 2024. – №7.

УДК 666.76

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Матвеева А.А., Павловец В.М.

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

Обоснована актуальность технологии переработки отработанных автомобильных шин и получение на ее основе востребованной продукции. Проведена оценка различных способов измельчения отработанных автомобильных шин и технологических операций при их механической переработке. Показаны достоинства и недостатки существующей технологии, на основе которых сформулирована цель исследования. Предложена усовершенствованная технология измельчения шин и проанализированы результаты исследования. Они показывают возможность более тонкого измельчения шин с помощью сверленных отверстий, предварительно выполненных в измельчаемом материале.

Ключевые слова: отработанные автомобильные шины, измельчение, механическая переработка, сверленные отверстия, чипсы.

Высокая стоимость и дефицит некоторых видов резинотехнических изделий и материалов ориентирует их производство на частичную замену минерального сырья техногенными вторичными ресурсами. Переработка вторичного сырья позволяет организовать природоохранную деятельность предприятий, производящих отходы, снизить затраты на дорогостоящее производство резинотехнических изделий за счет использования недорогого вторичного сырья, обеспечить экономию природных ресурсов, энергии и снизить загрязнение окружающей среды [1, 2]. В технике инженерной защиты окружающей среды от негативного воздействия отходов существуют несколько путей рециклинга отработанных автомобильных шин (ОАШ): непосредственное использование в качестве вспомогательного сырья для изготовления востребованных видов продукции и в качестве нетрадиционных видов сырья в непрофильных отраслях промышленности. Это относится к технике окускования металлургического сырья, где предложено использовать резиновую крошку в качестве поро- и структурообразующего материала [3–5]. При производстве огнеупорных и строительных изделий ее можно использовать в качестве порообразующего средства [6–10]. Относительно новым направлением в технике утилизации ОАШ является использование переработанного сырья, как правило, тонкодисперсного, для производства композитных материалов сопутствующего назначения: защитных мастик и покрытий, дисперсных наполнителей, дисперснонаполненных химпродуктов, связок и клеящих веществ, демпфирующих материалов, изделий строительного назначения и др.

В основе большинства технологий переработки техногенного вторичного сырья являются процессы дробления, помола и измельчения [3, 4]. Это в полной мере относится к ОАШ, в результате переработки которых образуется резиновая крошка. Она является основным сырьем для производства покрытий для детских игровых площадок, спортзалов и спортивных площадок, резиновой антискользящей брусчатки и покрытий у причалов и бассейнов, ковриков для автомоек, гаражей, животноводческих ферм, садовых и коттеджных участков. Ее используют для получения укрытий под деревья для уменьшения испарения воды и предупреждения роста сорняков, она применяется в качестве строительных материалов в ландшафтном дизайне, в качестве гидроизоляционных покрытий стен и фундаментов, наполнителей для спортивных снарядов (боксерские груши, маты), в битумно-резиновых смесях для производства высококачественного асфальта нового поколения, резиновых мастик и кровельных материалов, в качестве частичного заменителя основного сырья для производства широкого спектра резинотехнических изделий.

Как правило, процесс переработки отработанных автомобильных шин многоступенчатый. Из небольшого списка методов переработки (термиче-

ский, взрывной, бародеструкция, механический), последний получил наибольшее распространение в промышленности. Под механическим методом измельчения ОАШ в дробленую резиновую крошку, или шинный гранулят, подразумевается механическое воздействие посредством резки, рубки, раздавливания, трения, сдвига, перемалывания, дробления или перетирания. Механический метод дробления ОАШ при нормальных температурах является самым распространенным в мире. Рассматриваемый метод популярен благодаря тому, что крошка защищена от термических окислений, нет эффекта частичной девулканизации (переход от эластичного состояния к пластичному). Способ характеризуется сравнительно невысоким энергопотреблением, что сказывается на себестоимости товарной крошки. Метод подразумевает измельчение с применением водяных и воздушных систем охлаждения при температурах, близких к температуре окружающей среды.

У механического способа дробления ОАШ при температурах выше 100 °С недостатком является скомканная, частично девулканизированная крошка, имеющая ограниченное применение. При сжатии такой крошки проявляется эффект снежного комка. Частицы имеют неоднородную рваную форму и липкое состояние. Очистить такую крошку от примесей текстиля и металла сложнее, чем в измельчении шин при обычных температурах. Известно множество случаев непроизвольных самовозгораний материала при повышенной температуре переработки. Температура горения резиновой крошки близка температуре горения каменного угля, поэтому потушить такой пожар очень сложно. Одним из достоинств данного метода является тот факт, что из девулканизированной резиновой крошки можно делать неотвественные резиновые изделия методом горячего формования без использования связующего. Также такая липкая резиновая крошка хорошо подходит для производства резинобитумных смесей.

Механический способ при пониженных температурах включает предварительное охлаждение перерабатываемого материала с целью достижения порога хрупкости. При этом шинная резина, как и многие другие материалы, в «замороженном» состоянии легче дробится. Однако, себестоимость резиновой крошки при данном методе достаточно высока из-за применения дорогостоящего холодильного оборудования и материалов.

Механический способ измельчения автомобильных шин с применением метода «озонового ножа», в котором озон способствует ускоренному старению и саморазрушению резины, применяют на начальной стадии переработки. Резина частично разрушается, после чего доизмельчается механическим способом на второй стадии технологии. Данная технология известна и запатентована достаточно давно, но не получила распространения в силу своих недостатков. Главным недостатком является то, что резиновая крошка на выходе имеет очень плохое качество из-за «ускоренного старения». Продукция из такой «старой» крошки имеет худшие характеристики и менее долговечна.

Метод бародеструкции – это измельчение шин методом раздавливания

мощным гидравлическим прессом. Такой способ затратный по энергопотреблению и малопроизводительный по сравнению с измельчением классическим способом с помощью ножевых дробилок. Преимуществом по сравнению с обычной ножевой дробилкой шин в чипсы является тот факт, что часть металлического корда отделяется от структуры резины, но себестоимость продукции достаточно высока.

Метод измельчения шин взрывом практически не используется в промышленности из-за сложности технологии, требующей множества согласований и разрешений.

Особенностью технологии: механической переработки ОАШ при нормальных температурах за одну стадию является установка ОАШ в посадочном патроне станка, раскручивание ее до 50 об/мин и срезание верхнего слоя покрышки с помощью мощной фрезы с закрепленными ножами. Фреза вращается со скоростью около 2500 об/мин и покрышка дробится на крошку и другие составляющие. Технология предполагает так же отделение ТМК от прочих включений (резина, пыль, тканевый корд) с помощью магнитного сепаратора с подачей вторсырья вибрационного типа. На первом этапе технологии возможна переработка автомобильных колес на кусочки (чипсы) внешним диаметром до 1200 мм без исключений и некоторых типоразмеров до 1600 мм, максимальная ширина профиля шины до 350–450 мм. На втором этапе технологии происходит переработка чипсов-кусков 50×50 мм в резиновую автомобильную крошку.

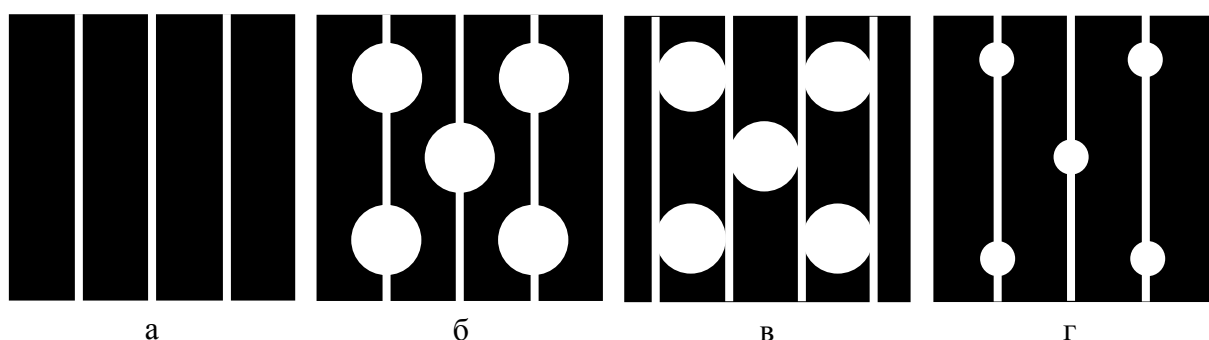
Порядок работы станка УПШ-Т для измельчения ОАШ заключается в следующем. Легкие шины (до 25–35 кг) устанавливаются в зажимном барабане вручную по 2 штуки. Более массивные шины устанавливаются с помощью механизма подъема и посадки шин. После этого покрышка надежно и равномерно закрепляется в станке. Затем включается привод вращения зажимного патрона станка, и зафиксированная в нем покрышка начинает вращаться. Поскольку шины имеют разный внешний диаметр, предусмотрено 3 скорости вращения, каждая под свой наружный диаметр, которая выбирается оператором по таблице. К вращающейся шине подводится фреза с закрепленными на ней ножами. Скорость подвода фрезы регулируется оператором, подобно работе на токарном станке. Чем выше скорость подвода коронки к вращающейся шине, тем крупнее на выходе фракции резиновой стружки и наоборот. Это является одним из способов регулировки размеров частиц. Таким способом с шины срезается чистая резина с боковин и протекторной части и автошина перерабатывается до появления корда. Дальнейшая технология имеет два варианта. Если покрышка диагональной конструкции с текстильным типом корда, то возможна переработка ее почти полностью - до бортовых посадочных колец. Однако после начала появления в резине текстильных нитей, резиновая стружка на выходе будет с примесями тканекорда. Поэтому в технологии предусмотрена очистка такой крошки на дополнительном оборудовании (вибростолы, промышленные пылесосы, кордоотделители, текстильные сепараторы). Если шина радиальной конструкции корда

(металлический или смешанный корд), то ее целесообразно перерабатывать до появления металлических нитей. Наличие металлического каркаса шины снижает срок службы ножей установки почти в 2 раза; производительность падает приблизительно в 2 раза. Для очистки полученной резиновой крошки от металла потребуется вспомогательное оборудование - магнитный отборщик. При желании можно на данной модели установки перерабатывать металлокордные радиальные шины до посадочных колец.

Эксплуатация станка показывает, что чем больше и тяжелее покрышка, тем выше производительность установки и, как следствие, возможность «снять» больше чистой резиновой стружки за более короткий срок, поскольку экономится время на установке шины в зажимной патрон. На некоторых режимах станок желательно оснастить дополнительными опциями: опция «система резки шин на 6 частей-колец» для продольной резки шин до 6 фрагментов-колец (вырезаются бортовые кольца, боковины и режется на две части по центру беговой дорожки). Это удобно при компоновке не переработанных частей шин (если оператор станка принял решение остановить переработку после снятия слоя чистой резины). Компоновка снижает их объем и делает такую резину более выгодным для транспортировки и хранения материалом. Недостатками технологии так же является низкая стойкость фрезы, наличие тканевых и металлических частиц в крошке, что требует ее очистки, большой разброс размеров чипсов.

Целью работы явилась разработка технических мероприятий по уменьшению размеров резиновых чипсов и облегчению условий измельчения ОАШ.

Для экспериментов использовали отработанные автомобильные воздушные камеры автомобиля КАМАЗ толщиной 5 мм. Фрагмент камеры размером 200×300 мм, закрепляли на деревянной основе с помощью металлических заклепок для придания жесткости. Схема выполнения прорезей и сверленных отверстий на фрагменте ОАШ показана на рисунке 1.



а – схема горизонтальных прорезей при получении чипсов на стандартном оборудовании, б, в, г – схема получения чипсов на стандартном оборудовании с применением сверленных отверстий

Рисунок 1 – Схемы получения чипсов из отходов резинотехнических изделий и ОАШ

Продольные прорезы (рисунок 1, а) выполняли с помощью обрезного абразивного диска толщиной 4 мм и диаметром 230 мм. Абразивный диск моделировал работу вращающейся фрезы промышленного станка. Скорость вращения обрезного диска составляла 2500 об/мин. Сложность исследований заключалась в том, что в процессе работы лабораторной установки трудно было получить чипсы шириной менее 5 мм с помощью абразивного диска. Перед нанесением продольных прорезей с помощью металлического сверла в резиновом фрагменте выполняли отверстия методом сверления. Отверстия, выполненные в разной технологической последовательности (рисунок 1, б, в, г), позволяли регулировать поперечные размеры чипсов и облегчали процесс нанесения прорезей с помощью вращающегося диска. Это определяли с помощью усилий, которые требовалось приложить к основе для ее удержания на рабочем столе. Усилия, прикладываемые к фрагменту ОАШ при сверлении, были минимальные. При этом формировалась тонкая резиновая крошка размером менее 0,2 мм. Снижение усилий при измельчении ОАШ позволяет прогнозировать увеличение производительности установки. Схема, показанная на рисунке 1, б, позволяет регулировать (уменьшать) поперечный размер чипсов, придавая им волнообразную конфигурацию. Для этого следует использовать сверления разного диаметра (рисунки 1, б и 1, г). Схема, показанная на рисунке 1, в, позволяет формировать (уменьшать) продольный размер чипсов, придавая им правильную конфигурацию и создавая форму чипсов, близкую квадрату или параллелепипеду. В этой схеме основным регулирующим фактором является расстояние между отверстиями. Размер отверстий также может влиять на форму чипсов. Наличие отверстий в любой схеме измельчения способствует обрыву нитевидных чипсов и уменьшению их продольных размеров. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Крупность полученных частиц резины в зависимости от схемы нанесения отверстий и прорезей на фрагменте ОАШ (числитель – площадь сверления 20 %, знаменатель – 40 %)

№	Схема, показанная на рисунке	Размеры чипсов (длина×ширина), мм	Размеры частиц после сверления (диаметр), мм	Средний размер частиц, мм
1	а	(5×200)/(5×200)	-	103 /-
2	б	(3×50)/(3×20)	(0,1–0,2)/(0,1–0,2)	21,9 / 7,8
3	в	(5×20)/(5×10)	(0,1–0,2)/(0,1–0,2)	10,7 / 5,4
4	г	(5×50)/(5×20)	(0,1–0,15)/(0,1–0,15)	21,6 / 7,6

Из таблицы видно, что средний размер частиц измельченной резины существенно зависит от площади отверстий, полученных сверлением, и схемы нанесения отверстий на плоскость фрагмента ОАШ. Используя сверленные отверстия, размеры чипсов можно уменьшить в 5–10 раз, а средний размер полученных резиновых частиц сократить в 10–15 раз. Таким образом, можно утверждать, что чем выше площадь сверления, тем выше доля мелких

частиц в готовой продукции и меньше средний размер частиц измельченной резины. Приведенные схемы являются небольшой частью технических решений, позволяющих регулировать размеры частиц и производительность установки. Для поиска оптимального решения следует расширить число комбинированных схем измельчения на основе сверленных отверстий, что является перспективной задачей.

Библиографический список

1. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии / В. М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 336 с.

2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 328 с.

3. Павловец В.М. Использование техногенных отходов производства в технологии брикетирования железосодержащих материалов / В.М. Павловец, К.И. Домнин К.И. // Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество» «Металлургия-2021», Часть 2, 347 с., Новокузнецк, СибГИУ, 2021, с. 159–183.

4. Павловец В.М. Исследование процесса брикетирования железорудных материалов, содержащих в качестве нетрадиционного восстановителя отработанное минеральное масло / В.М. Павловец, К.И. Домнин К.И. // Сборник трудов XXIII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Выпуск 26, часть 2, 317 с, Новокузнецк, СибГИУ, 2022, с. 225–231.

5. Патент № 2814587 Российская Федерация, МКИ⁸ С22В 1/24. Способ получения железосодержащих брикетов / В.М. Павловец, К.И. Домнин – № 2023106911/02, Заявл. 22.03.2023; Оpubл. 01.03.2024. Бюл. №7 // Изобретения. Полезные модели. 2024. – №7.

6. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 268 с.

7. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 284 с.

8. Патент № 2768073 Российская Федерация, МКИ⁸ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2021130684/02, Заявл. 20.10.2021; Оpubл. 23.03.2022. Бюл. №9 // Изобретения. Полезные модели. 2022. – №9.

9. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ⁸ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 // Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.

10. Павловец В.М. Особенности развития техники и технологии окомкования железорудной шихты в производстве окатышей / В.М. Павловец. Известия Вузов. Черная металлургия, 2023, Том 66, № 5, с. 529–537.

V ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 65.011.56

ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Заякин М.А., Спиридонов В.В., Михайлова О.В.

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

В статье рассматривается система "Статистика безопасности–3", состоящая из поверхностного и подземного модулей. Подземный модуль позволяет фиксировать нарушения норм безопасности на месте с помощью мобильного устройства и приложения, обеспечивая локальное хранение данных и передавая их поверхностному модулю.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие, безопасность, аварийные ситуации, информационная система, мобильное приложение, база данных.

Современное горнодобывающее предприятие России содержит большое количество сложных технологических комплексов. В таких комплексах неизбежно возникает большое количество неполадок и неисправностей, требующих своевременного устранения. Поэтому актуальной является задача сбора информации о неполадках оборудования и каталогизации накопленных данных.

Часто для этих целей на шахтах используются стенды с записями об аварийных ситуациях, однако такая реализация контроля за аварийными событиями имеет множество недостатков. Например, отсутствует систематизированное хранение данных, а также быстрый сбор, обработка, доступ к архивным и действующим записям. Такой подход не предполагает автоматизированного решения.

Традиционно для решения отдельных частных задач горного производства создавались комплексные информационные системы и компьютерные технологии, которые постепенно становились инструментом повседневного применения инженерно-техническими службами горных компаний, прежде всего для стратегического и оперативного управления, планирования горных работ, обеспечения безопасности производства. То есть в тех областях практической деятельности горной компании, где требуется ежедневный контроль, мониторинг оборудования и состояния горных работ, анализ и принятие управляющих решений.

На рисунке 1 показан пример стенда для сбора данных об аварийных ситуациях на предприятиях без использования автоматизированной системы.



Рисунок 1 – Стенд с записями об аварийных ситуациях

На предприятии ООО «Тензор» (г. Междуреченск) создана информационная система «Статистика безопасности—3», которая формирует базу данных о технических проблемах и опасных производственных ситуациях, возникающих на разных объектах угольной шахты. В этой базе содержатся сведения:

- о дате возникновения опасной ситуации;
- о месте возникновения опасной ситуации (участок, выработка);
- о статусе ситуации в ходе исполнения мероприятий по устранению опасной ситуации;
- описание ситуации;
- о прогнозируемой дате выполнения мероприятий по устранению опасной ситуации.

