DOI: 10.24892/RIJIE/20250314

Утилизация золошлаковых отходов теплоэлектростанций при синтезе аморфизированных неорганических покрытий для стальных трубопроводов*

Яценко Е.А., Курдашов В.М., Климова Л.В., Тимофеева А.А., Прудан С.Ф.
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
г. Новочеркасск, Российская Федерация
viktorkurdashov@yandex.ru

***Аннотация*. В статье рассматривается актуальная проблема утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) тепловых электростанций путем их применения в производстве аморфизированных неорганических покрытий для защиты стальных трубопроводов. Исследование направлено на разработку новых составов стеклозолошлаковых покрытий с использованием отходов Новочеркасской ГРЭС. Проведен анализ химического состава ЗШО, установлена их безопасность по радиационным показателям. Разработаны экспериментальные составы стеклозолошлаковых эмалей с различным содержанием ЗШО (от 5 до 20%). В ходе исследования определены оптимальные технологические параметры получения покрытий, включая температуру варки и обжига. Установлено, что наилучшими эксплуатационными характеристиками обладает состав с 15% содержанием золошлака, который демонстрирует высокую прочность сцепления (83,4%) и отличную химическую и коррозионную стойкость. Полученные результаты открывают перспективы эффективного использования ЗШО в производстве защитных покрытий для трубопроводного транспорта.**

***Ключевые слова*: стеклозолошлаковые эмали, золошлаковые отходы, прочность сцепления, химическая и коррозионная стойкость и модифицирующие добавки.**

Введение

В настоящее время в Российской Федерации остро стоят проблемы, связанные с недостаточным уровнем переработки золошлаковых отходов [1].

Тепловые электростанции (ТЭС) играют ключевую роль в производстве тепловой и электрической энергии. Однако они также являются одними из главных источников загрязнения окружающей среды, особенно среди предприятий, занимающихся выработкой электроэнергии [2].

Основные вредные вещества, которые выбрасываются в окружающую среду вокруг ТЭС, связаны с процессами сжигания различных видов топлива. Среди них значительное место занимают твёрдые отходы, такие как зола и шлак, которые образуются в результате неполного сгорания минерального топлива на тепловых электростанциях [3].

Зола образуется при сжигании твёрдого топлива, такого как угля, горючего сланца, торфа или жидкого топлива (мазута) и состоит из минеральных примесей, которые не сгорают полностью. Шлак формируется при высоких температурах в процессе плавления минеральных составляющих топлива и представляет собой более крупные, спекшиеся частицы [4].

Процесс образования золы и шлака происходит следующим образом: при сжигании топлива углерод сгорает, а негорючие минеральные компоненты остаются в виде золы и шлака. Зола имеет сферическую структуру (3,5–100 мкм) и может содержать токсичные элементы, такие как тяжёлые металлы и оксиды серы. Шлак имеет остроугольную структуру (0,3-30 мм) и может включать в себя различные соединения, образовавшиеся в результате химических реакций при горении [5].

При совместном удалении золы и шлака гидротранспортом на тепловых электростанциях образуется золошлаковая смесь, которая складируется на специально оборудованных золошлакоотвалах, расположенных не далеко от ТЭЦ [6].

Ежегодно в России образуется более 25 миллионов тонн таких отходов, из которых около 88% складируется в золоотвалах. Это приводит к значительному загрязнению окружающей среды и нерациональному использованию земельных ресурсов [7].

На сегодняшний день в России накоплено уже более 1,6 миллиарда тонн золошлаковых отходов (ЗШО), и эта цифра продолжает увеличиваться. Золоотвалы занимают площади более 28 тысяч гектаров и становятся серьёзной экологической угрозой для близлежащих населённых пунктов [8].

