

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 661.971

**Возможности улавливания диоксида углерода
шлаками мусоросжигательных заводов в газовых
средах****К.А. Воробьев^{a, b}**^a ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов, г. Москва^b ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва.

E-mail: k.vorobyev98@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 25 июня 2023 г.)

В данной статье рассматриваются возможности улавливания диоксида углерода шлаками мусоросжигательных заводов в газовых средах с использованием специально разработанной лабораторной установки. Тема исследования связана с возможностями использования шлаков мусоросжигательных заводов для снижения углеродсодержащих выбросов.

Ключевые слова: *шлаки, улавливание углерода, диоксид углерода, выбросы, лабораторная установка, потенциал, экспериментальное исследование.*

DOI: 10.17072/psu.geol.22.3.275

Введение

В современном обществе проблема антропогенного влияния на окружающую среду является одним из наиболее актуальных глобальных вызовов. В частности, проблема выбросов углерода и его влияния на изменение климата привлекает все большее внимание. Для сокращения углеродсодержащих выбросов требуются инновационные и эффективные решения (Воробьев, Щерба, 2021).

Одним из потенциальных источников сокращения выбросов углерода являются шлаки мусоросжигательных заводов. Шлаки, образующиеся в процессе сжигания мусора, содержат значительное количество углерода и могут быть использованы для улавливания диоксида углерода из газовых сред. Таким образом, возникает необходимость изучения возможностей использования шлаков мусоросжигательных заводов в качестве среды для улавливания углерода и снижения выбросов (Салаватов и др., 2021).

Основной целью статьи является изучение скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах и определение возможности и эффективности использования шлаков для снижения углеродсодержащих выбросов. Для достижения этой цели была предложена лабораторная установка, которая позволяет проводить эксперименты с различными образцами шлаков и газовыми средами.

В статье представлен подробный обзор существующих работ по использованию шлаков мусоросжигательных заводов для снижения выбросов, а также приведено описание лабораторной установки и методики проведения эксперимента.

Создание лабораторной установки имеет значимость как для научного сообщества, так и для практических применений. Предлагаемые методы и решения могут быть использованы в промышленности для снижения выбросов углерода и улучшения экологической обстановки. Также данное исследо-

вание предоставляет новые научные данные и вносит вклад в развитие области улавливания углерода.

Теоретический обзор

Использование шлаков, полученных при сжигании ТКО на мусоросжигательных заводах, является одним из основных способов утилизации отходов и производства энергии. В процессе сжигания мусора на мусоросжигательных заводах образуются шлаки, которые представляют собой остатки сгоревшего мусора и содержат различные компоненты, включая углерод. Использование шлаков мусоросжигательных заводов для снижения углеродсодержащих выбросов представляет собой одну из возможностей экологически обоснованной утилизации этих отходов.

Углерод, входящий в состав шлаков, является эффективным веществом для улавливания диоксида углерода (CO₂) из газовых сред. Поскольку диоксид углерода является основным веществом, влияющим на глобальное потепление, снижение его выбросов является важной задачей с точки зрения смягчения изменения климата.

В июле 2022 г. были внесены изменения в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и приняты отдельные законодательные акты. Основные изменения коснулись терминологии:

– вторичные ресурсы, отходы или части которых могут быть повторно использованы для производства товаров, выполнения работ, оказания услуг или получения энергии и которые получены в результате раздельного накопления, сбора или обработки отходов, а также образованы в процессе производства;

– вторичное сырье – продукция, полученная из вторичных ресурсов непосредственно (без обработки) или в соответствии с технологическими процессами, методами и способами, предусмотренными документами в области стандартизации РФ, которая может использоваться в производстве другой продукции и (или) иной хозяйственной деятельности.

В среднем по России по состоянию на 2021 г. за вывоз одного куб. м отходов плата составляет 500 рублей. Семья из 4 человек в месяц будет платить 400 рублей за вывоз ТКО. Вывоз отходов осуществляют частные

региональные операторы, а назначение тарифов за вывоз осуществляется органами исполнительной власти субъектов.