Система «Статистика безопасности—3» включает два модуля: поверхностный и подземный. Поверхностный модуль устанавливается на поверхностном компьютере, имеет серверную базу данных, но не имеет средств для сбора данных с подземных объектов в режиме реального времени. Подземный модуль устанавливается на мобильное устройство (планшет или телефон), имеет локальную базу данных и средства сбора данных на месте, но не имеет средств для передачи данных на поверхность в реальном времени. Работник шахты берет мобильное устройство с собой в шахту и на месте фиксирует нарушения, с помощью приложения, вводя данные о нарушении в локальную базу данных. Эти данные передаются на поверхностный компьютер при выходе работника на поверхность.

При разработке базы данных для поверхностного компьютера было предусмотрено получение входной информации при регистрации новых аварийных ситуаций, включающую наименование участков и связанных с ними локаций, где выявлена неисправность, входную информацию об изменении статуса уже выявленной аварийной ситуации, добавленные статусы аварий-

ных ситуаций, используемые в программе и основные данные об аварийных ситуациях, отображающиеся в программе.

Техническая структура информационной системы обеспечения безопасности угледобывающего предприятия показана на рисунке 2.

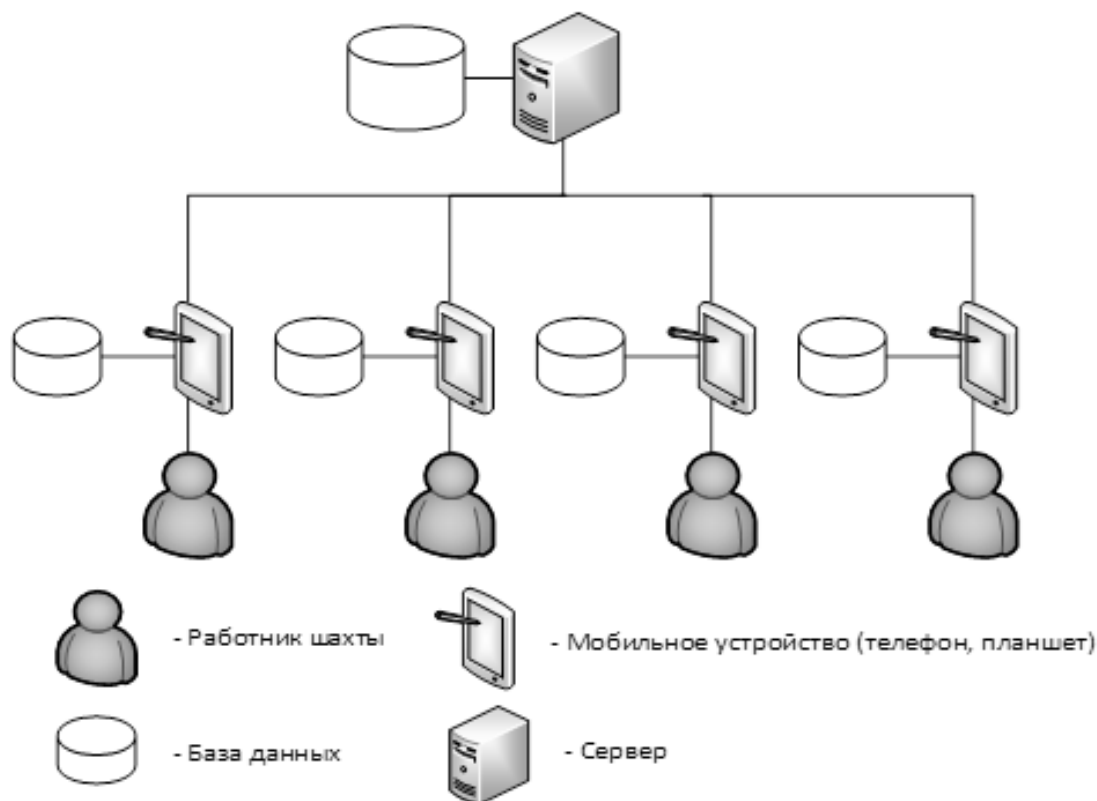


Рисунок 2 – Техническая структура информационной обеспечения безопасности угледобывающего предприятия

База данных подземного модуля включает 10 таблиц:

- StatusN - справочник статусов, содержащий идентификационный номер, наименование и ссылку на сотрудника, который изменял/создал конкретный статус.

- STATUS – таблица, в которой регистрируются все изменения статусов работ по устранению конкретной аварийной ситуации. Она содержит: номер записи; ссылку на запись об аварийной ситуации; флаг запрета/разрешения дальнейших работ; дату изменения статуса; ссылку на наименование статуса; дополнительный комментарий к записи; ссылку на сотрудника, который изменил статус; фотографию, подтверждающую статус.

- STB – центральная таблица, хранящая в себе порядковый номер аварийной ситуации, ссылку на локацию, наименование локации, ссылку на описание аварии, текст описания, ссылку на участок и ссылку на используемое оборудование.

- Texts – справочник описаний аварийных ситуаций, содержащий идентификационный номер, тексты описания и степень опасности.

- TextScan – справочник, описывающий иерархическую структуру опи-

саний аварийных ситуаций.

- UserS – справочник сотрудников шахты, содержащий идентификационный номер, ФИО, номер телефона, должность, ссылку на участок и другое.

- ORG – справочник участков, содержащий идентификационный номер и наименование.

- Locats – справочник локаций, связанных с участками, содержащий идентификационный номер, ссылку на участок и собственное наименование.

- OrgMachine – справочник, содержащий информацию о закреплении оборудования за участками.

- Machine – справочник оборудования.

Схема базы данных подземного модуля приведена на рисунке 3.

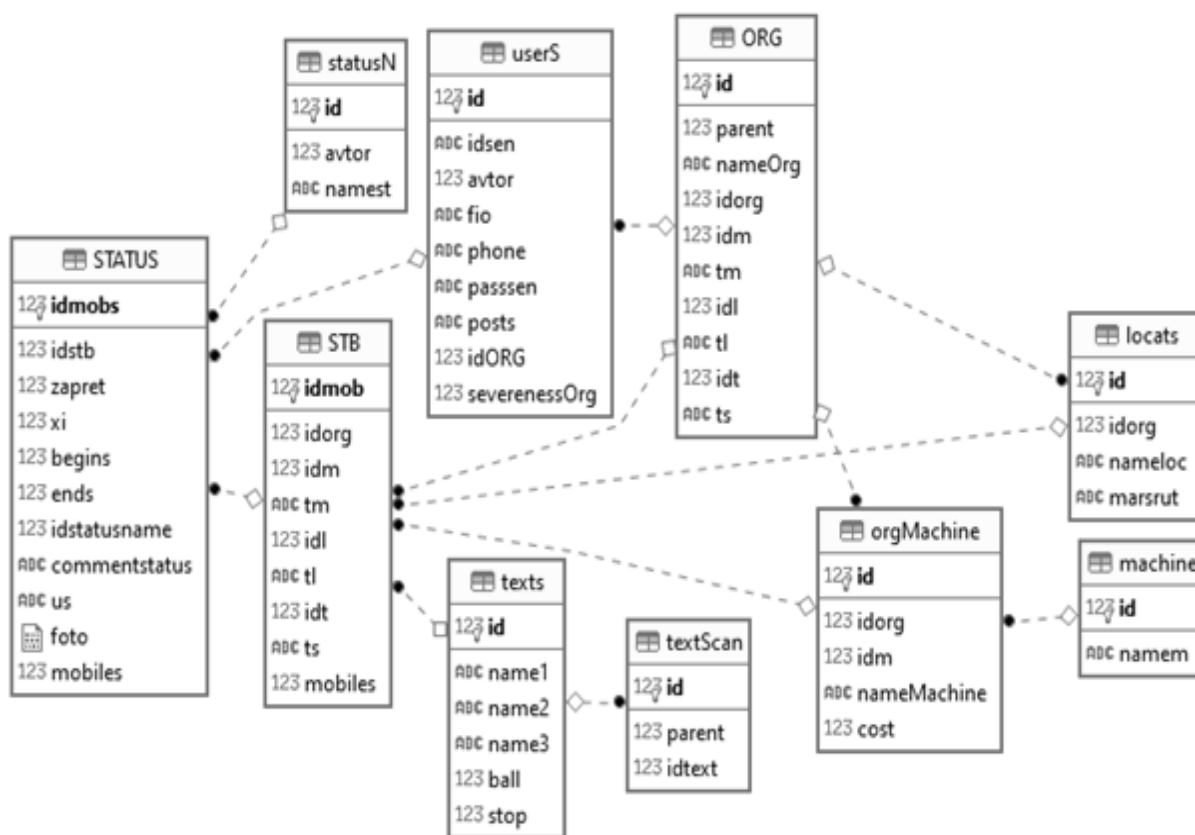


Рисунок 3 – Схема базы данных подземного модуля системы обеспечения безопасности угледобывающего предприятия

База данных поверхностного модуля содержит 21 таблицу: Class0, Class1, Class2, Locats, Machine, Obt, Org, Orgmachine, Orgobt, Post, Roles, Status, Statusname, Statuspost, Stb, Stbobt, Textobt, Texts, Textscan, Userpost, Usersen. Даталогическая модель организации обмена информацией между подземным и наземным модулями системы обеспечения безопасности показана на рисунке 4.

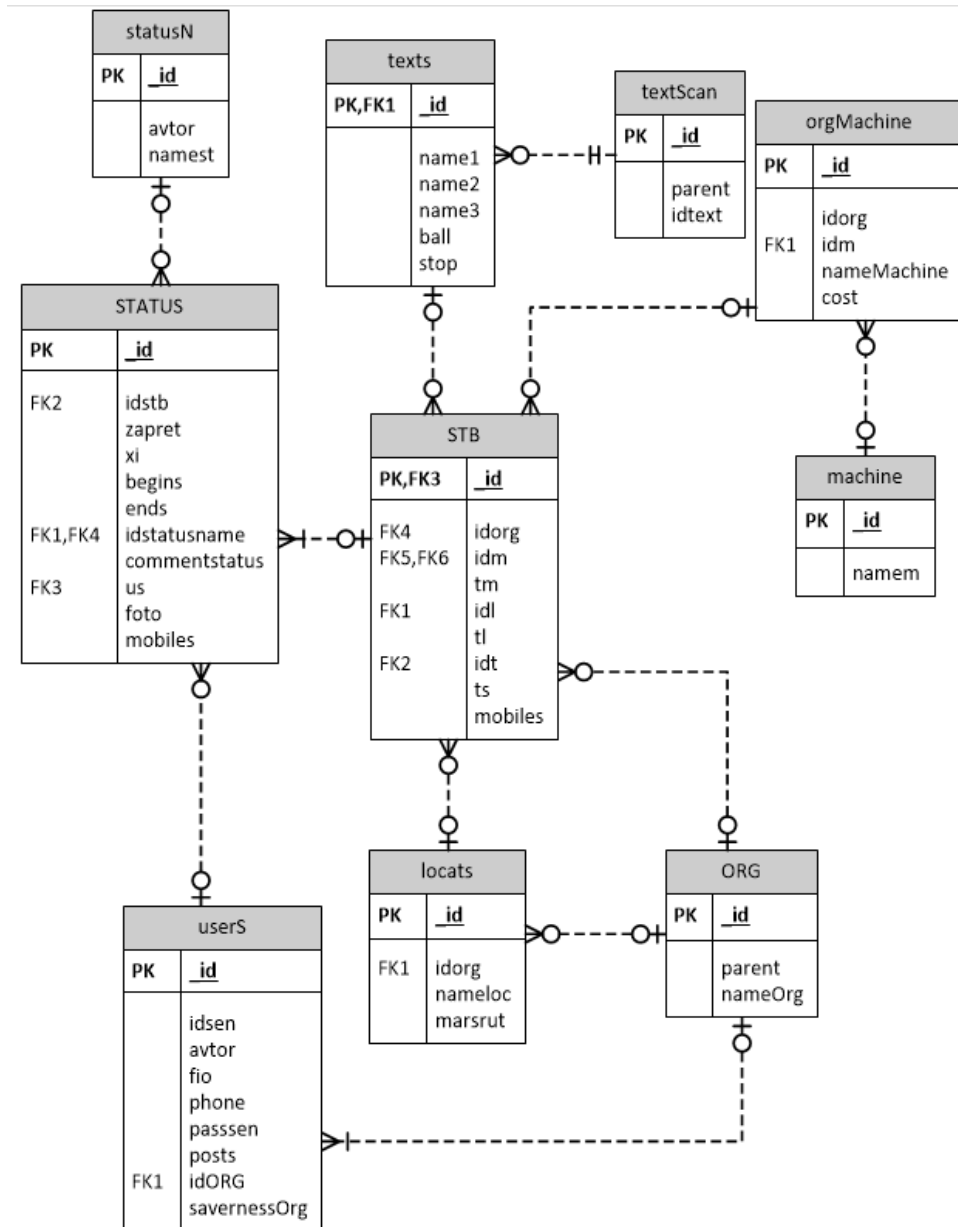


Рисунок 7 – Дatalogическая модель организации обмена информацией между подземным и наземным модулями системы обеспечения безопасности

Подземный модуль состоит из базы данных SQLite и приложения, которое разработано на языке программирования Java для мобильных устройств с операционной системой Android. Разработка данного модуля осуществлялась с помощью среды разработки Android Studio, являющейся ответвлением среды разработки IntelliJ IDEA, которая признана одной из лучших сред для разработки на языке Java.

Так как Java является объектно-ориентированным языком программирования, то приложение состоит из объектов, которые описаны классами. Приложение подземного модуля содержит такие классы:

- MainActivity отвечает за функционирование стартового экрана приложения.

- ForCreateDB, копирующий базу данных из ресурсов проекта в хранилище мобильного устройства.

- DatabaseHelper, осуществляющий соединение с базой данных.

STBActivity, заполняющий элементы интерфейса данными, а также сортирующий все зарегистрированные аварийные ситуации на действующие и архивные.

- CreateSTBActivity, отвечающий за создание новой записи об аварийной ситуации.

- StatusActivity, заполняющий данные о статусах конкретного предписания (записи об аварийной ситуации).

- CreateStatusActivity, отвечающий за функционирование элементов интерфейса, с помощью которых изменяется статус конкретного предписания.

- ImageActivity, отображающий изображение, привязанное к конкретному статусу.

Результатом взаимодействия двух модулей является архив данных о зарегистрированных аварийных ситуациях, которая отображается диспетчеру шахты в виде окна, показанного на рисунке 5.



The screenshot shows a mobile application window titled "Архив" (Archive) with a table of emergency situations. The table has five columns: Date, Ychastok (Location), Virabolka (Equipment), Status, and Op (Action). The data is as follows:

Date	Ychastok	Virabolka	Status	Op
2020-03-25	Участок №1	ВШ 5а-7-30	Проверено	Ве
2020-03-25	Участок №1	ВШ 5а-7-30	Ложное уве,	Ве
2020-03-25	Участок №2	ТУ 4-10 №3	Срок испол	Де
2020-03-25	Участок №2	ТУ 4-10 №3	выполняетс	Де
2020-03-25	Участок №2	ТУ 4-10 №3	выполняетс	Де
2020-03-25	Участок №2	ТУ 4-10 №3	Проверено	Де
2020-03-25	Участок №2	ТУ 4-10 №3	Ложное уве,	Де
2020-03-25	Участок №7	ТУ 4-7 №3 Г	Срок испол	От
2020-03-25	Участок №1	СБ. №3	Срок испол	Сп
2020-03-25	Участок №1	ВШ 5а-7-30	Ложное уве,	Ве
2020-03-25	Участок №1	... стп в шлк	Срок испол	Не
2020-03-25	Участок №1	СБ. №3	выполняетс	Сп
2020-03-25	Участок №1	... стп в шлк	Срок испол	Не
2020-03-25	Участок №1	... стп в шлк	Срок испол	Не
2020-03-25	Участок №1	... стп в шлк	Проверено	Не
2020-03-25	Участок №1	... стп в шлк	Ложное уве,	Не
2020-03-25	Участок №1	СБ. №7	Срок испол	Да
2020-03-25	Участок №1	СБ. №7	Проверено	Ла

Рисунок 5 – Фрагмент интерфейса для просмотра архива аварийных ситуаций

Таким образом, информационная система обеспечения безопасности угледобывающего предприятия позволяет систематизировать хранение данных, а также осуществлять быстрый сбор, обработку, доступ к архивным и действующим записям об аварийных ситуациях, возникающих на предприятии.

Библиографический список

1. Вопросы обеспечения промышленной безопасности горнодобывающих предприятий. учебно – методическое пособие. [Текст]: Руководство / Яковлев В. Л., Могилат В. Л. – Челябинск: Российский государственный социальный университет, 2015. - 7 с.1.
2. Использование автоматизированных систем управления на промышленных предприятиях и в производстве. учебно – методическое пособие. [Текст]: Руководство / Клокотов И.Ю. – Серверный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова. 2019. – 9 с.
3. Состояние и основные причины крупных аварий на угольных шахтах. учебно – методическое пособие. [Текст]: Руководство / А.Ф. Павлов, В.П. Баскаков, А.В. Давыдов, А.В. Кондаков – ОАО «НЦ ВостНИИ», ОАО ХК «СДС-Уголь», ООО «Разрез «Новобачатский» ОАО «Белон», ОАО «КЭЗСБ». 2004. – 7 с.
4. Универсальное средство для работы с SQL и NoSQL базами данных СПО DBeaver. учебно – методическое пособие. [Текст]: Руководство / Мартишин С. П., Симонов В. В. - Москва: Российский государственный социальный университет, 2016. - 23 с.1.

УДК 62-519

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ СКЛАДА ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ

Зулин А.С., Михайлова О.В.

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

В статье приведено описание технического обеспечения автоматизированной системы противоаварийной защиты склада газовых баллонов АО «Органика». Рассмотрена техническая структура с использованием газоанализаторов и программируемых логических контроллеров.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, уровень полноты безопасности, структурная схема, газоанализатор, противоаварийная защита.

Для обеспечения высокого уровня полноты безопасности (УПБ) [1] на складе газовых баллонов АО «Органика», необходимо создание автоматизированной системы противоаварийной защиты (ПАЗ), позволяющей осуществлять дистанционный контроль состояния атмосферы в режиме реального времени.