Данные по накоплению золошлаковых отходов в России показывают, что их переработка не перекрывает объемы годового образования. Таким образом, необходимо не только найти технологию переработки, но и создать новые материалы на основе данных отходов.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает значительную экономическую эффективность применения золошклаковых отходов тепловых электростанций в различных отраслях строительной и силикатной промышленности.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-49-00002, https://rscf.ru/project/25-49-00002/ «Принципы модификации аморфизированных неорганических покрытий с улучшенной адгезией, теплопроводностью и коррозионной стойкостью для объектов энергетической инфраструктуры» (Руководитель Е.А. Яценко). Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Строительство, архитек-тура и техносферная безопасность", https://iccats.org

Исследования показывают, что наиболее перспективными являются следующие направления использования данных отходов: производстве ячеистого бетона и пенобетона, асфальта, песчано-цементной черепицы и стеновых блоков, при строительстве дорог, площадок полов промышленных зданий, укреплении грунтовых оснований, в производстве строительных растворов, при замене части цемента и мелкого заполнителя в тяжелых и легких бетонах, а также в промышленно-гражданском строительстве, при обваловке дамб [9,10]. Также стоит отметить перспективность применения ЗШО в стекольной промышленности, где их использование также представляется актуальным и экономически выгодным [11]. Важно отметить, что химический и минералогический составы золошлаков ТЭС близки к составам материалов силикатной промышленности, таким как стекло, стеклоэмалевые покрытия, керамика, ситаллы, и др. [12].

Стеклоэмалевые покрытия, благодаря своим уникальным свойствам, находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Их использование позволяет создавать долговечные и устойчивые к воздействию окружающей среды покрытия. Золошлаки ТЭС могут служить ценным сырьём для производства стеклоэмалевых покрытий, обеспечивая их необходимыми оксидами, тем самым улучшая их эксплуатационные характеристики [13].

В результате использования золошлакового сырья достигается целый комплекс положительных эффектов:

Во-первых, существенно снижается себестоимость производства стеклоэмалевых покрытий за счёт использования доступного и недорогого сырья.

Во-вторых, происходит оптимизация состава покрытия благодаря наличию в золошлаках необходимых оксидов кремния, алюминия, железа и кальция, которые являются важными компонентами для стеклоэмали.

В-третьих, внедрение золошлаков позволяет решить важную экологическую задачу по утилизации ЗШО, снижая нагрузку на окружающую среду.

Особое значение стеклоэмалевые покрытия имеют в сфере защиты стальных трубопроводов. Они создают надёжный барьер между металлической основой и агрессивной средой, предотвращая коррозию и продлевая срок службы труб [14].

При отсутствии должной защиты трубопроводы подвергаются интенсивному коррозионному разрушению, что приводит к серьёзным последствиям для окружающей среды. Внутренняя коррозия вызывает утечки опасных веществ (особенно в нефтепроводах и системах транспортировки химикатов), что загрязняет почву и грунтовые воды. Замена повреждённых труб требует масштабных земляных работ, нарушающих природный ландшафт [15].

В связи с вышеизложенным, разработка нового состава стеклозолошлакоэмалей для однослойных эмалевых покрытий с использованием золошлаковых отходов является исключительно актуальной темой. Поэтому целью данной было создание морфизированных неорганических покрытий для стальных трубопроводов с помощью золошлаковых отходов теплоэлектростанций.

Материалы и методы

В соответствии с целью работы для получение однослойного стеклозолошлакоэмалевого покрытия на основе отходов топливных шлаков ТЭС было решено проводить исследования на основе сырьевых материалов, используемых в эмалировочной промышленности с добавлением золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС.

Известно, что золошлаковые отходы тепловых электростанций могут излучать радиацию [16]. В связи с этим были проведены исследования по радиологической безопасности золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС. Проверка радиологической безопасности ЗШО заключалась в проведении дезактивации природных радинуклидов (Ra-226, Th-232 и K-40). Результаты исследования показали, что удельная эффективная активность ЗШО составляет 267 ± 26 Бк/кг, что относит их к 1 классу строительных материалов государственного стандарта РФ (ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные). То есть ЗШО могут быть использованы для всех видов строительства, в том числе в жилых и общественных зданиях, так как их эффективная удельная активность составляет не более 370 Бк/кг. Химический состав золошлакового отхода представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав золошлакового отхода Новочеркасской ГРЭС

Химический состав, % (по массе)									
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CaO	TiO_2	MgO	SO_3
53,00	20,64	14,20	1,63	1,00	3,70	3,70	0,68	1,63	1,45

Результаты химического анализа показали, что преобладающими оксидами в составе ЗШО Новочеркасской ГРЭС являются SiO_2, Al_2O, наличие которых свидетельствует о том, что материал относится к алюмосиликатам и может быть использован для получения стеклозолошлакоэмалей.