ГУП «Экотехпром» – предприятие по переработке и утилизации твердых бытовых отходов, которое было создано в соответствии с Постановлением Правительства Москвы № 604 от 29 июня 1993 г. Оно является крупнейшим и первым в России постановлением, которое выполняет полный комплекс работ по санитарной очистке города от ТКО. ГУП «Экотехпром» осуществляет сбор, транспортировку, селективную сортировку и термическое обезвреживание муниципальных ТКО, а также биологических и медицинских отходов. Оно также предоставляет информационные и консультативные услуги в сфере обращения с отходами. Проблема утилизации ТКО была определена Правительством Москвы как приоритетная в части развития городского хозяйства в связи с увеличением количества населения и, как следствие, количества бытовых отходов.

ГУП «Экотехпром» расширяется за счет строительства и реконструкции объектов по переработке отходов в Москве. В 2008 г. предприятия «Спецтранс», «МиСАТ», «Спецавтобаза», «Котляково» и «Руднево» вывезли более 550 тыс. тонн отходов. На крупнейшей в России мусоросортировочной станции «Котляково», которая работает с 2005 г., было переработано более 380 тыс. тонн отходов в 2008 г. В Москве интенсивно развивается термическое обезвреживание отходов с получением энергии из-за острой нехватки площадей для размещения полигонов, а первый мусоросжигательный завод был запущен в Москве в 1975 г.

В настоящее время в Москве также функционирует мусоросжигательный завод № 4, который был введен в эксплуатацию в 2003 г. на территории промзоны «Руднево» Восточного административного округа. Мощность завода по приему бытовых отходов составляет 250 тыс. тонн в год. Шесть ступеней очистки отходных газов и система газоочистки, установленная на заводе, соблюдают стандарты Европы в отношении термического обезвреживания и очистки дымовых газов. Несмотря на то, что депонирование отходов на полигонах в Московской области по-прежнему является основным

способом обезвреживания, использование термического обезвреживания продолжает быстро развиваться в городе. Это связано с необходимостью удовлетворения экологических требований и ограничений на размещение полигонов в городской местности.

ГУП «Экотехпром» следит за экологической безопасностью всех своих объектов, включая мусоросжигательные заводы, с помощью собственных экологов и городских служб. Эксплуатация мусоросжигательных заводов помогает уменьшить количество мусоровозов, использование топлива и загруженность дорог, а также освободить землю подмосковья для других целей. Для сокращения затрат на санитарную очистку города применяются станции перегрузки мусора (СПМ), первая из которых была построена в 1995 г. в Северном административном округе. Объем вывозимого мусора на полигоны через сеть СПМ составил 1,2 млн тонн в 2008 г. В составе ГУП «Экотехпром» также есть ветеринарно-санитарный завод, который безопасно обезвреживает биологические и медицинские отходы на двух полигонах. Мусоросжигательные заводы, наподобие того, что есть в Москве, являются типовыми для термической обработки ТКО. Их основной задачей является безопасность в экологическом плане при обезвреживании ТКО и выработке тепловой и электрической энергии.

Такие мусоросжигательные заводы, включая тот, что находится на территории ГУП «Экотехпром», являются важным элементом системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Они позволяют сократить объем отходов, уменьшить риск загрязнения окружающей среды, значительно снизить необходимость в мусоровозах и повысить эффективность использования ресурсов. Кроме того, такие заводы могут работать на автономных источниках энергии, что позволяет снижать зависимость от централизованного электроснабжения, что в свою очередь снижает риск аварий и отключений в электрической сети в периоды повышенного потребления. Все это важно для обеспечения экологической безопасности и поддержания чистоты городской среды.

Кроме того, эксплуатация мусоросжигательных заводов внесла свой вклад в экономическое развитие региона. Завод ГУП

«Экотехпром» регулярно производит тепловую и электрическую энергию, которая используется для обеспечения потребностей не только собственных нужд, но и других предприятий и населения. Таким образом, мусоросжигательный завод является не только экологически, но и экономически выгодным ресурсом для города и его жителей.

В то же время необходимо заметить, что ряд экологических организаций и жителей городов проявляют недовольство и опасения по поводу использования мусоросжигательных заводов, ссылаясь на возможные негативные последствия их работы на окружающую среду и здоровье людей. Поэтому важно продолжать мониторинг и улучшать технологии работы заводов для минимизации негативных эффектов и обеспечения максимальной безопасности.

