

сырья микронного размера остроугольной формы. Морфология микросфер, полученных по плазменной технологии схожа с зольными микросферами, полученными традиционным способом на тепловых электростанциях в камерных печах [6].

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что золошлаковые отходы являются перспективной сырьевой базой для получения микросфер с использованием энергии плазмы. Числено, показано, что пористость исходной частицы существенно влияет на динамику нагрева и может находиться в различных агрегатных состояниях в потоке плазмы с температурой 3200 К. В результате проведенных экспериментов, получены микросфер с насыпной плотностью 0.8 г/см<sup>3</sup>.

Литература.

1. Arkhipov V.A., Kozlov E.A., Zharova I.K., Titov S.S., Usanina A.S. Evolution of liquid-drop aerosol cloud in the atmosphere // *Arabian Journal of Geosciences. Special Issue. Dust. Vol. 9, Issue 2. 2016. 9:114.*
2. Solonenko O.P., Gulyaev I.P., Smirnov A.V. Thermal plasma processes for production of hollow spherical powders: Theory and experiment // *Journal of Thermal Science and Technology. 2011. Vol. 2 (6). P. 219-234.*
3. Dudina D.V., Zlobin S.B., Bulina N.V., Bychkov A.L., Korolyuk V.N., Ulianitsky V.Yu., Lomovsky O.I. Detonation spraying of TiO<sub>2</sub>-2.5 vol. % Ag powders in a reducing atmosphere // *Journal of the European Ceramic Society. 2012. Vol. 32. P. 815-821.*
4. Shekhovtsov V. V., Volokitin O. G., Kondratyuk A. A., Vitske R. E. Fly ash particles spheroidization using low temperature plasma energy. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 156 (2016).
5. Shekhovtsov V. V., Volokitin G. G., Skripnikova N. K., Volokitin O. G., Gafarov R. Plasma treatment of agglomerating aluminosilicate powders based on coal ash. AIP Conference Proceedings 1800, Issue 1 (2017).
6. Vassilev S. V. Menendez R., Diaz-Somoano M., Martinez-Tarazona M.R. Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 1. Characterization of feed coals and fly ashes // *Fuel vol. 82, no. 14, pp. 1793-1811, 2003.*

#### ТЕХНОЛОГИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

*С.В. Литовкин, ассистент каф. БЖДЭ и ФВ*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*НИ Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: Protoniy@yandex.ru*

*Аннотация:* Показана проблема использования каменного угля как источника тепловой и электрической энергии. Рассмотрена технология разделения, сбора и хранения углекислого газа, позволяющая снизить его выбросы и воздействие на окружающую среду.

Большинство людей (особенно в развитых странах и крупных городах) редко видит уголь, в результате чего может сложиться впечатление, что этот продукт, который иногда называют черным золотом, уже не используется и является пережитком прошлого (19-20 веков). Однако сегодня, благодаря использованию угля, генерируется порядка сорока процентов мировой электрической энергии. А электрическая энергия, это двигатель современной жизни. И использование угля в энергетике растёт.

Самым большим потребителем угля на планете является Китай. Более семидесяти пяти процентов электричества в Китае производится с использованием угля. Еще больше угля уходит на отопление миллионов домов, плавление стали (Китай производит почти половину мировой стали), обжиг известняка для производства цемента (Китай изготавливает почти половину цемента, производимого в мире).

Использование угля в качестве топлива, позволяет получать тепло и генерировать электроэнергию. В то же время его использование создает проблемы, наносит вред окружающей среде – загрязняет атмосферу вредными выбросами, а почву золой и шлаком. Но данные проблемы относятся не только к Китаю. Уголь используют во всем мире.

Страны по всему миру, включая европейские государства, не могут в одночасье прекратить использовать уголь. Германия, активно использующая солнечную и ветряную энергетику, не только получает половину своей энергии из угля, но также, в 2013, открыла больше угольных ТЭС, чем в любом другом году за последние два десятилетия. В Польше восемьдесят шесть процентов электри-

чества вырабатывается из угля. Южная Африка, Израиль, Австралия, Индонезия – зависят от угля. США, в какой-то степени, является исключением: доля угля в выработке электричества в Америке упала с сорока девяти процентов в 2007 году до тридцати девяти процентов в 2013, в огромной степени, из-за начала добычи сланцевого газа методом гидравлического разрыва пласта, который резко снизил цены на природный газ.