В качестве исходной стеклоэмали для эмалирования трубопроводов нефтегазовой промышленности был выбран многокомпонентный натриево-боросиликатный состав с высоким содержанием оксида железа на основании ранее проведенных исследований [13, 17]. Несмотря на относительно низкий класс химической стойкости (Д), данный состав обладает ряд преимуществ: низкие температуры варки эмали (900-1050°С) и обжига покрытий (750-770°С), а также малыми углами смачивания (менее 90°) и поверхностным натяжением (270 mH/m), тем самым обеспечивая оптимальное сочетание эксплуатационных характеристик. Благодаря низким температурам обработки существенно снижается энергоемкость производственного процесса и исключается риск термической деформации металлических труб. Малые углы смачивания и оптимальное поверхностное натяжение гарантируют достаточную адгезию к металлической поверхности, равномерное распределение эмали и формирование целостного защитного слоя без дефектов.

На основе химического состава было решено вводить ЗШО Новочеркасской ГРЭС в стеклоэмаль в различных процентных соотношениях: 0А- без добавления золошлакового отхода, 1А – 5 %, 2А – 10 %, 3А –15 % и 4А – 20 % добавление золошлаковых отходов сверх 100 массовых частей.

Химические составы синтезированных стеклозолошлакоэмалей пересчитанные на 100 % приведены в табл. 2. Для проведения варки стеклозолошлакоэмалей использовали шамотные тигли устанавливали в высокотемпературную элеваторную печь ТК.4.1600.Э.ДМ.1Ф с дисилицид молибденовыми нагревателями. Температура варки стеклозолошлакоэмалей составов 0А и 1А составила 1200 ºС, а для составов 2А, 3А и 4А составила 1300-1350 ºС.

Таблица 2

Химический состав разработанных стеклошлакоэмалей

№ по порядку	Химический состав, % (по массе)															∑ по массе, %
	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	Na_2O	K_2O	Li_2O	CaO	SrO	TiO_2	BaO	CaF_2	Fe_2O_3	Co_2O_3	MgO/ MnO_2	SO_3	
0 А	35,60	1,20	15,50	15,60	0,70	2,30	3,20	3,10	1,40	2,50	2,90	8,10	1,20	-/6,70	-	100,00
1 А	36,47	2,17	14,73	14,87	0,85	2,19	3,23	2,95	1,36	2,38	2,76	8,40	1,14	0,08/ 6,37	0,07	100.00
2 А	37,34	3,14	13,95	14,14	1,00	2,07	3,25	2,79	1,33	2,25	2,61	8,71	1,08	0,16/6,03	0,15	100,00
3 А	38,21	4,12	13,18	13,41	1,15	1,96	3,28	2,64	1,29	2,13	2,47	9,02	1,02	0,24/5,70	0,22	100,00
4 А	39,08	5,09	12,40	12,68	1,30	1,84	3,30	2,48	1,26	2,00	2,32	9,32	0,96	0,33/5,36	0,29	100,00

Провар определяем пробой на нить, формируя ее опусканием стержня из нержавеющей стали в стекломассу и последующим вытягиванием.

Охлаждение и грануляцию жидкотекучего расплава проводили по "мокрому" способу согласно ГОСТу Р 52569–2018 «Фритты. Технические условия», затем фритту высушивали в сушильном шкафу при температуре не более 100 °С до влажности не более 3%.

Далее для исследования прочности сцепления стеклозолошлакоэмали подготавливались стальные основы марки Ст 20 размером 59×59 мм, которые предварительно подвергалась химической обработке (обезжиривание, промывка, травление, промывка, нейтрализация и сушка) с целью удаления поверхностных загрязнений различного характера (жиры, окалина, грязь и т.д.).