Каждый год составляется план природоохранных мероприятий, включающий строительство, ремонт и модернизацию оборудования для обеспечения бесперебойной и надежной работы полигонов и соблюдения требований природоохранного законодательства. В настоящее время продолжается переходный период к новой системе обращения с отходами, которая включает в себя раздельный сбор отходов, запрет на захоронение отходов, пригодных к вторичной переработке, и другие меры. Для осуществления этих мер вносятся соответствующие изменения в законодательство на федеральном и региональном уровнях, а также разрабатываются программы развития с целевыми показателями и территориальные схемы обращения с отходами.

Вместе с тем необходимо учитывать, что переход к новой системе обращения с отходами является сложным и длительным процессом, который требует значительных изменений в инфраструктуре и поведении граждан. Необходимо проводить широкую работу по информированию населения о правильном раздельном сборе отходов, а также о последствиях неправильного выброса мусора.

Одним из основных методов улавливания диоксида углерода является его физическое или химическое взаимодействие с углеродсодержащими материалами. Шлаки мусоросжигательных заводов, содержащие значи-

тельное количество углерода, могут служить такими материалами для улавливания CO_2 из различных газовых сред.

Для проведения исследования скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах была предложена лабораторная установка. Главными компонентами установки являются герметичная камера, баллон с диоксидом углерода, редуктор, гиб-

кий рукав, химический газоанализатор, бытовой вентилятор, образцы шлаков, чаша с насыщенным раствором поваренной соли и система тихоходных вентиляторов. Пульт управления автоматическим газоанализатором ОКА-Т- CO_2 позволяет контролировать процесс улавливания диоксида углерода во время эксперимента.

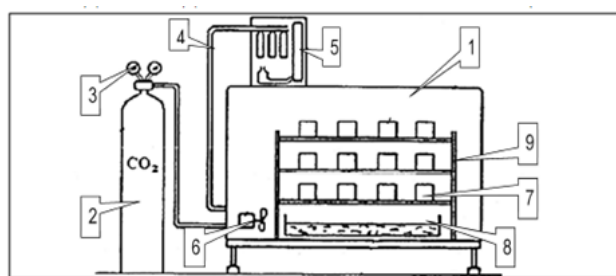


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах: 1 – герметичная камера; 2 – баллон с CO_2 ; 3 – редуктор; 4 – гибкий рукав; 5 – химический газоанализатор; 6 – бытовой вентилятор; 7 – образцы; 8 – чаша с насыщенным раствором поваренной соли; 9 – стеллаж; 10 – U-образная трубка; 11 – пульт управления автоматическим газоанализатором ОКА-Т- CO_2 ; 12 – датчик автоматического газоанализатора, установленный внутри камеры; 13 – система тихоходных вентиляторов; 14 – решетка для установки образцов

После проведения эксперимента и получения результатов будет произведен анализ скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах. Основываясь на полученных данных, мы сможем сделать выводы о возможности использования шлаков мусоросжигательных заводов в качестве среды для снижения углеродсодержащих выбросов и внести вклад в разработку эффективных методов утилизации отходов и снижения выбросов CO_2 .

Представленный теоретический обзор позволяет лучше понять физико-химические основы процесса улавливания диоксида углерода шлаками и его потенциал для снижения выбросов углерода в газовые среды.

Методика исследования

Методика исследования будет состоять из 3 основных этапов:

1. Подготовка лабораторной установки (необходима для обеспечения правильного функционирования и безопасной работы всех компонентов, а также для создания оптимальных условий для проведения экспе-

риментальных исследований: включает монтаж, проверку, настройку приборов и обеспечение безопасности в лабораторной области):

- установка герметичной камеры на стеллаже;
- подключение редуктора к баллону с диоксидом углерода;
- подключение гибкого рукава от редуктора к камере для подачи газа;
- установка химического газоанализатора и датчика автоматического газоанализатора внутри камеры;
- расстановка образцов шлаков на решетке внутри камеры.

2. Проведение эксперимента (необходимо для получения конкретных данных и информации, которые позволят проверить гипотезу, подтвердить или опровергнуть предположения, а также для получения объективных результатов и выводов на основе наблюдений и измерений; позволяет проверять и уточнять научные теории, разрабатывать новые методы и технологии, а также обогащать исследовательскую базу для

дальнейших исследований и развития научных областей):

- заполнение чаши с насыщенным раствором поваренной соли;
- включение пульта управления автоматическим газоанализатором ОКА-Т-СО₂;
- включение системы тихоходных вентиляторов для обеспечения перемешивания газов в камере;
- прогон газа через гибкий рукав в камеру на протяжении определенного времени;
- запуск химического газоанализатора для контроля концентрации СО₂ в камере в процессе эксперимента;
- регистрация данных скорости и эффективности улавливания СО₂ шлаками в газовых средах.