Сжигание угля наносит огромный ущерб окружающей среде. При сгорании угля выделяются сернистые и азотистые оксиды, различные летучие частицы (зола и пыль) и большое количество углекислого газа. Золошлаковые отходы успешно применяют в сфере строительных материалов. Очистка от газовых выбросов сложнее.

Углекислый газ оказывает огромное влияние на планету, его считаю главной причиной потепления климата. В связи с выбросами углекислого газа, в странах вводят квоты на выбросы, которые призваны уменьшить количество диоксида углерода.

Дальнейшее сжигание угля, в таких же количествах, требует создания технологии, которая позволит отделять углекислый газ и утилизировать его. На сегодняшний день перспективной технологией является CCS – carbon capture and storage (улавливание и хранение углерода).

Улавливание и хранение углерода – процесс, включающий отделение углекислого газа от промышленных и энергетических источников, транспортировку к месту хранения и долгосрочную изоляцию от атмосферы. Технология не утилизирует газ, а только закачивает его в хранилища, с возможностью в будущем использовать.

Для предприятий это хорошая возможность производить продукцию на том же уровне что и прежде, и даже выше не превышая квоты на выбросы. Главной целью улавливания и хранения диоксида углерода является борьба с глобальным потеплением, а также загрязнением окружающей среды. В сентябре 2016 года концентрация углекислого газа в атмосфере необратимо превысила значение в 400 ppm и продолжает увеличиваться.

Многие исследователи в области климата и энергетики полагают, что эта технология жизненно важна для предотвращения климатической катастрофы, так как она позволила бы всему миру продолжать сжигать углеводороды, одновременно резко снизив выбросы углекислого газа и сажи.

Прежде чем закачивать углерод в хранилища его необходимо отделить от продуктов сгорания. Наиболее разработанная техника для получения углерода из газовых выбросов известна как «аминовая очистка». Она включает в себя пропуск газа, выделяющегося при горении угля через раствор воды и моноэтаноламина (МЭА). МЭА – вязкая маслянистая жидкость (т.кип. 170 °С) со слабым аммиачным запахом, токсичен, смешивается с водой во всех отношениях. Водные растворы моноэтаноламина обладают щелочной реакцией и хорошо поглощают кислые газы (диоксид углерода, диоксид серы, сероводород, газообразные и летучие тиолы), регенерируя их при повышении температуры. Благодаря этому вещество используется в качестве абсорбента в различных процессах газоочистки и разделения газов.

При пропуске дымовых газов через МЭА образуется прочная связь с углекислым газом, отделяя его от других продуктов горения. Этот процесс создает новое химическое образование называемое «карбаминат МЭА» (растворенный в воде  $\text{CO}_2$  – слабая кислота (углекислота), а МЭА – слабая щелочь, реагируя образуется соль) Карбаминат МЭА вместе с водой закачивают в ректификационную колонну, где либо снижается давление, либо смесь подогревается. Тепло или расширение рабочего пространства за счет снижения давления дают обратную реакцию и распад карбамината МЭА на углекислый газ и МЭА. Углекислый газ и водяной пар вырываются наружу, готовые для хранения, а МЭА возвращается обратно для проведения реакции со следующей партией углекислого газа.

Схема угольной электростанции работающей по принципу сбора и хранения выбросов представлена на рисунке 1. Принцип её работы следующий:

В угольном котле 1 сгорает уголь и нагревается вода, которая превращаясь в пар, вращает электрогенератор паровой турбины 2. При этом в котле 1 образуются продукты сгорания угля, сажа и зола, а так же газовые выбросы. Газовые выбросы поступают на электрофильтр 3. В электрофильтре происходит очистка газа от твердых частиц (зола уноса), которые оседают на пластинах электрофильтра за счет электростатических сил. В газе так же присутствует двуокись серы, которая взаимодействуя с кислородом, окисляется до шестивалентной ( $\text{SO}_3$ ). В аппарате 4 происходит удаление оксида серы, путем пропускания газа через слой гашеной извести. В результате образуется гипс, который может использоваться как товарный продукт в строительной промышленности. Очищенные от оксида серы газы, все еще имеют высокую температуру, и их требуется охладить, до температуры при которой будет проходить наиболее эффективно реакция углекислого газа с моноэтаноламином.