Порошки фритт наносили на металлическую основу мокрым способом в виде водной шликер-ной суспензии с влажностью 40 % и толщиной 200-300 мкм, далее высушивались при температуре 105–110 °С в течение 10-15 мин и обжигались в предварительно нагретой электрической муфельной печи при температурах 770-900 °С.

Далее, провели определение прочности сцепления стеклокристаллического эмалевого покрытия со стальной основой. Устройство для определения прочности сцепления конструкции ЛЭЭМ НПИ состоит из комплекта приспособлений для ступенчатой вытяжки образцов с покрытиями и собственно устройства для измерения относительной величины поверхности металла, потерявшей сцепляющий слой. Главным рабочим элементом для измерения относительной величины обнаженного металла является головка-датчик, содержащая 129 игл-зондов с пружинами. Количество игл-зондов, входящих в электрический контакт с металлической основой образца при испытании, практически пропорционально величине поверхности, лишенной покрытия со сцепляющим слоем. Каждая игла при вхождении в контакт с металлом включает в цепь соединенный с ней резистор постоянного сопротивления. Чем большая поверхность образца лишена сцепляющего слоя, тем большее количество резисторов постоянного сопротивления будет включено в электрическую цепь и, следовательно, большим будет ток в цепи, что соответствует более низкой прочности сцепления покрытия с металлом. В зависимости от силы тока находят число игл, входящих в контакт с металлом (рис.1).

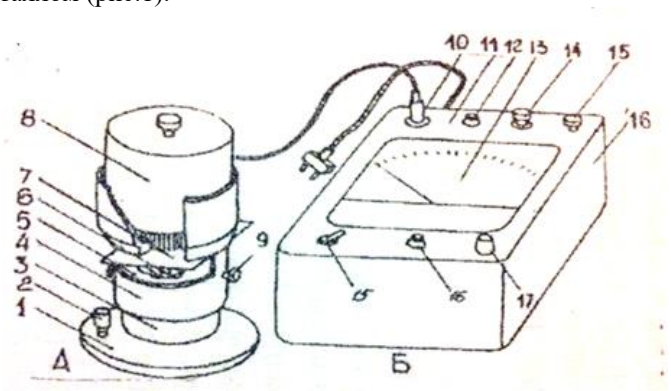

Рис. 1. Схема общего вида устройства для измерения площади S разрушенной поверхности покрытия

Блок состоит из основания 1 со стойкой 3 и способной перемещаться вдоль собственной оси втулки 4, имеющей окно 5 для установки испытуемого образца 7. Последний центруется выемкой в стойке 3, упором 6 и втулкой 4 посредством перемещения последней вниз с последующей фиксацией ее положения винтами 9.

Прочность сцепления покрытия оценивали индексом (Н, %) сцепления, т.е. относительной величиной поверхности, сохранивший сцепляющий слой:

$$H=100-S, \quad (1)$$

где S – отношение силы тока в цепи при наложении датчика на образец с выштампованной лункой к силе тока в цепи при наложении датчика на стандартный образец без покрытия, %.

Контроль химической стойкости – важная операция в процессе производства эмалированных изделий, т.к. эмале-

вые покрытия под действием различных реагентов постепенно разрушаются. Внешне это проявляется в потере блеска, затем изделие становится матовым, шероховатым. В данной работе были проведены исследования химической и коррозионной стойкости.

Химическая стойкость определялась методом – проба пятном. С помощью данного метода быстро и качественно определить химическую стойкость исследуемых стеклозолошлакоэмалевых покрытий. На хорошо очищенное покрытие при комнатной температуре наносим каплю свежеприготовленного 10 %-го раствора лимонной кислоты. Через 15 мин каплю смываем. Класс стойкости определяем визуально в отраженном свете по характеру изменения поверхности покрытия под каплей.