3. Анализ и обработка результатов (необходимы для выявления закономерностей, связей и выводов на основе полученных данных из эксперимента или исследования; процесс включает в себя статистический анализ данных, визуализацию результатов, интерпретацию их значимости и объяснение обнаруженных явлений, что позволяет сформулировать выводы и сделать научные заключения; являются неотъемлемой частью научных исследований и помогают расширить наше понимание изучаемого явления или проблемы):

- обработка и анализ данных, полученных от химического газоанализатора;
- определение скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах;
- сравнение результатов для различных образцов шлаков и различных условий эксперимента;
- вычисление эффективности улавливания СО₂ шлаками на основе полученных данных;
- статистический анализ и интерпретация результатов.

Методика исследования может быть уточнена в соответствии с конкретными требованиями и целями исследования. Проведение контрольных экспериментов, учет возможных факторов влияния на результаты, проведение повторных измерений и другие

методы контроля и анализа помогут убедиться в достоверности результатов и получить более полную и объективную оценку возможностей использования шлаков мусоросжигательных заводов для снижения углеродсодержащих выбросов.

Экспериментальное исследование

Экспериментальное исследование по данной тематике имеет несколько целей: исследование позволяет изучить, насколько эффективно шлаки мусоросжигательных заводов могут улавливать и удерживать углерод. Это важно для оценки потенциала использования таких шлаков в качестве материала с низким содержанием углерода или для снижения выбросов в атмосферу, а также позволит оценить влияние различных факторов (например состав шлаков, условия экспозиции и температуры) на эффективность улавливания углерода; это позволит оптимизировать процесс и определить оптимальные условия использования шлаков для снижения углеродсодержащих выбросов. Экспериментальное исследование будет состоять из 6 основных этапов:

1. Подготовка образцов шлаков (необходима для проведения анализа и испытаний, чтобы изучить их состав, свойства и потенциал использования):

- сбор образцов шлаков с мусоросжигательных заводов;
- очистка и сортировка образцов;
- измельчение шлаков до необходимого размера частиц.

2. Подготовка камеры и образцов (необходима для обеспечения правильных условий эксперимента и получения надежных результатов, включая настройку оборудования, установку образцов и создание контролируемой среды для их исследования):

- подготовка герметичной камеры для проведения эксперимента;
- установка решетки внутри камеры для размещения образцов шлаков;
- размещение чаши с насыщенным раствором поваренной соли в камере.

3. Установка образцов и начало эксперимента (необходимы для начала сбора данных и проведения исследования, позволяя проверить гипотезы, получить результаты измерений и наблюдений, а также получить информацию, которая поможет в достижении поставленных целей и получении выводов):

- размещение образцов шлаков на решетке внутри камеры;
- запуск системы тихоходных вентиляторов для обеспечения перемешивания газов в камере;
- получение базовых данных на химическом газоанализаторе для определения начальной концентрации диоксида углерода в камере;
- запуск установки и начало подачи диоксида углерода в камеру через гибкий рукав.

4. Мониторинг улавливания диоксида углерода (необходим для оценки эффективности и эффективности систем и технологий, используемых для снижения выбросов углерода, и для контроля над соблюдением регулирования и нормативных требований в отношении выбросов углерода в окружающую среду):

- регулярное измерение концентрации диоксида углерода в камере с помощью химического газоанализатора;
- регистрация данных скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах в течение определенного времени.

5. Завершение эксперимента (необходимо для анализа полученных данных, сделки выводов и оценки достижения поставленных целей, а также для подготовки заключительного отчета и распространения результатов исследования):

- прекращение подачи диоксида углерода в камеру;
- запись окончательных данных на химическом газоанализаторе для определения конечной концентрации диоксида углерода в камере;
- демонтаж образцов шлаков и очистка лабораторной установки.

6. Анализ и обработка результатов (необходимы для извлечения значимой информации из полученных данных, выявления закономерностей, определения статистической

значимости, проверки гипотез и формулировки выводов, которые помогут в понимании и интерпретации результатов исследования):

- обработка и анализ полученных данных о скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах;
- сравнение результатов для различных образцов шлаков и различных условий эксперимента;
- расчет эффективности улавливания CO₂ шлаками на основе полученных данных;
- статистический анализ и интерпретация результатов.