Структурная схема системы ПАЗ представлена на рисунке 1.

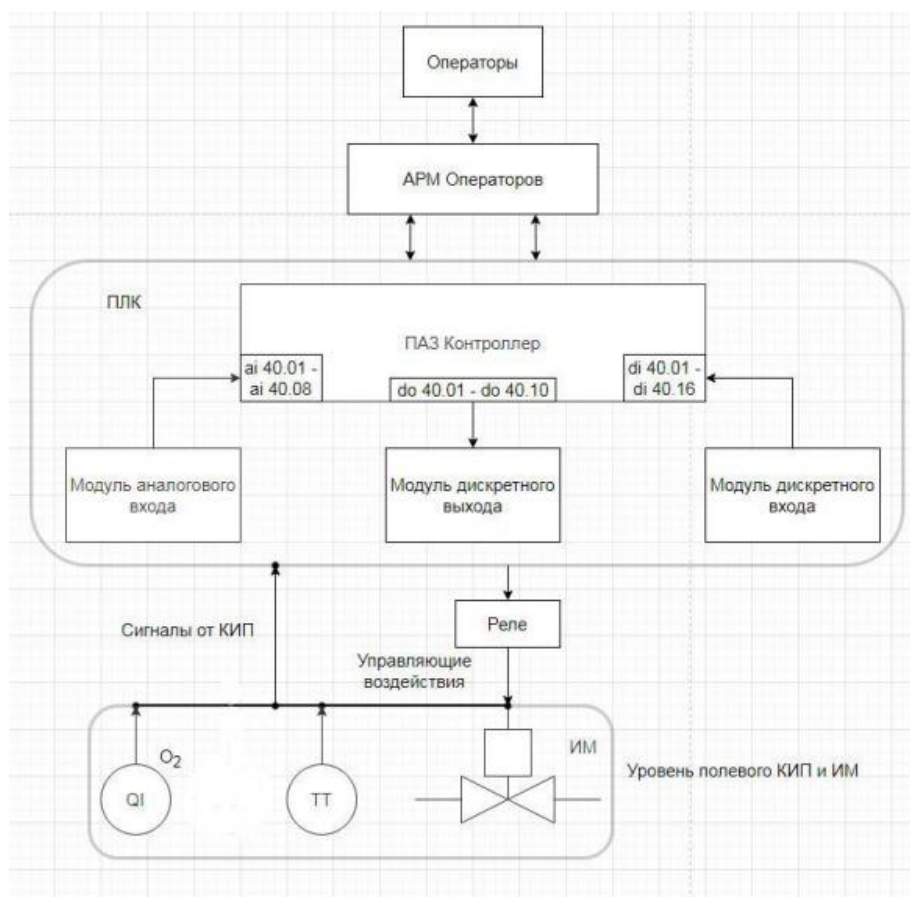
Основным узлом системы является контроллер модульный противоаварийной защиты, регистрации и управления ПЛК БАЗИС-100 [2]. Внешний вид ПЛК БАЗИС-100 представлен на рисунке 2.

БАЗИС-100 — это модульный многоканальный многофункциональный универсальный промышленный контроллер (ПЛК, программируемый логический контроллер, PLC), предназначенный для:

- приема и логической обработки сигналов от различных типов датчиков;
- выдачи сигналов пуска или автоматического останова (блокировки);
- предупреждения оператора о нарушениях световыми и звуковыми сигналами;
- циклического и дискретного управления;
- ПИ-/ПИД-регулирования.

Контроллер БАЗИС-100 сертифицирован для использования в системах безопасности (ПАЗ). ПЛК реализует специальные функции ПАЗ, такие как разрешение пуска, блокировки, определение первопричины срабатывания и прочее.

Для формирования дискретных команд управления используется электромагнитное реле PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356. [3] Внешний вид реле показан на рисунке 3.



АРМ – автоматизированное рабочее место; КИП – контрольно-измерительные приборы; ИМ – исполнительные механизмы; QI – прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту: газоанализатор, показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах; ТТ – прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту

Рисунок 1 – Структурная схема системы ПАЗ

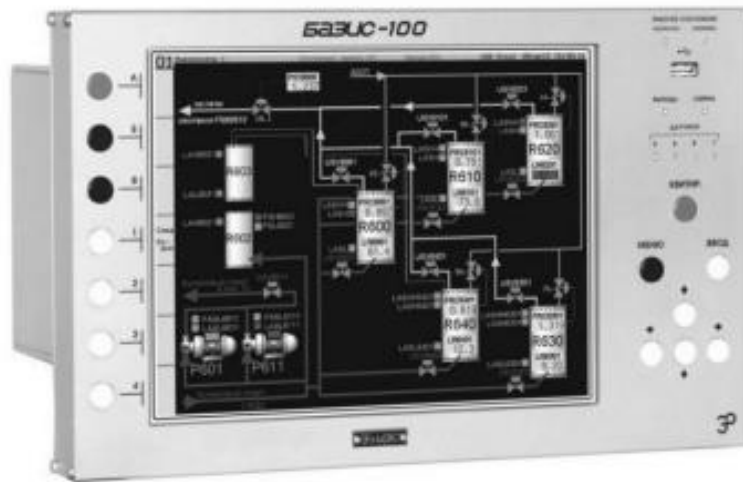


Рисунок 2 – Внешний вид ПЛК БАЗИС-100



Рисунок 3 - Внешний вид электромагнитного реле PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356

Так же был выбран датчик загазованности СТГ-3 [4] (рисунок 4), устанавливаемый в местах в наиболее вероятной возможности превышения концентрации или его понижения в помещении здания, а именно везде, где возможны выбросы предельной концентрации горючих взрывоопасных.



Рисунок 4 – Внешний вид датчика СТГ-3-И-О2

СТГ-3 – это стационарный автоматический прибор непрерывного действия, который предназначен для обеспечения безопасности персонала бытовых, административных, общественных и производственных предприятий.

Принцип работы датчика: забор пробы осуществляется диффузионно, при понижении N_2 менее 10%, а также при повышении O_2 более 20%. При этих параметрах превышения предельно допустимой концентрации срабатывает светозвуковая сигнализация «1-2 ПОРОГ».

Достоинства СТГ-3:

- Простой и дешевый газоанализатор.
- Малое количество линий связи.
- Регулируемые пороги сигнализации.
- Подключение к одному шлейфу до 16 датчиков на ДВК и до 30 датчиков на ПДК.
- Возможность увеличения количества датчиков за счет увеличения мощности источника питания.
- Линия связи до 1км.
- Световая и звуковая сигнализация.
- Высокая степень защиты от внешних воздействий IP65.
- Калибровка датчиков без демонтажа.
- Долгий срок службы датчика - более 3 лет.

Выбранное для создания автоматизированной системы противоаварийной защиты склада газовых баллонов АО «Органика» оборудование соответствует всем необходимым требованиям безопасности и позволяет осуществлять дистанционный контроль за состоянием атмосферы на складе газовых баллонов.

Дальнейшее развитие системы может быть направлено в сторону повышения УПБ, что может быть связано с изменением структуры системы, например, использованием резервирования ее компонентов.

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018 Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности - режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200160132>.

2. БАЗИС-100 Контроллер модульный противоаварийной защиты, регистрации и управления (ПЛК) - режим доступа: <https://promtek.perm.ru/bazis-100/>.

3. PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC - Соединительное реле - режим доступа: <https://www.phoenixcontact.com/en-us/products/coupling-relay-psr-ps20-1no-1nc-24dc-sc-2700356>.

4. Сигнализатор стационарный шлейфовый СТГ-3 - режим доступа: https://gaz-analitik.ru/catalog/staczionarnyie-signalizatoryi/signalizator-staczionarnyj-shlejfovyij-stg-3?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_content=14944331688&utm_term=стг%203%20o2&yclid=1230039843501244415.

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ МОДУЛЯМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Заякин М.А., Спиридонов В.В., Михайлова О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, email: maksimka_nvz@mail.ru*

Рассматриваемая автоматизированная информационная система "Статистика безопасности-3" компании ООО "Тензор" применяется в горнодобывающей промышленности. Она состоит из двух подсистем – подземной (мобильной) и поверхностной (серверной). Мобильное приложение для использования под землей разработано на Java и Android Studio. Взаимодействие мобильной и серверной частей осуществляется через протокол SOAP, управление данными - с помощью веб-сервера.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, безопасность, автоматизированная система, мобильное приложение, веб-сервер, технологии информационной безопасности, Java, Spring, Gradle, SOAP, Android Studio, Eclipse, XML.

В настоящее время обеспечение безопасности технологического процесса является одним из приоритетных направлений развития информационных технологий в горнодобывающей промышленности. Примером применения современных средств и методов сбора и обработки информации в этой области является автоматизированная система «Статистика безопасности-3», разработанная ООО «Тензор» (г. Междуреченск).

Система состоит из двух подсистем – подземной и поверхностной. Данные о состоянии оборудования и шахтовых выработок собираются при помощи мобильных подземных устройств, а затем передаются поверхностному серверу.

Для создания связи между поверхностным и подземными приложениями разработан веб-сервер - посредник между мобильным приложением с локальной базой данных и серверной БД.

Мобильное приложение реализует следующие функции:

- Извлечение данных, которые были добавлены, из локальной БД, и отправка их веб-сервису по нажатию кнопки, при наличии интернет-связи. Тем самым инициируется обмен данными с веб-сервером.

- Принятие данных, приходящих от веб-сервиса, снос и пересоздание БД с актуальной информацией от серверной БД.

В свою очередь, в задачи веб-сервера входят:

- Принятие данных от локальной БД, и внесение их в серверную БД.
- Извлечение всех данных из серверной БД и отправка обратно локальному приложению.

Общая архитектура и схема взаимодействий приложений и баз данных системы обеспечения безопасности горнодобывающего предприятия изображена на рисунке 1.

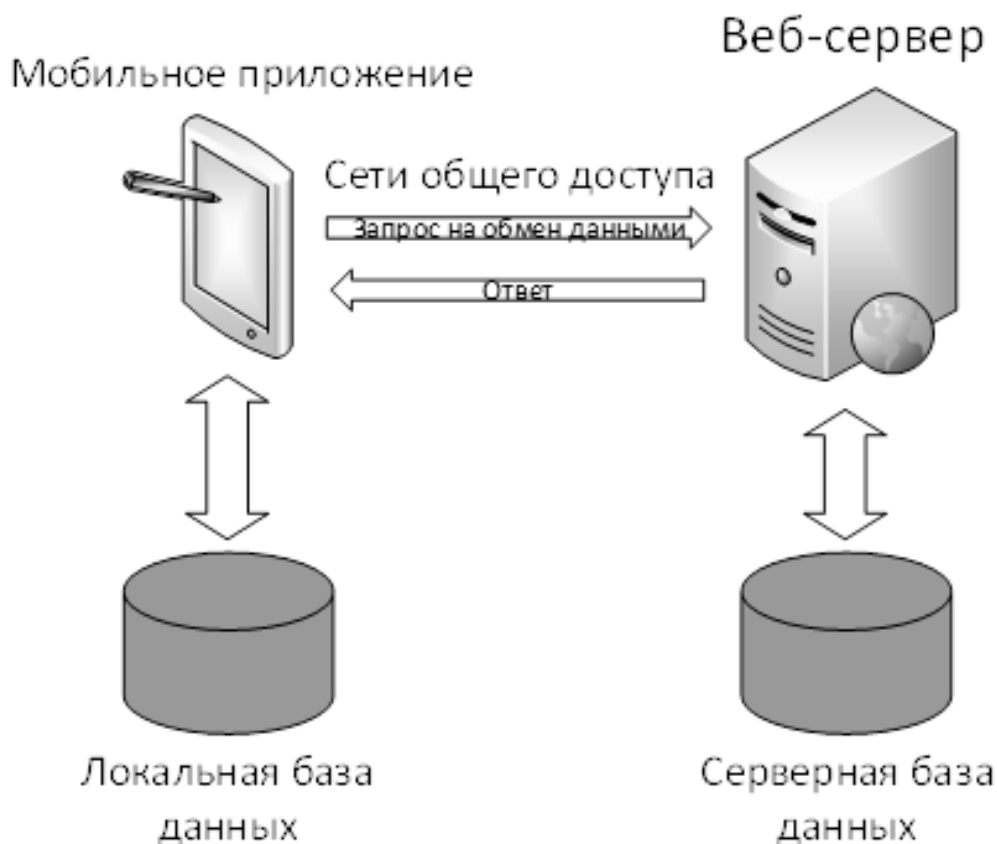


Рисунок 1 – Схема взаимодействия приложений и баз данных в системе обеспечения безопасности горнодобывающего предприятия.

Для осуществления разработки автоматизированной системы передачи данных применялись следующие технологии:

- 1 Язык программирования Java для разработки ПО [1].
- 2 Фреймворк Spring.[2]
- 3 Система автоматической сборки Gradle.[3]
- 4 Протокол обмена сообщениями SOAP. [4]
- 5 JDBC – стандарт и драйвер для работы с БД. [5]
- 6 Среды разработки Android Studio и Eclipse. [6, 7]

В проекте веб-сервиса использовались следующие внешние зависимости Gradle:

- 'org.junit.jupiter:junit-jupiter-api:5.7.0';
- 'org.junit.jupiter:junit-jupiter-engine';
- 'org.springframework.boot:spring-boot-starter-web';
- 'org.springframework.boot:spring-boot-starter-web-services';
- 'org.springframework.boot:spring-boot-starter-test';
- 'wsdl4j:wsdl4j:1.6.2';
- 'org.glassfish.jaxb:jaxb-xjc:2.3.1';

- 'javax.xml.bind:jaxb-api:2.3.1';
- 'javax.activation:activation:1.1';
- 'org.glassfish.jaxb:jaxb-runtime:2.3.1';
- 'org.glassfish.jaxb:jaxb-xjc';
- 'org.postgresql:postgresql:42.2.20';

В проекте мобильного приложения была добавлена только одна зависимость: 'com.google.code.ksoap2-android:ksoap2-android:3.6.4'.

Протокол SOAP обеспечивает возможность взаимодействия между приложениями, работающими на различных технологиях и оборудовании, сохраняя их независимость друг от друга (рисунок 2).

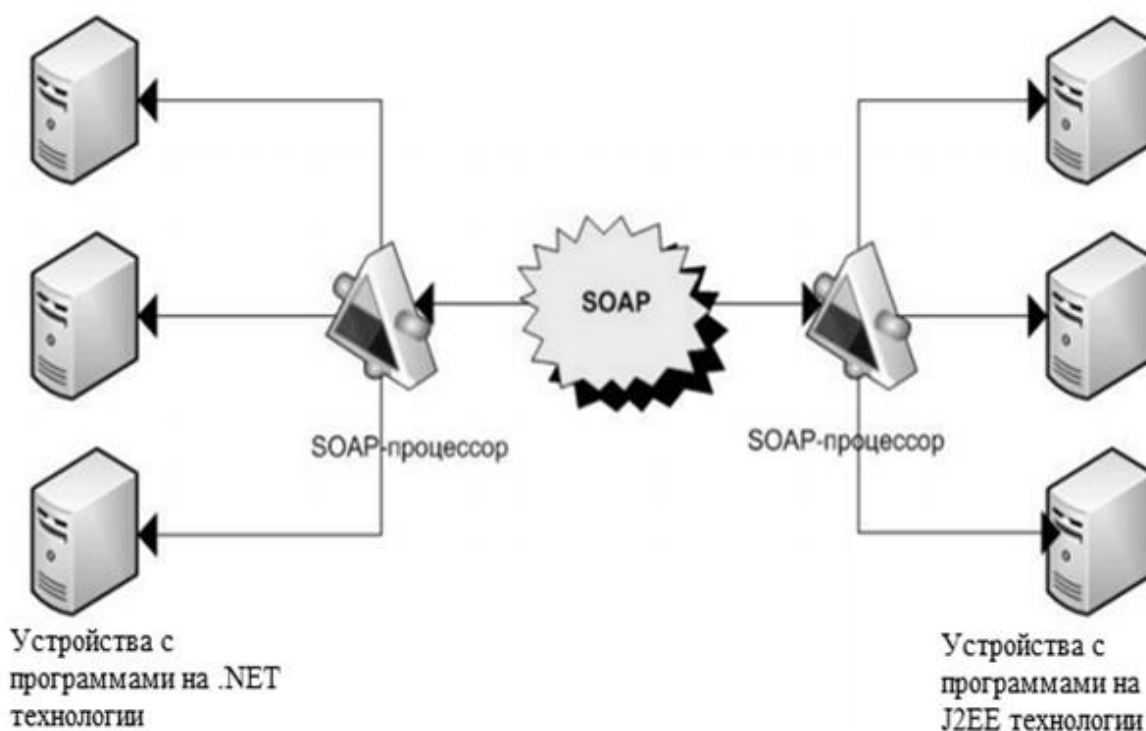


Рисунок 2 – Пример схемы связи с помощью SOAP

SOAP-сообщение представляет собой XML-документ. Сообщение содержит три основных элемента: конверт (SOAP Envelope), заголовок (SOAP Header) и тело (SOAP Body). Пример SOAP сообщения:

```
<SOAP-ENV:Envelope xmlns:SOAP-
ENV=http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope
xmlns:t="www.example.com">
  <SOAP-ENV:Header>
  </SOAP-ENV:Header>
  <SOAP-ENV:Body>
    <t:CurrentDate>
      <Year>2011</Year>
      <Month>February</Month>
      <Day>12</Day>
```

```
<Time>18:02:00</Time>  
</t:CurrentDate>  
</SOAP-ENV:Body>  
</SOAP-ENV:Envelope>
```

Разработка мобильного приложения осуществлялась в среде разработки Android Studio, а разработка веб-сервиса - в среде разработки Eclipse. В качестве кода разметки графических элементов используется XML.

Были созданы следующие XML – документы (называемые Layout, располагающиеся в ресурсах проекта), управляющие появлением графических компонентов на экране устройства:

```
activity_main;  
activity_stb;  
newstb_activity;  
activity_status;  
newstatus_activity;  
image_activity;  
item;  
item_status;  
spin.
```

Стартовая страница приложения (activity_main.xml) содержит поля «На контроле» и «В архив», а XML – текст, описывающий её показан на Рисунок .

Аналогично реализованы экранные формы, позволяющие отображать действующие или архивные записи об аварийных событиях; заполнять следующие сведения об аварийной ситуации: участок, выработка (локация), описание происшествия; просмотр истории статусов предписания; добавление нового статуса предписания.