Коррозионная стойкость проводилась с помощью капельного метода. Испытуемые участки протираем ватным тампоном, смоченным этиловым спиртом. После испарения спирта эти участки обводим восковым карандашом и смачиваем 0,4 мл 6 %-м раствором уксусной кислоты. Через 1 мин образцы тщательно промываем водой и сушим салфеткой. Оценку результатов проводим немедленно после испытания.

Результаты и их обсуждение

Результаты определение прочности сцепления в системе стеклозолошлакоэмаль-металл представлены на рис. 2.

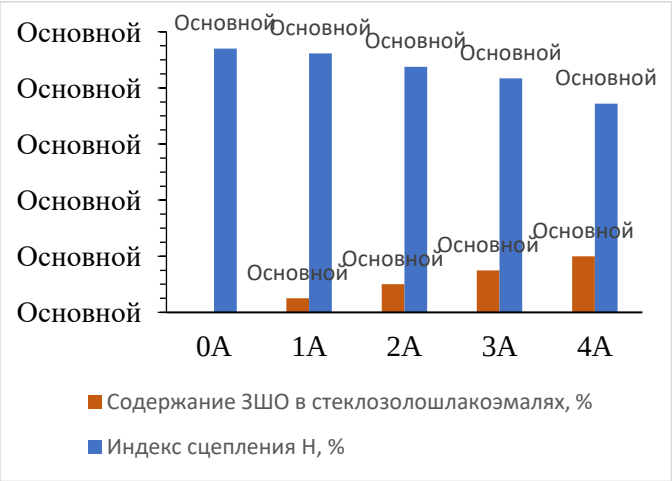

Рис. 2. Зависимость прочности сцепления стеклошлакоэмали со сталью от ее состава

Анализ исследований показал, покрытие серии 0А без ЗШО обладает лучшим индексом сцепления. При увеличении содержания золошлака в стеклоэмали (5-20%) происходит постепенное снижение прочности сцепления. Это связано с уменьшением количества оксида кобальта в структуре покрытия, что негативно влияет на формирование прочного соединения между эмалью и металлической основой.

Известно, что индекс сцепления стеклоэмали с металлической основой должен составлять не менее 80 %. В связи с этим составы 1А, 2А и 3А удовлетворяют требованиям, а 4А является не пригодным. При этом для снижения себестоимости производства стеклоэмалевых покрытий необходимо, чтобы в состав сырьевой смеси входило как можно большее количество отходов. Поэтому оптимальным составом является 3А с использованием 15 % золошлаковых отходов, который обладает индексом сцепления 83,4 %.

Результаты определение химической и коррозионной стойкости стеклозолошлакоэмалевых покрытий на стальных образцах приставлены в табл. 3.

Таблица 3

Химическая и коррозионная стойкость исследуемых образцов

№ состава	Класс стойкости	
	химической	коррозионной
0А	Д	А
1А	С	А
2А	А	А
3А	АА	АА
4А	АА	АА

* АА – не обнаружено каких-либо изменений; А – заметно слабое потускнение; при штриховке карандашом не обнаруживается граница пятна; В – заметное потускнение; при штриховке пятна карандашом обнаруживается граница пятна; штриховка стирается сухой тканью; С – то же, но штриховка стирается лишь влажной тканью; Д – грубая матовость.

Как видно из табл. 3 составы 0А (без содержания золошлака) и 1А (содержанием его в количестве 5%) химически нестойки к воздействию кислот, но введение большего количества золошлака (10-20%) в состав стеклоэмали ведет за собой улучшение химической и коррозионной стойкости покрытий стеклозолошлакоэмалей. Это объясняется тем, что на увеличение химической и коррозионной стойкости стеклоэмалевого покрытия влияет оксид алюминия (Al_2O_3), содержащийся в составе ЗШО. При соотношениях $Me_2O/Al_2O_3>1$ A^{3+} присутствует в тетраэдрическом окружении. Как и в кристаллических силикатах, тетраэдрические группировки алюминия могут наравне с тетраэдрами SiO_4 участвовать в построении структурного каркаса стеклоэмали. В результате образуется смешанная алюмокислородная сетка, где тетраэдры алюминия и кремния совместно создают прочный каркас, повышая химическую и коррозионную стойкость [18].