Для этих целей используют охладитель 5. Охлажденный газ поступает в реактор (абсорбер) 6, где находится моноэтаноламин растворенный в воде. Взаимодействуя с углекислым газом происходит его поглощение (абсорбция), образуется раствор насыщенный углекислым газом. Очищенные от диоксида углерода топочные газы сбрасывают в атмосферу.

Насыщенный углекислым газом моноэтаноламин поступает на ректификационную колонну 7. В ректификационной колонне под действием температуры происходит разделение углекислого газа и моноэтаноламина. Регенерированный таким образом моноэтаноламин возвращается обратно в абсорбер 6 для дальнейшего использования. Полученный углекислый газ поступает на компрессор 8, где он сжимается до жидкого состояния и может транспортироваться по трубам. Далее газ может закачиваться в баллоны для продажи или под землю по трубам 9 для дальнейшего хранения.

Проблем с хранением сжатого углекислого газа под землей не возникает. Для хранения могут использоваться отработанные нефтяные, газовые месторождения или не рентабельные угольные пласты. Эти природные полости хорошо подходят в роли хранилища сжатого газа, где он может храниться тысячи лет.

Нефтяные месторождения представляют из себя два слоя породы. Нижний слой пористый, именно в нем и хранится нефть или газ, а верхний слой представляет собой газонепроницаемую породу. Нефтяные компании бурят газонепроницаемый слой и откачивают нефтепродукты. При хранении углекислого газа выполняют обратный процесс, через трубы закачивают углекислый газ под землю.

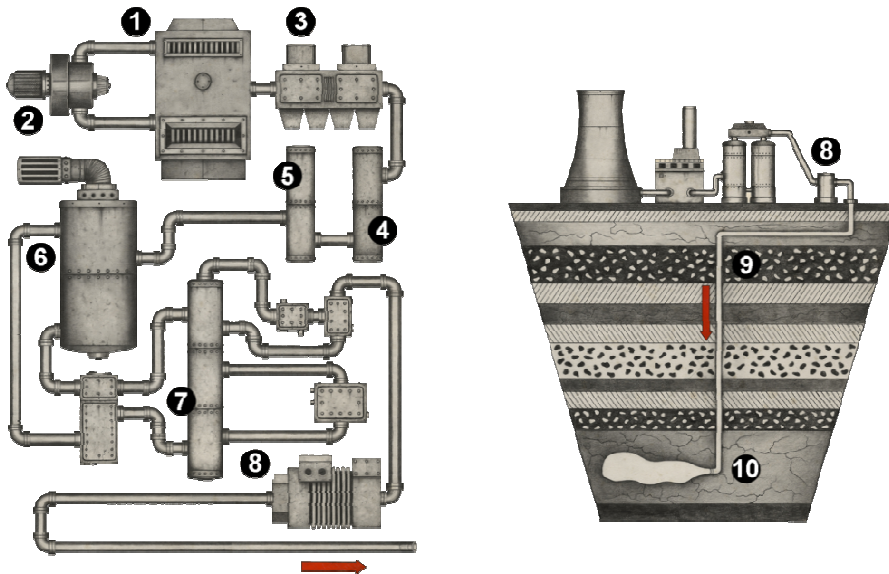


Рис. 1. – Схема очистки топочных газов от оксида углерода на угольной ТЭС

Технология улавливание и хранение углерода очень энергозатратная. Так как при работе крупной угольной станции образуется гигантское количество топочных газов. Требуется построить огромные емкости, башни с трубопроводами и вентиляцией. Используемые химические компоненты, а именно моноэтаноламин, ядовиты и активно реагируют с металлоконструкциями, вызывая их коррозию. Регенерация моноэтаноламина не происходит на 100% и требуется его восполнение. Ректификационная колонна для разделения компонентов требует постоянного подогрева.

В сумме из 100% полученной на электростанции энергии порядка 20-30% уйдет на процесс улавливания углерода. В реальности эта цифра может быть еще выше. В итоге получается что, улавливая углерод, требуется добывать еще больше угля и еще большее его количество сжигать в печах.

Литература.