Таким образом, согласованная работа подземной и наземной подсистем системы обеспечения безопасности угледобывающего предприятия позволяет выполнять следующие функции:

- запись сведений об аварийной ситуации и статусах работы над ней в базу данных;
- навигация по базе данных и ее визуализация;
- сортировка аварийных ситуаций на действующие и архивные;
- выдача списков участков, привязанных к ним локаций и описаний нарушений;
- создание записи о начальном статусе, при обнаружении новой аварийной ситуации;
- обеспечение возможности передачи данных и синхронизации с базой данных стационарного компьютера.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<LinearLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:orientation="vertical"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="fill_parent">
    <Button
        android:id="@+id/control"
        android:layout_width="250dp"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="На контроле"
        android:onClick="control"
        android:textSize="14pt"
        android:layout_gravity="center"/>
    <Button
        android:id="@+id/archive"
        android:layout_width="250dp"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:onClick="archive"
        android:text="Архив"
        android:textSize="14pt"
        android:layout_gravity="center" />
</LinearLayout>

```

Рисунок 3 – XML – текст, описывающий расположение объектов стартовой страницы

Библиографический список

1. Язык программирования Java: особенности, популярность, ситуация на рынке труда [Электронный ресурс] // Ru.hexlet.io: платформа обучения программированию. URL: <https://ru.hexlet.io/blog/posts/yazyk-programirovaniya-java-osobennosti-populyarnost-situatsiya-na-rynke-truda> (дата обращения – 20.02.2023).
2. Что такое Spring Framework? [Электронный ресурс] // Web-spt42.ru: сборник обучающих курсов. URL: <http://web.spt42.ru/index.php/chto-takoe-spring-framework> (дата обращения – 20.02.2023).
3. Краткое знакомство с Gradle [Электронный ресурс] // Javarush.ru: онлайн-курс по изучению Java-программирования с нуля. URL: <https://javarush.ru/groups/posts/2126-kratkoe-znakomstvo-s-gradle> (дата обращения - 20.02.2023).
4. Лекция 5. Стандарт SOAP – протокол взаимодействия сервисов [Электронный ресурс] // Фастовский Э.Г. Сервис-ориентированные техноло-

гии интеграции информации. 2011. URL: <http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/ibrary/sotii/lectures/Lecture5.pdf> (дата обращения - 20.02.2023).

5. Руководство Java JDBC [Электронный ресурс] // Betacode.net: сборник руководств по программированию. URL: <https://betacode.net/10167/java-jdbc> (дата обращения - 20.02.2023).

6. Android Studio IDE от Google [Электронный ресурс] // Wnfx.ru: сайт компании разработки ПО Winfox. URL: <https://wnfx.ru/android-studio-ide-ot-google/> (дата обращения - 20.02.2023).

7. Филлипс Б. «Android. Программирование для профессионалов» / Б. Филлипс К. Стюарт, К. Марсикано – П.: Питер СПб, 2017. – 688 с.

8. Филиппов В.А. «Информационные взаимодействия и Web-сервисы» / В.А. Филиппов – М.: Ленанд, 2009. – 144 с.

УДК 62-519

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ СКЛАДА ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ

Зулин А.С., Михайлова О.В.

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

В статье приведено обоснование необходимости создания автоматизированной системы противоаварийной защиты склада газовых баллонов АО «Органика». Рассмотрены структура и функции автоматизированной системы с использованием газоанализаторов, вторичных приборов БПС и светозвуковой сигнализации, а также программного обеспечения для вывода информации на пульт оператора.

Ключевые слова: автоматизированная система, противоаварийная защита, автоматизированное рабочее место, газоанализатор, блок питания и сигнализации.

Практически каждое промышленное предприятие, основой которого являются сложные технологические процессы, основанные на использовании небезопасных или агрессивных веществ, нуждается в средствах противоаварийной защиты (ПАЗ), так как от этого зависит здоровье, а порой и жизнь людей. Этот фактор регулируется на государственном уровне Федеральной Службой по экологическому, технологическому и атомному надзору [1], [2], [3]. Очевидно, что средства противоаварийной защиты должны быть консолидированы в автоматической системе, обладающей эффективной функциональностью и высоким уровнем отклика.

Системы противоаварийной защиты предупреждают возникновение аварии при отклонении от предусмотренных технологическим регламентом на производство продукции предельно допустимых значений параметров процесса во всех режимах работы и обеспечивают безопасную остановку

или перевод процесса в безопасное состояние по заданной программе [4]

Для склада газовых баллонов на предприятии АО «Органика» необходимо создать автоматизированную систему ПАЗ с использованием современных технических и программных средств автоматизации.

Склад газа на 80 баллонов предназначен для приема, размещения на складе, хранения и выдачи баллонов с кислородом и азотом.

Склад разделен на два отсека:

- для хранения баллонов с кислородом;
- для хранения баллонов с азотом.

Отсеки разделены между собой противопожарной стеной. Каждый отсек разделен еще на два отсека для хранения заполненных и порожних баллонов. В помещении хранения баллонов цеха №8 хранятся и используются в производстве баллоны со сжатыми газами – кислородом и азотом. При возможной утечке из баллонов с азотом содержание кислорода в воздухе может снизиться до опасных значений, при утечке из кислородных баллонов наоборот, повыситься.

Существующая система контроля содержания кислорода в помещении хранения баллонов осуществляет непрерывный контроль содержания кислорода в воздухе помещения, и в случае повышения содержания кислорода в воздухе более 23% или снижения менее 18%, автоматически включаются светозвуковая сигнализация перед входом в помещение и аварийный вытяжной вентилятор.

Система контроля содержания кислорода состоит из:

- сигнализатора загазованности СТГ-3-И-О₂, аварийного вытяжного вентилятора, расположенных непосредственно в помещении хранения баллонов;
- светозвукового оповещателя о загазованности МАЯК-24 и кнопочного поста ПКЕ-222 для ручного включения и отключения аварийного вентилятора;
- щита с аппаратурой электропитания схемы и управления вентилятором, установленного в помещении электропункта на 4-м этаже;
- блока питания и сигнализации БПС-3-И, установленного в помещении 411;
- щита контроля газоанализатора в коридоре 4-го этажа.

При любом срабатывании системы следует вызывать специалиста КИПиА для выяснения причины срабатывания и проверки схемы.

Автоматизированная система ПАЗ разрабатывается с целью приведения объекта в соответствие с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности.

Достижение цели должно обеспечиваться благодаря:

- минимизации вероятности развития аварийных ситуаций, их распознавания и предотвращения;
- аппаратной и программной избыточности, резервирования критичных для функциональной безопасности компонентов системы

Автоматизированная система ПАЗ предназначена для выполнения следующих основных функций:

- контроль (на основе показаний массовых расходомеров) масс, объёмов, плотностей и температур нефтепродуктов, перекачиваемых по входным и выходным трубопроводам резервуарного парка;
- противоаварийная защита резервуаров и дренажных ёмкостей от перелива и опорожнения; насосных агрегатов в соответствии с требованиями технических условий (ТУ) заводов-изготовителей;
- дистанционное управление исполнительными механизмами;
- автоматическое регулирование: давлений на нагнетании насосов и расходов перекачиваемой жидкости путём изменения частоты вращения их электроприводов; скоростей вращения электродвигателей мешалок в зависимости от уровня нефтепродукта в резервуаре.

АС имеет трёхуровневую структуру (рисунок 1).

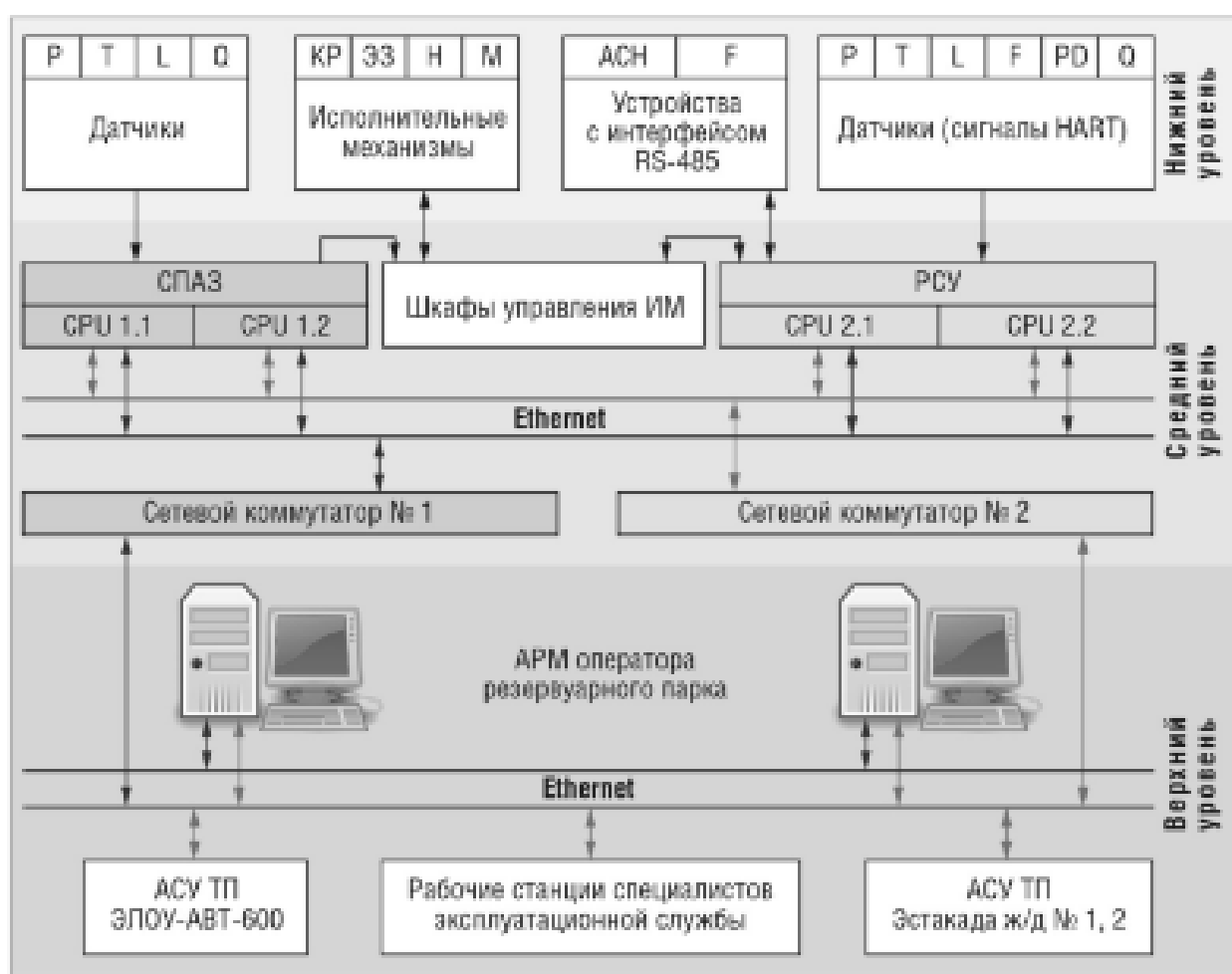


Рисунок 1 – Техническая структура АС ПАЗ

Нижний уровень обеспечивает сбор данных о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования, реализует управляющие воздействия.

Средний уровень отвечает за противоаварийную защиту оборудования и технологических процессов; сбор информации о параметрах процессов; автоматическое выполнение необходимых расчётов, регулирование и управление технологическими процессами. Выполнен с использованием дублированных промышленных контроллеров, а также искробезопасных и общепромышленных устройств ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

На верхнем уровне производится централизованный контроль и дистанционное управление технологическими процессами из помещения операторной; накопление архивной информации, расчёт балансов, формирование и выдачу отчётных документов. АРМ оператора реализован на базе двух промышленных системных блоков ПЭВМ и мониторов.

Таким образом, создаваемая система ПАЗ позволяет:

- снизить травматизм на производстве;
- обеспечить безаварийную работу технологического оборудования;
- минимизировать последствия отказов и аварий оборудования;
- обеспечить своевременное предоставление оперативному и обслуживающему персоналу всей необходимой информации о состоянии склада.

Библиографический список

1. Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 года.

2. Приказ от 21.11.13 № 559 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила безопасности химически опасных производственных объектов”» - режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=310147>

3. Приказ от 18.09.17 № 365 «О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности химически опасных производственных объектов”, утвержденные приказом от 21 ноября 2013 г. № 559» - режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=301438>

4. Система ПАЗ от риска к безопасности. [Электронный ресурс].- режим доступа: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/emerson3-2017-5/>

К РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛАВНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Лукьянец Е.А., Михайлова О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Lukyanets82@mail.ru*

В статье приведено описание системы автоматизации очистного механизированного комплекса, включая подсистему отключения лавного перегружателя и дробилки при попадании человека в коридор безопасности. Система позволит: повысить безопасность и снизить риски травматизма; дистанционно управлять запуском и остановом; предотвратить аварийное разрушение технологических агрегатов и, связанную с этим, угрозу жизни и здоровью персонала.

Ключевые слова: АСУТП, безопасность, автоматический контроль, визуализация.

Основной задачей, стоящей перед горнодобывающей промышленностью, является обеспечение прироста добычи полезных ископаемых в основном за счет повышения добычи наиболее эффективным способом на основе широкого внедрения прогрессивной технологии и горнотранспортного оборудования большой единичной мощности.

Конструктивно-технические характеристики очистных механизированных комплексов (ОМК) должны быть максимально адаптированы к этим условиям, отвечать требованиям безопасности и эргономики, а также обеспечивать высокий уровень механизации и автоматизации очистных работ.

Система предназначена для повышения безопасности и снижения риска травматизма за счет отключения комбайна при приближении рабочих к опасной зоне.

Целями создания автоматизированной системы управления лавным комплексом (далее Система) являются:

- управления запуском и остановом лавного конвейера, перегружателя и дробилки в заданном порядке;
- контроля сигналов управления, датчиков скорости и датчиков блокировки;
- обеспечения громкоговорящей связи и аварийного отключения вдоль лавного конвейера;
- отображения информации о состоянии лавного оборудования и постов громкоговорящей связи.

Схема функциональной структуры АСУ ТП [1], [2] показана на рисунке 1.

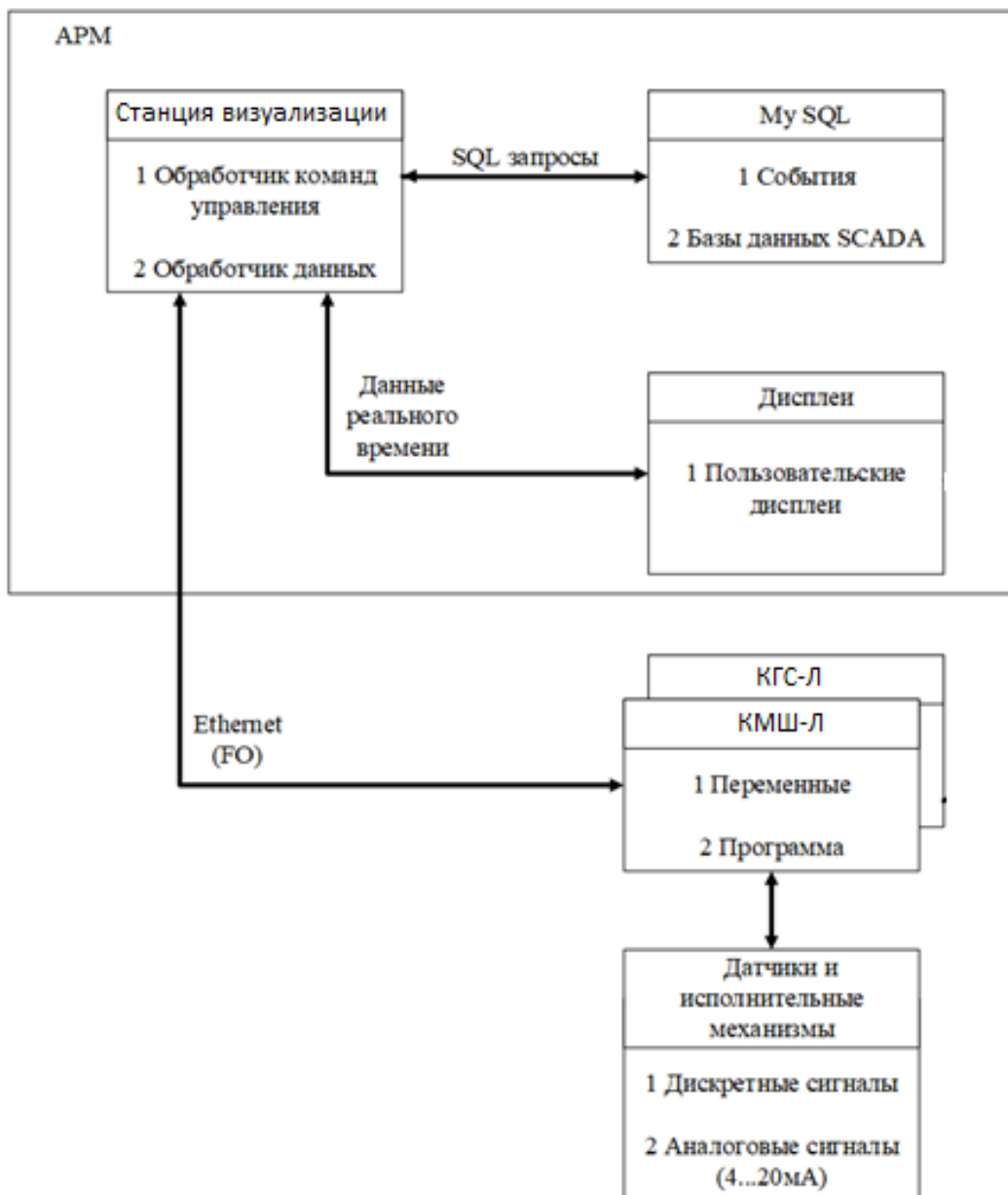


Рисунок 1 – Схема функциональной структуры АСУ ТП

Система представляет собой трехуровневую систему [3]:

- первый уровень – это датчики, исполнительные механизмы. На этом уровне решаются задачи измерения параметров технологического процесса, передачи на уровень управляющего контроллера полученных значений, получение управляющих команд от программируемого контроллера на исполнительные механизмы;

- второй уровень – уровень управляющих контроллеров. Включает в себя программируемый контроллер. Здесь централизованно решаются задачи сбора, обработки и контроля информации, полученной с первого уровня, формирование управляющих команд, а также организуется обмен данными с уровнем визуализации. Так же этот уровень служит источником данных для сервера долговременного хранения технологической информации;

- третий уровень – визуализация технологического процесса. Интерфейс «технологический персонал – управляющая система» служит для сбора информации от систем первого уровня и ее отображения, а также передачи управляющих воздействий от технологического персонала.

Уровень управляющих контроллеров реализован в виде контроллеров голосовой связи КГС-Л в заданном количестве – 8 штук (обычно устанавливаются на расстоянии 10м друг от друга) и одного контроллера - многофункциональный шахтный для управления лавным комплексом КМШ-Л. Уровень визуализации, включающий два сервера визуализации.

Встроенным интерфейсом центрального процессора является интерфейс PROFINET, базирующийся на функциональных возможностях Ethernet TCP/IP (10/100 Мбит/с), который поддерживает обмен данными между уровнями управляющего контроллера и визуализации технологического процесса (состояние механизмов, дистанционные инициативы, задания на регулирование, настроечные параметры, измеренные значения и т. д.).