При содержании менее 4 % Al_2O_3 в составе золошлакоэмалевого покрытия (составы 0А, 1А и 2А) количество тетраэдрических группировок алюминия недостаточно для создания максимально прочной структуры каркаса, что отражается на показателе класса химической стойкости. При концентрации более 4 % (3А и 4А) образуется наиболее устойчивая смешанная алюмокислородная сетка, где тетраэдры алюминия и кремния создают единый прочный каркас с максимальной плотностью связей, при этом класс химической стойкости повышается до АА.

Анализируя результаты исследования, можно сделать вывод, что наилучшем составом является 3А с добавление 15 % золошлака Новочеркасской ГРЭС, поскольку обладает оптимальной прочностью сцепления Н – 83,4 % и высокой химической (класс стойкости АА) и коррозионной (класс стойкости АА) стойкостью к действию кислот.

Заключение (Выводы)

В данной работе проведено исследование способов утилизации золошлаковых отходов теплоэлектростанций при синтезе аморфизированных неорганических покрытий для стальных трубопроводов. Разработаны составы стеклозолошлаковых покрытий для защиты стальных трубопроводов нефтегазовой отрасли.

В результате данной работы установлено что оптимальным является состав 3А с содержанием золошлака 15 %. При таком процентном содержании золошлакашлака стеклошлакоэмаль обладает достаточно высокой прочностью сцепления Н – 83,4 %.

При исследования химической и коррозионной стойкости установлено что состав А3, обладает наилучшим свойствами так как после испытания на его поверхности не обнаружено никаких признаков воздействия кислоты, что подтверждает наименьшая потеря массы, также поверхность покрытия не потеряла блеск, цвет, и никаких дефектов не обнаружено.

Состав 3А отвечает всем предъявляемым требованиям, а именно: имеет прочное сцепление с металлом и является химически и коррозионностойким покрытием для защиты стальных трубопроводов.

Литература

1. Дубнов П.Ю. Экологические проблемы на пороге XXI века // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – Т.2, № 2. – С. 181-229.

2. Ковальчук О.А. Основные насосы, применяемые на ТЭС. Их характеристика и предназначение / О.А. Ковальчук, Е.А. Иссарь, Е.В. Пронкевич // Актуальные проблемы энергетики. – 2024. – С. 469-473.

3. Панишев Н.В. Перспективы утилизации хвостов углеобогащения и твердых отходов тепловых электростанций / Н.В. Панишев, В.А. Бигеев, Е.С. Галиулина // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – №. 2(17). – С. 69-77.

4. Хаглеев Е.П. Золошлакоотвалы годичного регулирования дифференцированных потоков золы и шлака угольных ТЭС / Е.П. Хаглеев //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, №. 7-8. – С. 21-32.

5. Bespolitov D.V. Influence of mechanoactivation of fly ash on the strength of ground concretes based on production waste / D.V. Bespolitov, N.A. Konovalova, O.N. Dabizha, P.P. Pankov // Ecology & Industry of Russia. – 2021. – Vol. 25, no. 11. – 18160395-2021.

6. Ryabov Y.V. Methods for beneficiation of ash and slag waste from coal-fired thermal power plants and ways for their commercial use (a review) / Y.V. Ryabov, L.M. Delitsyn, N.N. Ezhova, S.V. Sudareva // Thermal Engineering. – 2019. – Vol. 66. – P. 149-168.

7. Черенцова А.А. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья / А.А. Черенцова, С.М. Олесик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 3. – С. 230-243.

8. Чибышев А.С. Полезные отходы угольной энергетики: перспективы повторного использования отработанного сырья угольных станций // Уральская горная школа-регионам. – Екатеринбург, 2018. – С. 279-280.

9. Ватин Н.И. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н.И. Ватин, Д.В. Петросов, А.И. Калачев, П. Лахтинен // Magazine of Civil Engineering. – 2011. – № 4. – С. 16-21.