В данной методике не учтены возможные контрольные эксперименты и учет влияния различных факторов, таких как концентрация CO₂, давление, температура и длительность эксперимента на процесс улавливания. Детальная методика исследования должна быть разработана с учетом конкретных требований и целей исследования, а также с учетом возможных внешних факторов, которые могут влиять на результаты эксперимента.

Заключение

В данной статье была предложена работа по изучению возможностей использования шлаков мусоросжигательных заводов для снижения углеродсодержащих выбросов. Целью исследования было изучение скорости улавливания диоксида углерода шлаками в газовых средах и определение их потенциала для снижения выбросов углерода.

С помощью разрабатываемой лабораторной установки возможно проведение эксперимента, в ходе которого можно изучить скорость улавливания диоксида углерода различными образцами шлаков.

На основе анализа полученных данных можно будет подтвердить следующие выводы о том, что:

- шлаки мусоросжигательных заводов обладают способностью улавливать диоксид углерода из газовых сред;
- различные образцы шлаков демонстрируют разные скорости улавливания диоксида углерода, что указывает на важность выбора оптимального состава шлаков для достижения максимального эффекта улавливания;

- определенные условия эксперимента, такие как концентрация CO₂, давление, температура и длительность, могут оказывать влияние на скорость улавливания диоксида углерода.

Методика исследования позволит получить достоверные результаты, которые имеют практическую и научную значимость. Возможное применение шлаков мусоросжигательных заводов в качестве среды для улавливания углерода может способствовать снижению выбросов углерода и улучшению экологической обстановки.

Дальнейшие исследования в области использования шлаков мусоросжигательных заводов для снижения углеродсодержащих выбросов могут быть направлены на:

- оптимизацию состава шлаков с целью повышения их эффективности улавливания диоксида углерода;
- изучение влияния различных факторов на процесс улавливания, таких как концентрация CO₂, давление, температура и длительность эксперимента;
- масштабирование исследования на промышленном уровне для проверки применимости полученных результатов и разработка технологий улавливания углерода;

- расширение экономического и экологического анализа с целью оценки эффективности и жизнеспособности использования шлаков мусоросжигательных заводов в промышленных процессах.

Результаты представленного исследования открывают новые перспективы для использования шлаков мусоросжигательных заводов для улавливания углерода и снижения выбросов. Это может способствовать устойчивому развитию промышленности и содействовать достижению экологической устойчивости в контексте борьбы с изменением климата.

Библиографический список

Воробьев К.А., Щерба В.А. Диоксид углерода как химическое сырье // В сборнике: География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. Санкт-Петербург, 2021. С. 149–157.

Салаватов Т.Ш., Байрамова А.С.К., Воробьев К.А. Использование диоксида углерода в качестве химического сырья // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. № 2. С. 2.

Possibilities of the Carbon Dioxide Capture by Incinerator Slags in Gas Environment

К.А. Vorobyev^{a, b}

^a FGAOU VO RUDN University, 6 Miklukho-Maklay Str., 117198 Moscow, Russia

^b FGBUN Institute for Problems of Integrated Subsoil Development, Russian Academy of Sciences, 4 Kryukovskiy Str. (cul-de-sacs), 111020 Moscow, Russia. E-mail: k.vorobyev98@mail.ru

This article considers the possibilities of carbon dioxide capture by the incinerator slags in gas environment using a specially designed laboratory unit. The research is connected to possibilities of the incinerator plants slags using for reduction of carbon-containing emissions.

Key words: *slags, carbon capture, carbon dioxide, emission, laboratory installation, potential, experimental study.*

References

Vorobyev K.A., Shcherba V.A. 2021. Dioksid ugleroda kak khimicheskoe syryo [Carbon dioxide as a chemical raw material]. In: Geography: development of science and education. LXXIV Herzen readings. Eds. S.I. Bogdanov, D.A. Subetto, A.N. Paralina. St. Petersburg, pp. 149-157. (in Russian)

Salavatov T.Sh., Bayramova A.S.K., Vorobyev K.A. 2021. Ispolzovanie dioksida ugleroda v kachestve khimicheskogo syrya [Use of carbon dioxide as a chemical raw material]. Bulletin of Eurasian science. 13(2):2. (in Russian)