Периодичность обновления сигналов обусловлена цикличностью обновления области отображения CPU PLC. В данной системе цикличность обновления области отображения определяется временем выполнения программ пользователя, вызываемых в организационном блоке. В начале цикла CPU записывает область отображения всех выходных сигналов в модули вывода, затем производит считывание (обновление) области отображения всех входных сигналов из модулей ввода, далее идет выполнение прикладных программ пользователя.

Основные технологические параметры (вибрация, температура, расход, давление и т. д.) записываются в архивы измеренных значений на серверах визуализации.

Запись параметров в архив производится с периодичностью цикла архивирования, равной 500 мс. Глубина архива не менее 7 суток.

Передача значений производится по запросу серверов визуализации. Серверами визуализации запрашиваются только те данные, которые в данный момент отображаются на активной экранной форме.

На дисплее КМШ-Л выполнена визуализация системы, посредством выбора страниц, отображающих следующую информацию [4]:

- Состояние оборудования лавного комплекса (конвейер, перегружатель);
- Состоянии постов голосовой связи;
- Журнал событий;
- Настройки КМШ-Л;
- Меню настройки параметров оборудования лавы;
- Состояние дискретных входов/выходов, аналоговых и частотных входов;
- Информация по текущим зафиксированным авариям.

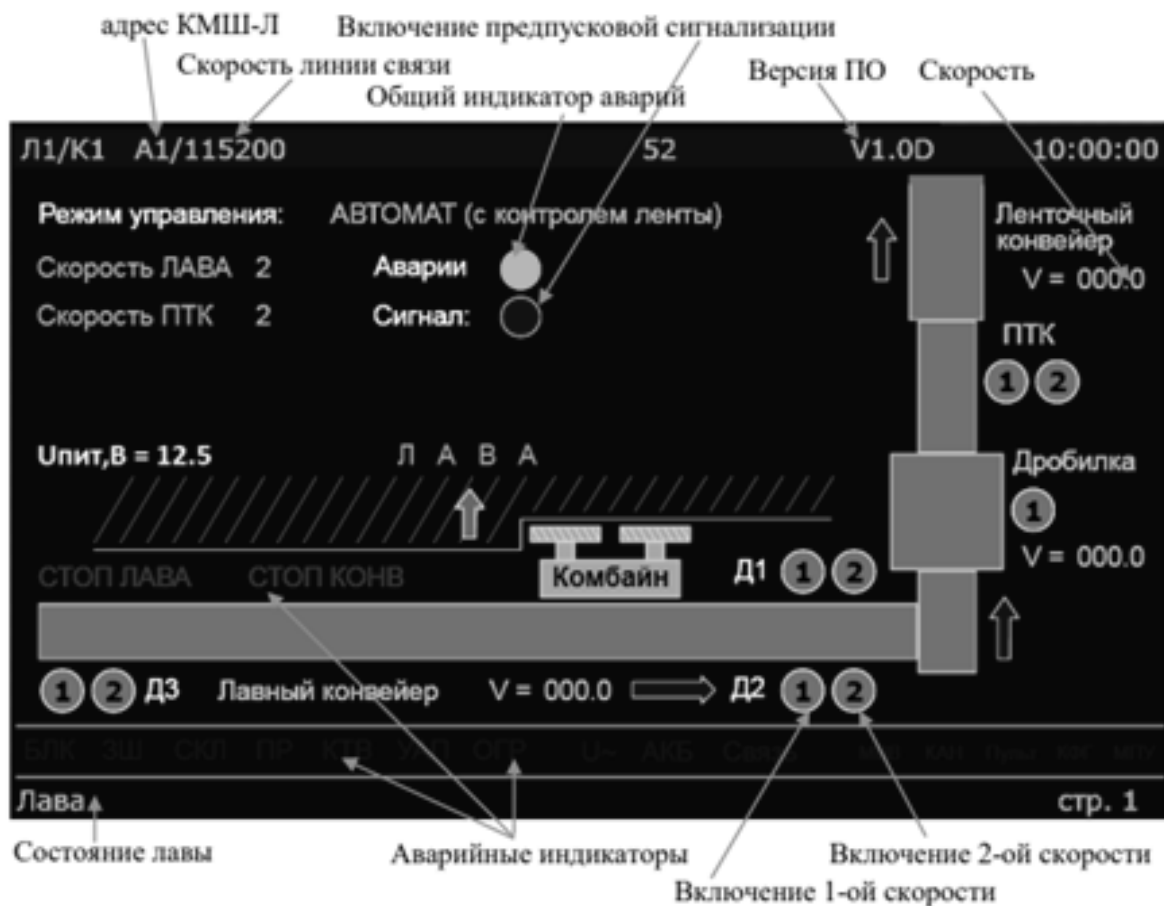


Рисунок 2 – Разработанная визуализация системы, скриншот экрана «Состояние лавы»

Внедрение разрабатываемой Системы [5] позволит:

- повысить безопасность и снизить риски травматизма;
- дистанционно управлять запуском и остановом;
- предотвратить аварийное разрушение технологических агрегатов и, связанную с этим, угрозу жизни и здоровью персонала.

Библиографический Список

1. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем.
2. РД 50-34.698-90 Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
3. Благодарный А.И., Гусев О.З., Кузнецов М.А., Михальцов Э.Г., Чейдо Г.П., Шакиров Р.А. Комплексная автоматизация угольных шахт на основе интеллектуальной шины // 3-я Международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 14–17 марта 2007 г., С.-Петербург : [сб. докл.]. С. 205–206.
4. Автоматизация очистного забоя для Шахты «Юбилейная» // ИЛЬМА URL: <https://ilma-mk.ru/kompleks-sistem-avtomatizatsii-dobychnogo-zaboya-dlya-shahty-yubilejnaya>.

5. Общие сведения о безопасности при механизации горного производства // studentopedia URL: <https://studentopedia.ru/tovarovedenie/obshie-svedeniya-o-bezopasnosti-pri-mehanizacii-gornogo-proizvodstva---raschet-proizvoditelnosti.html>.

УДК 656.256.3

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЛАВНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ И ДРОБИЛКИ ПРИ ПОПАДАНИИ ЧЕЛОВЕКА В КОРИДОР БЕЗОПАСНОСТИ

Лукьянец Е.А., Михайлова О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Lukyanets82@mail.ru*

В статье приведено описание технического системы автоматического отключения лавного перегружателя и дробилки при попадании человека в коридор безопасности. Система позволит: повысить безопасность и снизить риски травматизма; дистанционно управлять запуском и остановом; предотвратить аварийное разрушение технологических агрегатов и, связанную с этим, угрозу жизни и здоровью персонала.

Ключевые слова: АСУТП, безопасность, автоматический контроль, датчик, контроллер.

Для предупреждения травматизма и объективного снижения опасности труда в шахтах по фактору "повреждение людей машинами и механизмами" применяются различные технические средства, обеспечивающие коллективную безопасность работающих.

Основными техническими средствами коллективной защиты работающих от опасных и вредных производственных факторов, связанных с работой оборудования, являются защитные устройства, препятствующие попаданию человека в опасную зону [1].

Опасной зоной считается пространство, в котором постоянно или периодически проявляется воздействие опасных (или вредных) факторов. Опасная зона может быть ограниченной (локализованной вокруг опасного элемента конструкции) и неограниченной, изменяющейся в пространстве и времени (например, пространство под транспортируемым грузом).

Защитные устройства весьма разнообразны как по принципу действия, так и по конструкции. Важнейшее общее требование к защитным устройствам состоит в том, что они не должны терять своих защитных свойств под воздействием неблагоприятных и агрессивных факторов производственной среды (высокие температуры, влага, вибрации и др.).

Условно их подразделяют на следующие группы: оградительные устройства, блокирующие устройства, предохранительные устройства, ограничители перемещения, тормозные устройства, специальные устройства,

устройства дистанционного управления, устройства автоматизированного контроля и сигнализации.

Система предназначена для повышения безопасности и снижения риска травматизма за счет отключения комбайна при приближении рабочих к опасной зоне. [2]

Целями создания автоматизированной системы управления лавным комплексом (далее Система) являются:

- управления запуском и остановом лавного конвейера, перегружателя и дробилки в заданном порядке;
- контроля сигналов управления, датчиков скорости и датчиков блокировки;
- обеспечения громкоговорящей связи и аварийного отключения вдоль лавного конвейера;
- отображения информации о состоянии лавного оборудования и постов громкоговорящей связи.

Система представляет собой трехуровневую систему[3]:

- первый уровень – это датчики, исполнительные механизмы;
- второй уровень – уровень управляющих контроллеров;
- третий уровень – визуализация технологического процесса.

Уровень управляющих контроллеров реализован в виде контроллеров голосовой связи КГС-Л в заданном количестве – 8 штук (обычно устанавливаются на расстоянии 10м друг от друга) и одного контроллера - многофункциональный шахтный для управления лавным комплексом КМШ-Л. Уровень визуализации, включающий два сервера визуализации.

Для данной системы были выбраны следующие технические решения [4]:

Датчик контроля скорости конвейера - Серия ED4000. Предназначены для измерения в широком диапазоне скоростей вращения механизмов: приводных барабанов ленты конвейера, помп, мельниц, мешалок, дробилок и т. п. Выдает сигнал измерения скорости в стандартном аналоговом виде – постоянный ток в диапазоне 4...20 мА, а так же релейный аварийный сигнал в случае снижения скорости ниже установленного предела, изменения направления движения, остановке, потере питания. Датчик заключен в литой алюминиевый корпус, имеет класс защиты IP65, позволяющий эксплуатировать его в атмосферных условиях повышенной запыленности и загазованности.



Рисунок 1 – Датчик контроля скорости ED4000

Датчик контроля схода ленты конвейера - Серии IL-BMS. При отклонении ленты от прямолинейного направления, край ленты, взаимодействуя с отклоняемым роликом датчика, вызывает срабатывание микропереключателя. Тем самым генерируется сигнал на отключение привода конвейера или включение центрирующих устройств и сигнализацию. Датчики устанавливаются с обеих сторон конвейерной линии с некоторым зазором по отношению к краям ленты. Выходные сигналы – два релейных. Восстановление датчика – автоматическое.



Рисунок 2 – Датчик контроля схода ленты

Аппаратура блокировки - Блокировка оборудования при попадании персонала с радиометками в опасную зону предназначена для повышения безопасности и снижения риска травматизма за счет отключения комбайна при приближении рабочих к опасной зоне.

Аппаратура блокировки состоит из двух частей. Одна часть устанавливается на механизм, другая устанавливается на борт горной выработки и подключается к радиоизлучающему кабелю. Связь между частями аппаратуры осуществляется по выделенному радиоканалу 2,4 ГГц. Связь с сервером обеспечивается через излучающий кабель.

На механизм устанавливается искробезопасный источник питания (при необходимости), сборка из трех блоков (NTAB - блок управления и индикации), ISIB3-modem - модем связи по 2,4 ГГц, ISIB2 - блок управления) и 1 - 4 генератора сверхнизкой частоты 8 кГц в корпусе ISIB3 (рисунок 3).



Рисунок 3 – Аппаратура блокировки

На борт горной выработки устанавливается: блок ПЛБ3(XILB), подключенный в излучающий кабель и ISIB3-modem, подключенный к submodule sbrf блока ПЛБ3(XILB) по интерфейсу RS485 на расстоянии не более 250 м. Аппаратура, установленная на механизме, должна находиться в прямой видимости на расстоянии не более 80 м от ISIB3-модема на борту выработки (рисунок 4).

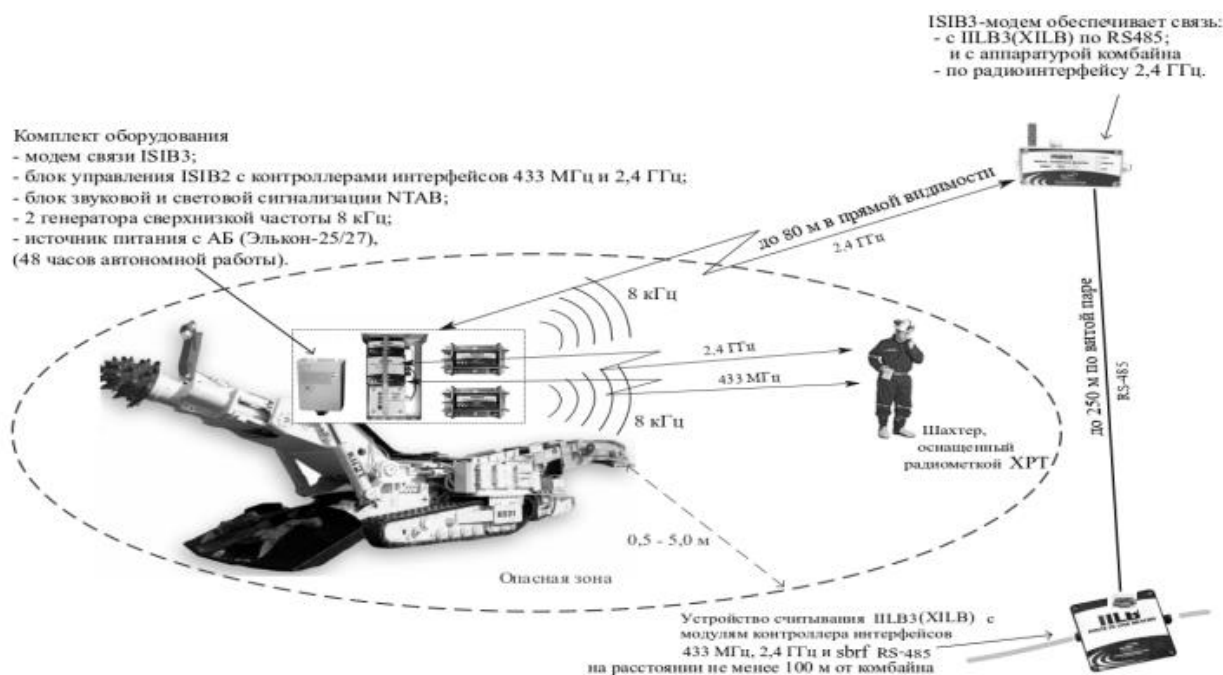


Рисунок 4 – Расстановка оборудования блокировки

Система блокировки работы комбайна обеспечивает блокирование работы при появлении в опасной зоне персонала с радиометками, если он не является зарегистрированным как МГВМ (машинист комбайна). Для радиометок зона срабатывания настраивается в диапазоне от 0,5 до 5,0 метров от места установки генераторов 8 кГц на комбайне. Ширина границы срабатывания не более 1 метра. Светильники должны быть оборудованы радиометками на 2,4 ГГц, 433 МГц и 8 кГц и иметь специальную версию ПО.

Система блокировки обеспечивает дублирование поданного диспетчером сигнала аварийного оповещения для уверенного его приема в подготовительном забое на расстоянии до 50 м от комбайна.

Шахтные контроллеры - Контроллер многофункциональный шахтный КМШ-Л ЦВСТ.005.001 (в дальнейшем – КМШ-Л) предназначен для:

- приема информации от функциональных устройств;
- контроля значений аналоговых сигналов;
- анализа состояния дискретных датчиков и цепей их подключения;
- управления режимами работы функциональных устройств;
- обмена голосовой информацией с использованием встроенного цифрового
- поста громкоговорящей связи;

– связи с аппаратурой верхнего уровня.

КМШ-Л относится к группе I взрывозащищенного электрооборудования. Уровень взрывозащиты – взрывобезопасное электрооборудование по ГОСТ 31610.0-2012.

КМШ-Л, устанавливаемый во взрывоопасной зоне, в том числе в подземных выработках шахт, опасных по газу (метану) и угольной пыли, имеет маркировку PO Ex ia I согласно ГОСТ 31610.0-2014 и ГОСТ 31610.11-2014 и должен применяться в соответствии с «Правилами безопасности в угольных шахтах» при следующих условиях:

– температура окружающего воздуха в пределах от минус 20 до плюс 40 °С;

– верхнее значение относительной влажности 98 % при 35 °С;

– атмосферное давление, кПа - от 84 до 106,7.

Сертификат соответствия ТС RU C-RU.МЮ62.В.05668.



Рисунок 5 – Внешний вид PLC КМШ-Л

Внедрение разрабатываемой Системы позволит [5]:

- повысить безопасность и снизить риски травматизма;
- дистанционно управлять запуском и остановом;
- предотвратить аварийное разрушение технологических агрегатов и, связанную с этим, угрозу жизни и здоровью персонала.

Библиографический список

1. Марищенко Александр, Опря Олег, Барановский Анатолий, Кругляк Александр, Божок Николай, Захарюгин Александр, Апостол Юрий, Третьяков Алексей, Кащич Анатолий Система управления и защиты шахтной подъёмной установки ЗКДР.4 // СТА. - 2016. - №2

2. Благодарный А.И., Гусев О.З., Канаш А.А., Колодей А.В., Колодей В.В., Кузнецов М.А., Михальцов Э.Г., Рашевский В.Д., Сергиев Ю.А., Чейдо Г.П., Шакиров Р.А. Комплексная автоматизация и обеспечение безопасности технологического процесса добычи угля // Международная научно-практическая конференция «Наукоёмкие технологии разработки и использо-

вания минеральных ресурсов». 5–6 июня 2007 г., Новокузнецк : [сб. докл.]. С. 243-247.

3. Автоматизация очистного забоя для Шахты «Юбилейная» // ИЛЬМА URL: <https://ilma-mk.ru/kompleks-sistem-avtomatizatsii-dobychnogo-zaboja-dlya-shahty-yubilejnaya>.

4. Автоматизация проходческих комбайнов и погрузочных машин // ИНФОПЕДИЯ URL: <https://infopedia.su/19x1e7d.html>.

5. Общие сведения о безопасности при механизации горного производства // studentopedia URL: <https://studentopedia.ru/tovarovedenie/obshie-svedeniya-o-bezopasnosti-pri-mehanizacii-gornogo-proizvodstva---raschet-proizvoditelnosti.html>.

УДК 62.529

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Прищепа Я.И., Огнев С.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, e-mail: povoreshka264@gmail.com*

В статье рассматривается программное обеспечение и аппаратные средства для приточной вентиляционной установки.

Ключевые слова: автоматизация, программирование, вентиляция.

При обследовании объекта выяснилось, что в его состав входят агрегаты, такие как вентилятор, водонагреватель и насос. Нагреватель питается от сети переменного тока 220 вольт, включается вручную, выключается за счет термореле при закипании, затем цикл повторяется, вентилятор, центробежный насос питаются от сети постоянного тока 12 вольт. Используется инвертирующий блок питания, преобразующий 220 вольт переменного тока в 12 вольт постоянного. Блок питания выдаёт достаточный ток, чтобы с запасом питать осевой вентилятор и центробежный насос одновременно.

Для прерывания и возобновления работы установки подобраны реле включения и обратной связи о включении. Для насоса, вентилятора используются реле включения и обратной связи, катушка которых работает от 24 вольт постоянного тока, контакты которых рассчитаны на 250 вольт переменного либо 30 вольт постоянного тока и 10 ампер как постоянного, так и переменного тока. Для включения нагревателя выбрано реле, указанное выше, для обратной связи о его включении реле с катушкой, которая работает от 220 либо 240 вольт переменного тока, контакты данного реле выдерживают 250 вольт переменного или 28 вольт постоянного тока и 10 ампер постоянно-переменного тока. Для управления положением заслонки используется сервопривод, который работает от 5 вольт постоянного тока [1].

Выбраны следующие средства измерения и контроля технологических

параметров сложных технологических процессов:

- Датчик термосопротивления с коммутационной головкой YCHSM-100: 24VDC, 4-20mA;

- Преобразователь сигнала RTD PT100: 24VDC, 4-20mA;

- Аналоговый датчик термосопротивления 2B RTD PT100: 24 VDC.

Первый используется для измерения температуры воды в нагревателе, приборы второй и третьей позиции используются в количестве двух штук для измерения температуры на входе и выходе установки.