10. Скрипникова Н.К. Комплексное использование золошлаковых отходов Томской области для получения различных видов строительных материалов / Н.К. Скрипникова, И.Ю. Юрьев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 245-249.

11. Дружинин Д.К. Использование золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики и стеклобоя при получении пеностекол различного функционального назначения / Д.К. Дружинин, Д.Р. Дамдинова, П.К. Хардаев, Н.Н. Анчилоев, Э.А. Оксахоева // Инновационные технологии в науке и образовании. – 2017. – С. 39-46.

12. Яценко Е.А. Синтез теплоизоляционных материалов на основе шлаковых отходов ТЭС / Е.А. Яценко, В.А. Рытченкова, О.С. Красникова, А.В. Рябова, Н.Н. Ефимов, А.С. Косарев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 59-62.

13. Корольков В.В. Разработка ресурсосберегающей технологии защитных эмалевых покрытий с использованием отходов топливно-энергетического комплекса / В.В. Корольков, А.В. Рябова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2013. – № 3 (172). – С. 83-86.

14. Рябова А.В. Модифицированное защитное коррозионностойкое стеклоэмалевое покрытие для стальных трубопроводов / А.В. Рябова, В.А. Гузий, Т.А. Еськова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (170). – С. 106-108.

15. Анциферов С.А. Анализ влияния внутренней коррозии на эксплуатацию трубопроводов // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 6 (49). – С. 5-10.

16. Krylov D.A. Radioactivity of coals and ash and slag wastes at coal-fired thermal power plants / D.A. Krylov, G.P. Sidorova // Therm. Eng. – 2013. – Vol. 60. – P. 239-243.

17. Брагина Л.Л. Технология эмали и защитных покрытий. – Новочеркасск, 2003. – 484 с.

18. Боровой В.Ю. Разработка состава эмалевого покрытия с заданными характеристиками // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного симпозиума имени академика МА Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 6-10 апреля 2020 г. Т. 2. – Томск, 2020.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250314

Utilization of Ash and Slag Waste from Thermal Power Plants in the Synthesis of Amorphized Inorganic Coatings for Steel Pipelines

Yatsenko E.A., Kurdashov V.M., Klimova L.V., Timofeeva A.A., Prudan S.F.
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
Novocherkassk, Russian Federation
viktorkurdashov@yandex.ru

Abstract. **The article considers the urgent problem of utilization of ash and slag waste (ASW) of thermal power plants by means of their application in production of amorphized inorganic coatings for protection of steel pipelines. The research is aimed at development of new compositions of glass ash and slag coatings using wastes of Novocherkassk State District Power Plant. Analysis of chemical composition of ASW was carried out, their safety according to radiation indicators was established. Experimental compositions of glass ash and slag enamels with different ASW content (from 5 to 20%) were developed. In the course of the research, optimal technological parameters for obtaining coatings were determined, including boiling and firing temperature. It was established that the best operational characteristics are possessed by composition with 15% ash and slag content, which demonstrates high adhesion strength (83.4%) and excellent chemical and corrosion resistance. The obtained results open up prospects for efficient use of ASW in production of protective coatings for pipeline transport.**

Keywords: Glass ash and slag enamels, ash and slag waste, adhesion strength, chemical and corrosion resistance and modifying additives.

Библиографическое описание статьи

Яценко Е.А. Утилизация золошлаковых отходов теплоэлектростанций при синтезе аморфизированных неорганических покрытий для стальных трубопроводов / Е.А. Яценко, В.М. Курдашов, Л.В. Климова, А.А. Тимофеева, С.Ф. Прудан // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2025. – Т.12, №3. – С. 86-91. DOI: 10.24892/RIJIE/20250314

Reference to article

Yatsenko E.A., Kurdashov V.M., Klimova L.V., Timofeeva A.A., Prudan S.F. Utilization of ash and slag waste from thermal power plants in the synthesis of amorphized inorganic coatings for steel pipelines, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2025, vol.12, no.3, pp. 86-91. DOI: 10.24892/RIJIE/20250314