1. Таир Юнусов, Возобновляемых источников не хватает. Чистый уголь – энергоноситель ближайшего будущего [Электронный ресурс] // URL: <https://geektimes.ru/post/217563/> Загл. с экрана. Дата обращения 06.10.16.
2. Charles C. Mann, Renewables aren't enough. Clean coal is the future [Электронный ресурс] // URL: <https://www.wired.com/2014/03/clean-coal/> Загл. с экрана. Дата обращения 06.10.16.

3. Улавливание и хранение углерода [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Улавливание\\_и\\_хранение\\_углерода](https://ru.wikipedia.org/wiki/Улавливание_и_хранение_углерода) Загл. с экрана. Дата обращения 27.03.17

**ОБЖИГОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

*Н.К. Скрипникова, д.т.н., проф., А.В. Луценко к.т.н., доц., В.А. Литвинова, к.т.н., доц.,  
М.А. Семеновых, студент.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,  
nks2003@mail.ru*

Аннотация: Проведены исследования по использованию золошлаковых отходов в производстве строительных керамических изделий. Определены физико-механические свойства лабораторных образцов керамического кирпича в зависимости от компонентного состава. Представлены результаты физико-химических исследований. Установлено, что использование зольных отходов ГРЭС-2 Томской области позволяет получать керамический кирпич с марочной прочностью до М250.

Abstract: This work presents the results research about use the ash for get ceramic product. There are presents characteristics of laboratory pattern the Ceramic product. The result exemplifies of the physico-chemical characteristics of the products of ceramic product. The ash Tomsk region can be used for producing ceramic product.

Промышленное производство стеновых материалов – керамического кирпича, все больше сталкивается с нехваткой доброкачественных сырьевых материалов, обеспечивающих выпуск продукции, отвечающей требованиям рынка.

Уровень утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) в России составляет около 4–5 %; в ряде развитых стран – около 50, во Франции и Германии – 70, а в Финляндии – около 90 их текущего выхода. В этих странах применяются в основном сухие золы, и проводится государственная политика, стимулирующая их использование. Так, в Польше резко повышена цена на землю под золоотвалы, поэтому ТЭЦ доплачивают потребителям с целью снизить собственные затраты на их складирование. В Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту зол [1].

На территории г. Томска на двух крупных золоотвалах тепловой электростанции ГРЭС-2 (ОАО ТГК-11), находящихся в долинах рек Ушайки и Малой Киргизки, на площади 77,5 га накоплено 3863,8 тыс. т. ЗШО, по состоянию на 01.01.2010 [2].

Известно большое количество исследований по использованию зол в строительстве [3, 4, 6, 8], но практическое применение носит лишь эпизодический характер. В связи с этим, не теряет актуальность обоснование использования ЗШО в производстве строительных материалов, особенно на региональном уровне.

Целью работы была оценка возможности применения ЗШО г. Томска, при получении таких строительных материалов, как керамический кирпич. Для этого в лабораторных условиях были проведены эксперименты по подбору рационального состава смеси сырьевых материалов.

Подготовка золы к использованию проходила в два этапа: подсушивание до воздушно-сухого состояния при температуре 50 °С и помол в шаровых мельницах.

Приготовление образцов керамического кирпича производили методом полусухого прессования с использованием глины Верхового месторождения Томской области со следующими технологическими характеристиками: формовочная влажность 10–12%, давление прессования 25 МПа, сушка 24 ч, температура обжига 950 °С [5, 7, 9]. Содержание золы в шихте изменялось от 10 до 100 % по массе.

Готовые образцы были подвергнуты физико-механическим испытаниям в соответствии с ГОСТ 530–2007 и ГОСТ 8462–85 с учетом масштабного фактора для одинарного полнотелого кирпича.

Установлено, что добавление ЗШО до 70 % позволяет получать керамический кирпич с прогнозируемой марочной прочностью М150, что позволяет его использовать при возведении перегородок в различных типах зданий и сооружений. Составы с золой до 50 % позволяют производить кирпич с прочностью М200, который можно использовать в качестве рядового при возведении несущих стен.

Основными исследованиями, описывающими физико-химические процессы, происходящие при обжиге керамических изделий, являются: рентгенофазовый анализ (РФА), позволяющий просле-