Для программирования ПЛК компании OMRON была использована совместимая среда программирования CX-Programmer пакета программ CX-One, который предназначен для контроллеров линейки C, CP, CJ, CQ, CS, CV, FQ, ID, NS, SR. В нашем случае используется контроллер линейки CJ.

В программе управления вентустановкой используются такие языки программирования как LD, FB, ST. Для начала программирования контроллера требуется собрать его виртуальную конфигурацию и создать базу тегов.

Максимальное количество модулей любой конфигурации, не считая процессорный модуль и модуль питания, не должно превышать 9 штук для одного рэка (стойки) [2, 3, 5]. В нашем случае используется 7 модулей расширения:

- CJ1W-ETN21;

- CJ1W-CLK21-V1;

- CJ1W-SCU41-V1;

- CJ1W-TS562;

- CJ1W-AD081-V1;

- CJ1W-ID261;

- CJ1W-OD231.

Для написания программы используется следующая база тегов, которые представлены в количестве 168-ми символов.

Теги расшифровываются следующим образом:

Первая приписка AIS – локализация шкафа с контроллером, в данном случае шкаф управления расположен на кафедре АИС, СибГИУ.

Вторая приписка SU0 – наименование шкафа управления, в данном случае шкаф называется ШУ0.

Третья приписка – тип тега, здесь потребуются расшифровки подробнее:

DI (Digital Input) – дискретный входной сигнал (кнопка, контакт), находящийся в области CIO (Controller Input Output) памяти контроллера, которая предназначена для хранения и обработки состояний физических сигналов;

DO (Digital Output) – дискретный выходной сигнал (катушка реле, лампа), находится в области CIO;

AI (Analog Input) – аналоговый входной сигнал (датчики состояния окружающей среды) находится в области CIO;

AIW (Analog Input Work) – состояние аналогового входного сигнала AI

переданное из области CIO в W-область;

DIW (Digital Input Work) – состояние дискретного входного сигнала DI, переданное из области физических переменных CIO в область W (Work), в данной области пользователь создаёт требуемые переменные, называемые в среде CX-Programmer вспомогательными реле;

DOW (Digital Output Work) – переменная, служащая для передачи состояния физическому дискретному выходу DO из программной (виртуальной) W-области;

C (Command) – команда, промежуточная переменная, которая служит для передачи состояния переменной DOW при выполнении определённых условий, данная переменная принимает состояния команд диспетчера CD или оператора CO, находится в области W;

CD (Command Dispatcher) – команды диспетчера, представляющие состояние битов, которые передаются из SCADA проекта в контроллер, находится в области W;

CO (Command Operator) – команды оператора, представляющие состояние битов, которые передаются из HMI проекта в контроллер, данные команды могут блокироваться, находится в области W;

S (Sign) – признак, состояние агрегата или вспомогательный признак для формирования условий, формируется из команд C или из обратной связи с агрегатом при помощи DI (работа агрегата, готовность агрегата) для HMI SCADA, находится в области W;

ACD (Analog Command Dispatcher) – аналоговые команды диспетчера, состояния представляющие машинных слов (уставки параметров процесса), которые передаются из SCADA проекта в контроллер, поле ввода численных параметров, находится в области W;

ACO (Analog Command Operator) – аналоговые команды оператора, состояния представляющие машинных слов, которые передаются из HMI проекта в контроллер, поле ввода численных параметров, находится в области W;

AS (Analog Sign) – аналоговый признак, численное состояние параметра процесса (температура), полученное при скалировании переменной AIW, численный индикатор в HMI и SCADA, находится в области W;

AC (Analog Command) – аналоговая команда, промежуточная переменная, которая служит для передачи численного значения, данная переменная принимает состояния аналоговых команд диспетчера ACD или оператора ACO, в нашем случае это поля ввода пороговых значений температуры в нагревателе для HMI и SCADA, находится в области W.

Последняя приписка является наименованием тега, которое определяет его назначение, привязку к тому или иному агрегату, процессу и его состоянию.

Проект для ПЛК управления установкой проветривания угольной шахты написан на языках LD, FB, функциональный блок написан на языке ST. Программа состоит из одной задачи и разбита на следующие сегменты: «Управление», «Режимы», «Авто», «Дистанция», «Местный», «Автоматиче-

ские выключатели_QF», «Heater_1», «Pump_1», «Fan_1», «Датчики температуры_TE_TT», «END». Также имеется 1 функциональный блок «SCALING».

Сегмент «Управление», приведённый в качестве примера на рисунке 1, реализует следующие функции:

- ввод команд оператора и диспетчера, которые предаются в обобщённую команду для поэтапного пуска и останова агрегатов в автоматическом режиме;
- блокировку управления оператору диспетчером;
- пуск и останов с местного поста с исключением дребезга контактов и удержанием для подтверждения пуска или останова, экстренный стоп работает независимо от наличия блокировки управления;
- формирование признака неготовности при помощи команды диспетчера, оператора;
- команду на включение ШИМ-регулятора и признак его работы;
- квитирование аварийных признаков;
- формирование аварийных признаков со сбросом команд запуска;
- формирование признака общей неготовности;
- формирование признака общей готовности;
- формирование признака общей работы;
- включение индикаторных ламп общего состояния на местном посту управления.

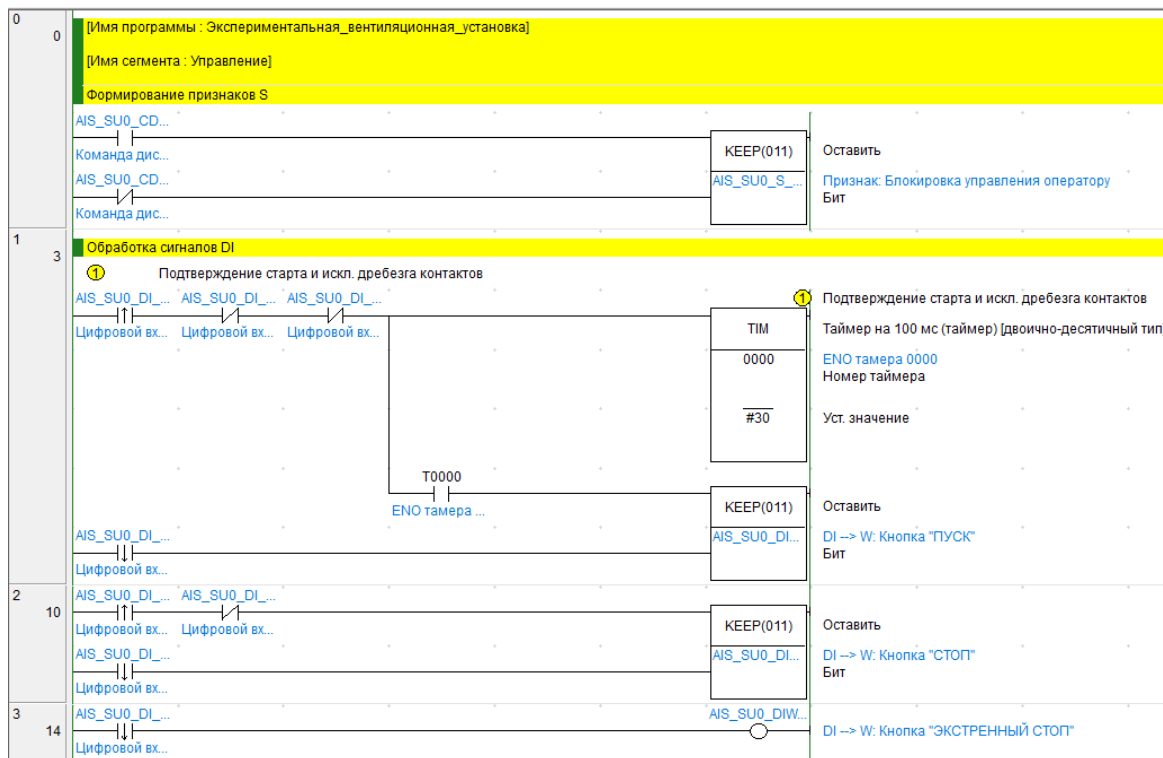


Рисунок 1 – Сегмент «Управление»: формирование признаков, обработка сигналов DI

Сегмент «Режимы» содержит в себе:

- включение/выключение автоматического режима командами диспетчера, оператора;
- включение/выключение дистанционного режима командами диспетчера, оператора;
- включение/выключение местного режима командами диспетчера, оператора;
- включение/выключение автоматической смены нагрева и охлаждения по температуре воздуха в подводящем канале в соответствии со сменой сезонов командами диспетчера, оператора.

Сегмент «Авто» содержит в себе:

- последовательный пуск/останов агрегатов с наличием блокировки температурными порогами в режиме нагрева командами диспетчера;
- последовательный пуск/останов агрегатов с наличием блокировки температурными порогами в режиме охлаждения командами диспетчера.

Запуск агрегатов блокируется общей аварией либо происходит их останов, если авария возникла во время работы, также останов всех агрегатов производится, если был выключен автоматический режим.

Сегмент «Дистанция» содержит в себе:

- независимый пуск/останов нагревателя командами диспетчера, оператора;
- независимый пуск/останов насоса командами диспетчера, оператора;
- независимый пуск/останов вентилятора командами диспетчера, оператора.

Запуск агрегатов блокируется общей аварией либо происходит их останов, если авария возникла во время работы, также останов всех агрегатов производится, если был выключен дистанционный режим.

Сегмент «Местный» содержит в себе:

- независимый пуск/останов нагревателя командами оператора;
- независимый пуск/останов насоса командами оператора;
- независимый пуск/останов вентилятора командами оператора.

Сегмент «Автоматические выключатели_QF» содержит в себе:

- формирование признаков включённых автоматических выключателей;
- формирование признака сработавших/выключенных автоматических выключателей.

Сегмент «Heater_1» содержит в себе:

- запуск/останов нагревателя;
- обратная связь по запуску нагревателя;
- формирование попыток останова, истечение последней попытки переводит агрегат в аварию «Нагреватель не останавливается»;
- формирование попыток запуска, истечение последней попытки переводит агрегат в аварию «Нагреватель не запускается»;
- формирование признака «Авария»;
- формирование признака «Неготовность»;

- формирование признака «Готовность»;
 - формирование признака «Работа».
- Сегмент «Pump_1» содержит в себе:
- запуск/останов насоса;
 - обратная связь по запуску насоса;
 - формирование попыток останова, истечение последней попытки переводит агрегат в аварию «Насос не останавливается»;
 - формирование попыток запуска, истечение последней попытки переводит агрегат в аварию «Насос не запускается»;
 - формирование признака «Авария»;
 - формирование признака «Неготовность»;
 - формирование признака «Готовность»;
 - формирование признака «Работа».
- Сегмент «Fan_1» содержит в себе:
- запуск/останов вентилятора;
 - обратная связь по запуску вентилятора;
 - формирование попыток останова, истечение последней попытки переводит агрегат в аварию «Вентилятор не останавливается»;
 - формирование попыток запуска, истечение последней попытки переводит агрегат в аварию «Вентилятор не запускается»;
 - формирование признака «Авария»;
 - формирование признака «Неготовность»;
 - формирование признака «Готовность»;
 - формирование признака «Работа».
- Сегмент «Датчики _температуры_ТЕ_ТТ» содержит в себе:
- обработка физических аналоговых входов;
 - скалирование;
 - формирование признаков возникновения пороговых значений температуры в нагревателе.

Сегмент «End» является обязательным сегментом каждого проекта CX-Programmer и создан по умолчанию, данный сегмент является ограничением цикла работы программы пользователя. При достижении сегмента «End» выполнение программы начинается с первого сегмента и так, пока не прервётся исполнение проекта [3], [4], [5].

Выводы

Программирование системы автоматизации управления приточной вентиляционной установки позволяет эффективно управлять работой системы, обеспечивая комфортный микроклимат в помещении и экономя энергию. Использование современных технологий и методов программирования повышает надёжность и безопасность работы установки, а также упрощает процесс её обслуживания и эксплуатации.

Библиографический список

1. Иванов И.И. Основы автоматизации вентиляционных систем. Изда-

тельство «Техника», Москва, 2018.

2. Руководство пользователя, Модули ЦПУ CJ2 — Аппаратные средства, OMRON, 2010.

3. Сидоров А.А. Программное обеспечение для промышленной автоматизации. Издательство «Лань», Санкт-Петербург, 2019.

4. Петров В.В. Современные методы и средства программирования промышленных контроллеров. Издательство «Технопрогресс», Москва, 2020.

5. Руководство по программированию, Программируемые контроллеры, OMRON, 2003.

УДК 62.529

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Огнев С.П., Прищепа Я.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, Россия, e-mail: povoreshka264@gmail.com*

В статье рассматриваются виды обеспечения и принцип работы действующей приточной вентиляционной установки.

Ключевые слова: автоматизация, вентиляция, система.

Характеристика объекта и функциональная схема

Приточная вентиляционная система предотвращает попадание наружного воздуха при её выключенном или аварийном режиме работы при помощи отсечной заслонки (жалюзи). В случае зимнего периода предотвращается доступ холодному воздуху, в случае теплого периода предотвращается попадание горячего/раскалённого воздуха. В обоих случаях воздух является неподготовленным. В нормальном режиме приточная установка выполняет очистку воздуха от нежелательных включений при помощи фильтра, стоящего после воздушного жалюзи. Выполняет функцию нагрева или охлаждения воздуха в зависимости от сезона. При помощи регулируемого вентилятора производится подача воздуха с определенной скоростью потока. Функция изменения температуры воздуха производится при помощи теплообмена с водяным контуром котельной. Нагрев и охлаждение воды в радиаторе происходит за счёт переключения контура трёхходовым клапаном, который производит регулирование температуры воздуха плавным изменением своего положения. Вода от котельной в радиатор подаётся при помощи насоса. Под переключением контура понимается изменение направления прохождения воды. Его изменяет трёхходовой клапан. В случае нагрева воздуха вода возвращается на котельную через насос, радиатор и трёхходовой клапан (по большому контуру), в случае охлаждения воздуха вода возвращается на котельную через трёхходовой клапан в обход насоса и радиатора (по малому

контур), в данном случае насос отключён. Общий внешний вид приточной вентиляционной системы представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид приточной вент системы

Производится измерение следующих параметров:

- температуры наружного воздуха;
- температуры жидкостного теплоносителя на выходе радиатора;
- температуры приточного воздуха (в целевое помещение, цех).

Контролируются следующие параметры:

- загрязненность воздушного фильтра;
- заморозка радиатора.

При аварии производится отключение приточной установки для защиты исполнительных механизмов.

Для отображения состояния установки производится индикация параметров, совмещенная с функцией ручного управления приточной системой при помощи кнопок контроллера. Перечисленные выше функции представлены на рисунке 2.

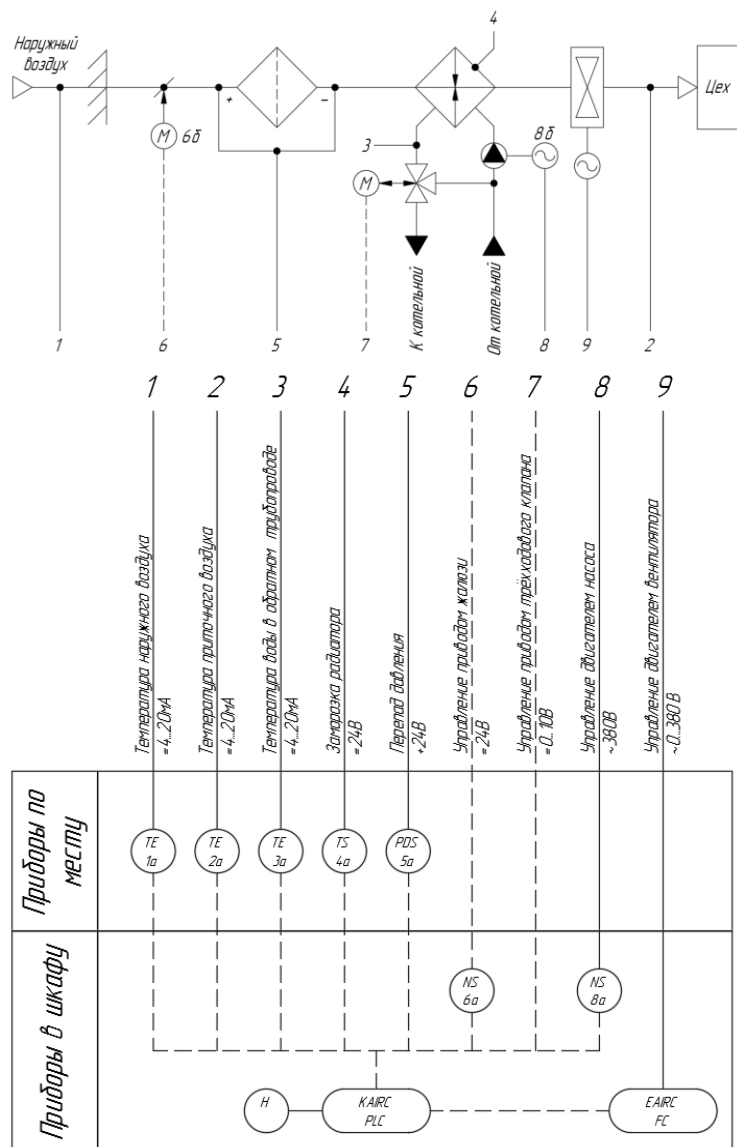


Рисунок 2 – Функциональная схема системы автоматизации приточной вентиляционной установки

Техническое обеспечение системы автоматизации

Датчик температуры наружный предназначен для измерения температуры окружающей среды. По данному датчику система автоматизации осуществляет переход зима/лето.

В основном используются уличные датчики, представляющие собой термосопротивление Pt1000, Pt100, либо на основе термисторов NTC10k, NTC20k.

Воздушный фильтр служит для защиты от попадания в систему различных частиц пыли и других примесей.

Описанные в этом разделе средства автоматизации представлены на рисунке 3.

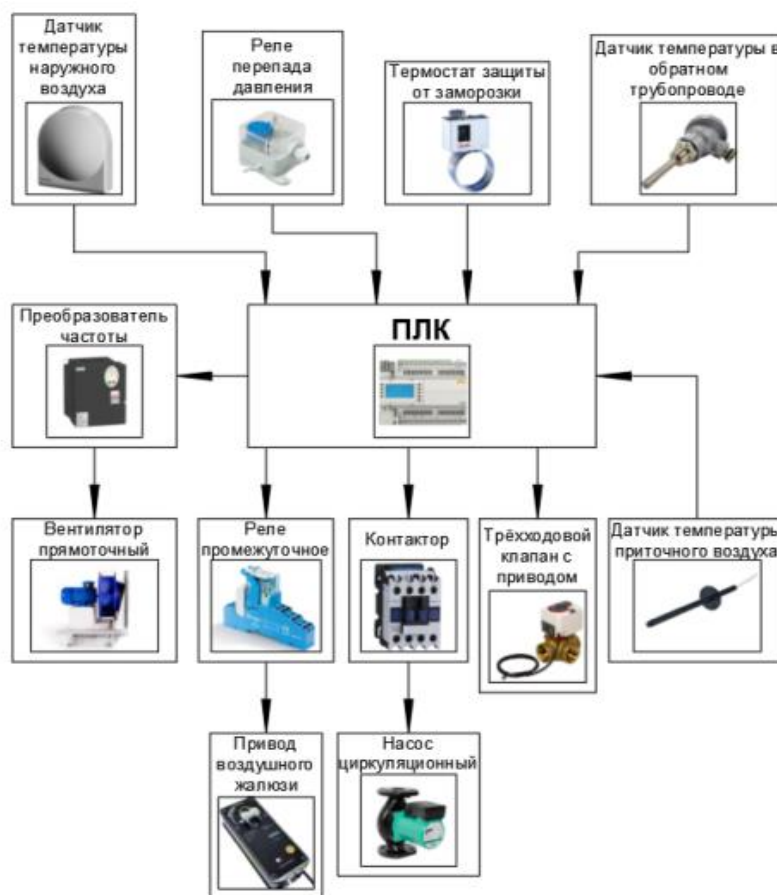


Рисунок 3 – Структурная схема КТС

Реле перепада давления на фильтре измеряет разность давления воздуха до и после фильтра. В случае выхода перепада давления за пределы порога срабатывания (уставки) контакты реле переключаются, и сигнал о необходимости замены фильтрующего элемента поступает в систему управления. При этом установка продолжает работу в штатном режиме.

Датчик температуры обратной воды применяется для контроля температуры на выходе теплообменника, что обеспечивает дополнительную защиту водяного калорифера от замерзания.

Термостат защиты калорифера от замораживания контролирует температуру воздуха после теплообменника и в случае понижения температуры ниже уставки (примерно 5-6 °С) выдает сигнал на щит управления вентустановкой. Измерение температуры производится при помощи чувствительного элемента в виде газонаполненной капиллярной трубки.

Реле перепада давления на вентиляторе контролирует перепад давления и в случае неисправности самого вентилятора или обрыва ремня привода выдает сигнал на управляющий контроллер. Происходит останов системы в аварийном режиме.

Канальный датчик температуры приточного воздуха осуществляет контроль температуры приточного воздуха. По сигналу датчика температуры притока происходит управление нагревом вентустановки [1].

Промежуточное реле применяется для коммутации силовых цепей от

источника с малым током [2].

Преобразователи частоты (ПЧ) предназначены для регулирования скорости или момента электродвигателя в широком диапазоне и с максимальным КПД. Он обеспечивает полную защиту двигателя: от короткого замыкания на землю и между фазами, тепловую защиту от перегрузки по току и моменту. ЧЭП выполняет функции измерения, регистрации, отображения. Также он может передавать по сети АСУ ТП параметры двигателя такие как: ток, скорость, момент, мощность, напряжение, температуру, потреблённую электроэнергию [3].

ПЛК – программируемый логический контроллер, представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления, имеющий конечное количество входов и выходов, подключенных к ним датчиков, ключей, исполнительных механизмов к объекту управления, работы в режимах реального времени [4].

Математическое и программное обеспечение

Так как для системы автоматизации вентиляционной установки используется ПЛК Eliwell free Advance, то для создания программного обеспечения на базе данного ПЛК применяется приложение одноимённого производителя Eliwell free Studio Plus.

В программе управления вентустановкой используется 73 тега. Они расшифровываются в соответствии источником номер 5. Программа работы приточной установки включает в себя подпрограммы, совмещающие LAD, FBD и STL языки управления со следующими наименованиями:

- P4_Season_Mode – подпрограмма (ручной) смены сезонов в качестве примера приведена на рисунке 4;

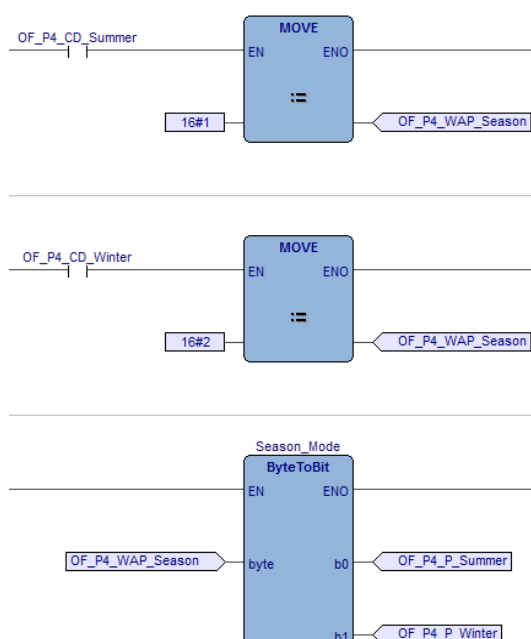


Рисунок 4 – Подпрограмма P4_Season_Mode

- P4_Command_Mode – подпрограмма режимов управления;
- P4_Fire – подпрограмма срабатывания пожарной сигнализации;
- P4_Auto_Action – подпрограмма автоматического режима управления;
- P4_Distant_Action – подпрограмма дистанционного режима управления;
- P4_Local_Action – подпрограмма местного режима управления;
- P4_PID_Control – подпрограмма ПИД-регулятора;
- P4_TE – подпрограмма скалирования и диагностики датчиков температуры;
- P4_TS1 – подпрограмма срабатывания термостата защиты от заморозки;
- P4_V1_Fan – подпрограмма управления связанными агрегатами, вентилятором и жалюзи и формирования их признаков;
- P4_N1_Pump – подпрограмма управления связанными агрегатами, насосом и трёхходовым клапаном и формирования их признаков.

Вторая часть программного обеспечения состоит из 4 кадров НМІ редактора Free Studio Plus, в качестве примера экранной формы приведен главный экран (рисунок 5).

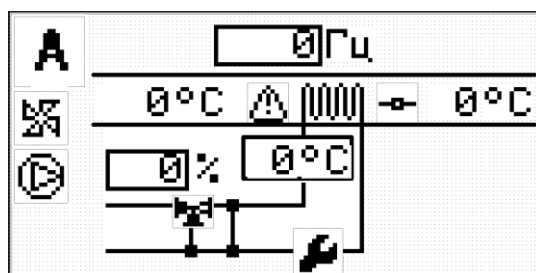


Рисунок 5 – Главный экран

Информационное обеспечение

Информация об измеренных параметрах с дискретных и аналоговых датчиков поступает в контроллер, на базе этого формируются управляющие и регулирующие воздействия на исполнительные механизмы.

Так, для управления двигателем используется частотный преобразователь, которому отправляется аналоговый сигнал со значением частоты и дискретный сигнал включения (при отсутствии ЧЭП выключен). Воздушное жалюзи открывается и остаётся открытым при удержании дискретного сигнала, закрывается при его отсутствии. Насос управляется при помощи контактора, в который подаётся дискретный сигнал на втягивание якоря. Трёхходовой клапан встает в определенное положение за счёт аналогового сигнала.

От датчиков температуры в контроллер поступают аналоговые сигналы. Дискретные датчики или дискретные сигнализаторы, они же реле определенного параметра (например: реле перепада давления, термореле или термостат) в случае срабатывания оправляют в ПЛК дискретный сигнал о

замерзании радиатора и/или максимальном загрязнении фильтра (требуется срочная замена, чтобы не вывести из строя двигатель вентилятора). Далее вся информация о статусе исполнительных механизмов и параметрах с измерительных каналов отправляется во встроенный НМІ контроллера.

Обратные связи состояний у агрегатов установки отсутствуют, т.е. работают «прямым образом» (например: признак запуска формируется по активации команды запуска, аналогично с остановом). Дальше уровня НМІ информационные потоки не поднимаются.

Выводы

Автоматизация приточной вентиляционной установки позволила контролировать функционирование оборудования, управлять его работой с единого пульта, своевременно информировать о неисправностях и обеспечивать экономию ресурсов.

Библиографический список

1. Устройство приточно-вытяжных систем вентиляции / [Электронный ресурс] // 330 Ом: [сайт]. — URL: <https://330om.ru/avtomatizacziya-pritocno-vyityazhnyix-sistem-ventilyaczii> (дата обращения: 04.04.2024).

2. Что такое промежуточное реле и для чего оно нужно? / [Электронный ресурс] // САМ ЭЛЕКТРИК : [сайт]. — URL: <https://samelectrik.ru/chtotakoe-promezhutochnoe-rele.html> (дата обращения: 04.04.2024).

3. Назначение преобразователей частоты / [Электронный ресурс] // MaxPlant : [сайт]. — URL: https://www.maxplant.ru/article/ac_drive.php (дата обращения: 04.04.2024).

4. Программируемые логические контроллеры / [Электронный ресурс] // Сайт ПАЯЛЬНИК : [сайт]. — URL: <https://сhem.net/promelectr/promelectr5.php> (дата обращения: 04.04.2024).

5. Курсовая работа: Прищепа Я.И., Анализ и совершенствование системы автоматизации приточной вентиляционной установки, Новокузнецк, 2024.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНТАКТОРНОЙ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Климов Д.Е., Огнев С.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, Россия, e-mail: klimov_denis.2000@mail.ru*

В статье описаны назначение, технические характеристики и конструкция разрабатываемого устройства взрывозащищенной автоматизированной контакторной станции управления шахтным энергораспределением. Целью создания станции является увеличение степени автоматизации технологических процессов угледобывающих шахт, за счет чего происходит сни-

жение влияния человеческого фактора и времени простоев, повышается безопасность производства.

Ключевые слова: станция, пускатель, взрывозащита, ток, напряжение.

Актуальность разработки взрывозащищенной автоматизированной контакторной станции управления, в дальнейшем именуемой АКСУВ, характеризуется в первую очередь тем, что на рынке не представлены серийные модели этого устройства, позволяющие принимать и распределять электрическую энергию в сетях с изолированной нейтралью, напряжением 0,66/1,14/3,2/6 кВ одновременно. Частота тока – 50 Гц. Устройство обеспечивает управление энергопотребителями в условиях шахт опасных по газу и пыли.

Устройство предназначено для работы в следующих условиях [1]:

- номинальные значения климатических факторов по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1;

- номинальные рабочие значения механических внешних воздействующих факторов по ГОСТ 17516.1 для группы механического исполнения М1 по ГОСТ 16962.2;

- окружающая среда – взрывоопасная по газу (метану) и угольной пыли, с запыленностью не более 1200 мг/м³;

- температура окружающего воздуха – от минус 10 до плюс 350 С;

- относительная влажность окружающей среды – до 100% при температуре до 350С;

- нормальное рабочее положение в пространстве – горизонтальное, допустимое отклонение от рабочего положения ± 150 ;

- высота над уровнем моря – не более 1000 м, глубина ниже уровня моря – не более 1500 м;

- колебания напряжения в электрической сети – от 0,85 до 1,1 Uном;

Устройство выполнено в металлической цельносварной оболочке, имеющей следующий состав [2]: аппаратный отсек; две быстрооткрываемые двери; отсек разъединителя; отсек вводов; отсек отходящих силовых присоединений; отсек отходящих искроопасных присоединений; отсек искробезопасных цепей, включающий в себя микроконтроллерную систему управления.

Все отсеки закрываются стальными крышками с взрывобезопасными фланцами. Крепление крышек к корпусу осуществляется при помощи шарнирных петель. Для удобства обслуживания каждая крышка снабжена ручкой и информационно-предупредительной табличкой, содержащей информацию о назначении отсека и допустимых манипуляциях с ним. Фиксация крышек в закрытом состоянии осуществляется при помощи невыпадающих винтов М12 с антивандальными головками.

Аппаратный отсек предназначен для установки взрывоопасных коммутационных модулей разного номинала напряжения, трансформаторных модулей и другого вспомогательного оборудования.

Коммутационный модуль, в свою очередь, содержит 2 контактора, обеспечивающих подключение питания 0-3,2/3,2-6 кВ рабочим током до 630 А; средства измерения и управления параметрами тока; собственные источники питания; модуль индикации.

Функции, выполняемые микроконтроллерной системой [3]:

- отключение оборудования при возникновении аварийных ситуаций;
- превышение номинальной силы тока в цепи;
- превышение оборотов двигателя выше критического уровня;
- превышение содержания метана в воздушной среде;
- вмешательство ремонтной бригады в работу станции управления;
- возгорание внутри станции;
- отключение оборудования при необходимости проведения ремонтных работ;
- автоматическая коммутация оборудования по заданной схеме;
- сигнализация аварийного, включенного, выключенного состояний;
- дистанционная связь с оператором посредством SCADA системы;
- автоматическая диагностика состояния рабочих параметров;
- контроль искробезопасных цепей дистанционного управления;
- контроль утечки тока;
- токовые защиты;
- управление коммутационным аппаратом;
- обработка сигналов внешних защит;
- контроль параметров питающей сети;
- возможность подключения к информационной сети шахты (поддержка портов Eth, RS-485).

Изображение прототипа будущей АКСУВ показано на рисунке 1.

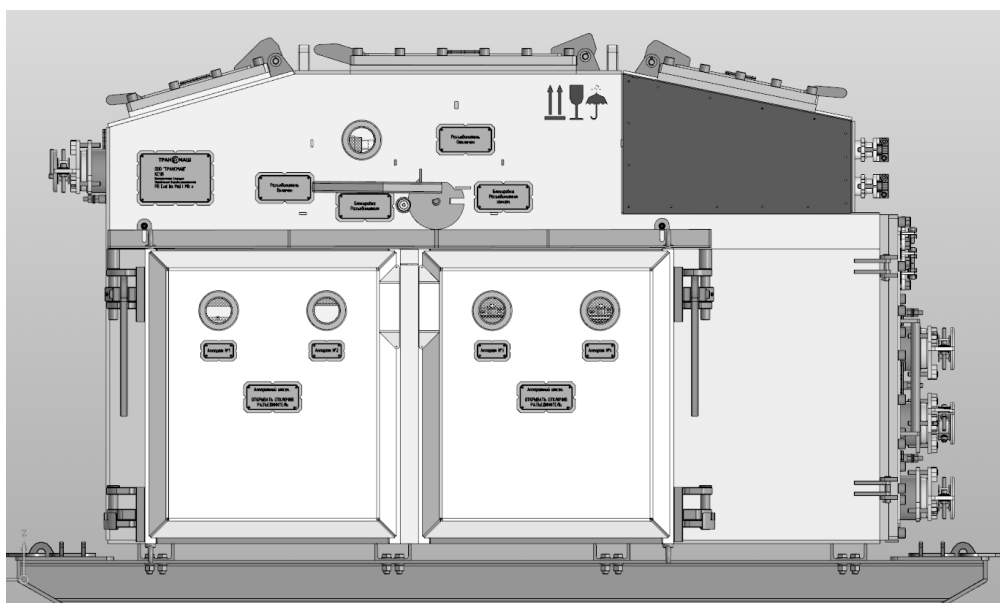


Рисунок 1 – КСУВ. Вид спереди

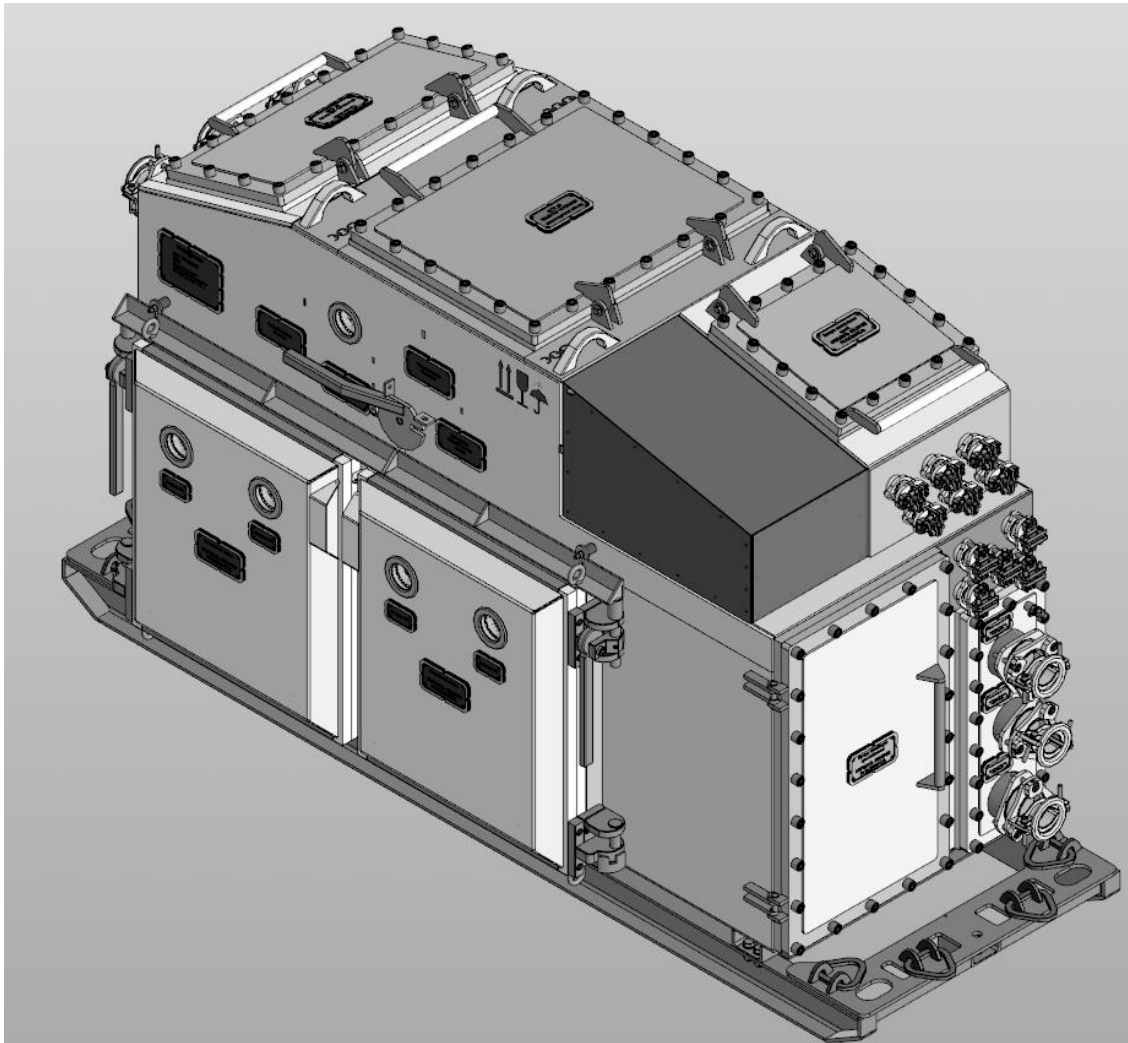


Рисунок 2 – КСУВ. Изометрия

Внедрение описанной станции в технологический процесс позволит существенно повысить его безопасность за счет увеличения степени автоматизации и снижения влияния человеческого фактора, сократить время простоев оборудования и повысить экономическую эффективность производства.

Библиографический список

1. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам – М.: Стандартинформ, 2007. – 45 с.
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия – М.: Стандартинформ, 2010. – 85 с.
3. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления: Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.

СОДЕРЖАНИЕ

I ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ	3
КОНСТАНТЫ ПЛАВЛЕНИЯ БРОМИДА ЭРБИЯ (Ш) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДВУХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ: ДСК и ДТА <i>Чумачкова Е.Г., Маринич В.С., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф.</i>	3
ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «ПРОЧНОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ» <i>Громов В.Е., Юрьев А.Б., Коновалов С.В., Невский С.А., Загуляев Д.В., Крюков Р.Е., Романов Д.А., Семин А.П., Малушин Н.Н., Панченко И.А.</i>	10
ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ТИТАНОВЫХ ФОЛЫГ НА ПРОЦЕСС РАЗРУШЕНИЯ КЕРАМОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ <i>Кузнецова А.Е., Гоморова Ю.Ф., Буякова С.П., Карпов С.М., Шмаков В.В., Буякова С.П.</i>	14
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ В КРИСТАЛЛЕ ЖЕЛЕЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА <i>Гостевская А.Н., Кондратова О.А., Маркидонов А.В.</i>	18
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЁМКОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ НА ПРИМЕРЕ AL-SC <i>Чинов В.Ю., Арышенский Е.В., Сарычев В.Д., Клепов Д.Н.</i>	21
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ НАПЛАВКИ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТПУСКА И ЭПО <i>Чапайкин А.С., Громов В.Е., Черепанова Г.И., Миненко С.С.</i>	24
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА $CoCrZr_xMn(40-x)Ni$ С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТА ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ <i>Панова В.С., Кузнецова В.А., Осинцев К.А., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	27
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ <i>Клопотов А.А., Абзаев Ю.А., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Селиванов И.Д.</i> ²	29
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ <i>Гусаров К.О., Ващук Е.С.</i>	33
ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА AL-SI <i>Шлярова Ю.А., Шляров В.В., Загуляев Д.В.</i>	37

II МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.....	40
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СМЕСЕЙ <i>Долгополов А.Е., Фейлер Д.Т., Числавлев В.В., Хомутинников В.А., Фейлер С.В.....</i>	40
ХАРАКТЕРИСТИКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС <i>Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Фейлер С.В.....</i>	44
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА <i>Хомутинников В.А, Фейлер Д.Т., Фейлер С.В.....</i>	48
ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ И ФИТОСТЕНЫ В ИНТЕРЬЕРЕ <i>Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Шевченко Р.А., Фейлер С.В.....</i>	55
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДОЛИ ЖИДКОГО ЧУГУНА В МЕТАЛЛОШИХТЕ ДО 100 % <i>Руди А.В., Фейлер С.В.</i>	59
СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Запольский А.С., Темлянец М.В.....</i>	63
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЙ РАСПЛАВ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А., Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>	70
ОСОБЕННОСТИ КОСВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А., Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>	75
ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ ПЕРЕДЕЛЬНОГО ЧУГУНА В ПЕЧАХ СТАЦИОНАРНОГО СЛОЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А., Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>	80
ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	84
<i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А., Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>	84
ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ПРИ ОБЕДНЕНИИ ШЛАКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Богатырев Д.М., Озеров С.С., Цымбулов Л.Б.</i>	89
ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЩЕЛЕВЫХ АНОДОВ НА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ РА-167 АО «РУСАЛ НОВОКУЗНЕЦК» <i>Говриленко Д.А., Митягин В.О., Хамов М.А., Марьенко И.К., Григорьев А.Ю., Ноздрин И.В.....</i>	94

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Коряковцева О.В., Хамов М.А., Ильина Ю.В., Марьенко И.К., Григорьев А.Ю., Ноздрин И.В.</i>	99
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ СЫРЬЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С-2, С-3 ШЕСТОЙ СЕРИИ АО «РУСАЛ НОВОКУЗНЕЦК» <i>Митягин В.О., Говриленко Д.А., Марьенко И.К., Григорьев А.Ю., Хамов М.А., Ноздрин И.В.</i>	104
ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОКОРУНДА МАРКИ ЭХН <i>Сюльдина С.А., Безрукова Е.С., Комарова А.В., Полях О.А.</i>	109
МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА С УВЕЛИЧЕНИЕМ ОБЪЕМА ФОРКАМЕРЫ <i>Ядыкина М.А., Хорощенко А.А., Комарова А.В., Полях О.А.</i>	112
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ <i>Полунин А.М., Ломиворотов Н.П., Попова М.В.</i>	114
ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНА С 15% SI ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Попова М.В.</i>	119
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ В ВЫСОКОМАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ ЛИТЬЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Тептерев М.С., Арышенский Е.В., Рагазин А.А., Бахтегареев И.Д., Арышенский В.Ю.</i>	123
ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО СТАРЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ SI И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ SC И ZR <i>Лапишов М.А., Тептерев М.С., Арышенский Е.В.</i>	128
МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ <i>Кирчева А.С., Мамедов И.В., Буинцев В.Н.</i>	132
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ <i>Кирчева А.С., Мамедов И.В., Буинцев В.Н.</i>	136
ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕЙ В УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ <i>Куделя В.С., Романенко Ю.Е.</i>	140
УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ И ХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ <i>Куделя В.С., Романенко Ю.Е.</i>	144
ПОВЕРХНОСТНОЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Пимахин А.В., Бессонова О.В., Осколкова Т.Н.</i>	148

МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НИОБИЕМ <i>Бессонова О.В., Осколкова Т.Н.</i>	153
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ <i>Олифиренко И.А.¹, Осколкова Т.Н.²</i>	157
III ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	161
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕХОДА РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ «ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ» <i>Кротков И.А., Любогощев В.И., Домрачев А.Н.</i>	161
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ В РОССИИ (2016-2023 ГГ.) <i>Коновалова О.Ю., Курдюков М.О., Ермаков А.Ю.</i>	165
ВАРИАНТЫ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ <i>Кротков И.А., Никитина А.М.</i>	168
ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МАШИНАМИ И МЕХАНИЗМАМИ В УСЛОВИЯХ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩИХ РУДНИКОВ <i>Марченко Л.А., Владимиров В.В., Карнов А.В., Гордеева А.П., Коряга М.Г.</i>	172
ПРИМЕНЕНИЕ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА <i>Ворсина А.М., Агеев Д.А., Никитина А.М.</i>	175
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА <i>Ворсина А.М., Агеев Д.А., Никитина А.М.</i>	179
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ <i>Трабер Н.С., Ворсина А.М., Никитина А.М.</i>	182
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА <i>Апенкин Д.Е., Волошин В.А., Марченко Д.И.</i>	187
МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА РАЗРЕЗАХ <i>Ефименко И.А., Волошин В.А., Апенкин Д.Е.</i>	191
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО КРЕПКИМ ПОРОДАМ <i>Марченко Д.И., Волошин В.А., Володина А.В., Апенкин Д.Е.</i>	194

КОМБИНИРОВАННАЯ ДОСТАВКА ГОРНОЙ МАССЫ НА РУДНЫХ КАРЬЕРАХ РОССИИ <i>Апенкин Д.Е., Волошин В.А., Володина А.В., Ефименко И.А., Марченко Д.И.</i>	198
ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СО СРОКОМ СЛУЖБЫ БОЛЕЕ 5 ЛЕТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА <i>Марченко Д.И., Володина А.В., Апенкин Д.Е.</i>	203
СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ПРИ ВЕДЕНИИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ НА ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ «АЙХАЛ» <i>Ворсина А.М., Агеев Д.А., Трабер Н.С., Никитина А.М.</i>	206
АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ ШПУРОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ <i>Гельгенберг И.О., Никитина А.М.</i>	211
СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ПРИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ <i>Гельгенберг И.О., Никитина А.М., Риб С.В.</i>	214
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Ефименко И.А., Никитина А.М., Володина А.В.</i>	217
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ <i>Кротков И.А., Ефименко И.А., Волошин В.А., Никитина А.М., Риб С.В.</i>	221
ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГАФНИЯ ИЗ УГЛЯ <i>Трапезников К.С., Чаплыгин В.В.</i>	225
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ УГОЛЬНЫМ РАЗРЕЗОМ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ 150 МЕТРОВ И НИЖЕ С ЦЕЛЬЮ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕВОДА РАБОТНИКОВ НА «ПОДЗЕМНЫЙ ГОРНЫЙ СТАЖ» <i>Кисель В.В., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	229
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ <i>Дудкин В.П., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	235
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА (ЦМР) УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА ПО ИМЕЮЩЕЙСЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПЛАНА <i>Дудник С.А., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	239
ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ОСНОВАНИЯ ОТВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Сунегин Д.Н., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	243
ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗРЕЗАМИ МАЛОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ С ЗЕМЛЕСБЕРЕГАЮЩИМ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕМ <i>Третьякова Я.А., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	250
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОНКИХ ПОРОДНЫХ ПРОСЛОЕВ НА ЗОЛЬНОСТЬ УГЛЯ ЭЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ <i>Кетов Д.В., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	253

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБВОДНЕННОСТИ ВЗРЫВНЫХ БЛОКОВ <i>Юдина О.О., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	258
КАРЬЕРНЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЛИМПИАДИНСКОГО ГОК (ОГОК) <i>Шеховцова Л.Ю., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	264
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ <i>Фростов М.М., Матвеев А.В., Чаплыгин В.В.</i>	268
РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЗАБЛАГОВРЕМЕННОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА <i>Никитина Д.Ю., Никитина А.М., Риб С.В., Володина А.В.</i>	272
К ВОПРОСУ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <i>Трабер Н.С., Садыков А.А.</i>	277
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КУСКОВАТОСТИ ВЗОРВАННЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ <i>Трабер Н.С., Садыков А.А.</i>	280
ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ДОБЫЧЕ АЛМАЗОВ ШАХТНЫМ СПОСОБОМ <i>Марченко Л.А., Владимиров В.В., Карнов А.В., Гордеева А.П., Коряга М.Г.</i>	283
К ВОПРОСУ ОТРАБОТКИ НАКЛОННЫХ И КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ <i>Жданов Е.Е., Басов В.В., Риб С.В.</i>	287
IV ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	293
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВБЛИЗИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ЛАЭС) <i>Спицын М.А., Темлянцева Е.Н.</i>	293
ИЗУЧЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И РАДИОНУКЛИДОВ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ЛАЭС):ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ <i>Спицын М.А., Темлянцева Е.Н.</i>	297
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПАО «НК «РОСНЕФТЬ»: СТАТИСТИКА И МЕРЫ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ В КОМПАНИИ <i>Родина А.Д., Тюкалова О.В.</i>	300
АНАЛИЗ ВОПРОСА БЕЗОПАСНОСТИ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ <i>Горячева А. К., Тюкалова О.В.</i>	303

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРЫ Г. НОВОКУЗНЕЦКА <i>Маракулина М.Ю., Удовицкий В.А., Гибадуллин Р.М., Ванюгин И.В., Водолеев А.С.,.....</i>	306
ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ АО «ЕВРАЗ ЗСМК», Г. НОВОКУЗНЕЦК <i>Удовицкий В.А., Рыбак Е.А., Маракулина М.Ю., Водолеев А.С.</i>	316
ОТХОДЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ <i>Баранов А., Семина И.С.</i>	327
ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ <i>Володин Н.А., Коротков С.Г.</i>	330
МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ И УЛАВЛИВАНИЯ ВРЕДНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГОСТАНЦИЯХ <i>Володин Н.А., Коротков С.Г.</i>	333
ОБРАЩЕНИЕ С ТВЁРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ: ОПЫТ РОССИИ И НЕКОТОРЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН <i>Володина Т.А., Коротков С.Г.</i>	337
ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ <i>Володина Т.А., Коротков С.Г.</i>	340
СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРУДА- ОХЛАДИТЕЛЯ НА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Воробьев В.В., Коротков С.Г.</i>	344
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРУДА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Воробьев В.В., Коротков С.Г.</i>	348
СОСНА В КАЧЕСТВЕ ТЕСТ ОБЪЕКТА В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ГОРОДЕ НОВОКУЗНЕЦК <i>Трофименкова В.А., Лысенко Н.Е., Жидких А.Е., Шипилова А.М.</i>	351
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Мальков Д.П., Михайличенко Т.А.</i>	356
ПОЛЬЗА ИЗУЧЕНИЯ ДВУХСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ В ОЗЕРЕ БАЛХАШ <i>Лысенко Н.Е., Тетерина И.И.</i>	362
РАСТЕНИЯ ГОРНО-ТАЕЖНОЙ И ЛЕСА-СТЕПНОЙ МЕСТНОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ <i>Лысенко Н.Е., Трофименкова В.А., Шипилова А.М.</i>	367
РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ДЛЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ <i>Лысенко Н.Е., Печуров С.С., Шипилова А.М.</i>	374

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫЕ ТЕРРИТОРИИ <i>Трабер Н.С., Никитина Д.Ю., Никитина А.М., Семина И.С.</i>	379
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ РЕЗИНЫ В КАЧЕСТВЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ БРИКЕТОВ <i>Матвеева А.А., Домнин К.И., Павловец В.М.</i>	383
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН <i>Матвеева А.А., Павловец В.М.</i>	391
V ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ	398
ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Заякин М.А., Спиридонов В.В., Михайлова О.В.</i>	398
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ СКЛАДА ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ <i>Зулин А.С., Михайлова О.В.</i>	404
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ МОДУЛЯМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Заякин М.А., Спиридонов В.В., Михайлова О.В.</i>	408
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ СКЛАДА ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ <i>Зулин А.С., Михайлова О.В.</i>	413
К РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛАВНЫМ КОМПЛЕКСОМ <i>Лукьянец Е.А., Михайлова О.В.</i>	417
ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЛАВНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ И ДРОБИЛКИ ПРИ ПОПАДАНИИ ЧЕЛОВЕКА В КОРИДОР БЕЗОПАСНОСТИ <i>Лукьянец Е.А., Михайлова О.В.</i>	421
ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ <i>Прищепина Я.И., Огнев С.П.</i>	426
АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ <i>Огнев С.П., Прищепина Я.И.</i>	432
РАЗРАБОТКА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНТАКТОРНОЙ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ <i>Климов Д.Е., Огнев С.П.</i>	438

Научное издание

НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 28

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых*

Часть I

Под общей редакцией

С.В. Коновалова

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 14.05.2024 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 26,8 Уч.-изд. л. 28,37 Тираж 300 экз. Заказ № 87

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