

изготовления ответственных изделий и конструкций, соответствующих нормативной документации для данного вида строительства.

Таким образом, использование техногенного сырья региона КМА в качестве заполнителя и компонента композиционных вяжущих, позволяет получить мелкозернистые бетоны для работ при отрицательных температурах и будет способствовать как удешевлению строительства, так и улучшению экологической ситуации в регионе.

Библиографический список

1. Lesovik R.V. Fine-grain concrete from mining waste for monolithic construction / Lesovik R.V., Ageeva M.S., Lesovik G.A., Sopin D.M., Kazlitina O.V., Mitrokhin A.A. / IOP Conference Series: Material Science in Mechanical Engineering. – Vol.11. - 2018. - 032028.
2. Лесовик В.С. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих / Лесовик В. С., Агеева М.С., Иванов А.В. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2011. – № 3. – С. 29 – 32.
3. Лесовик Р.В. Перспективы использования техногенного сырья для получения закладочных смесей / Лесовик Р.В., Агеева М.С., Сопин Д.М., Казлитина О.В., Селоков М.А. // Фундаментальные основы строительного материаловедения Сб. докл. Междунар. онлайн-конгресса. - 2017. - С. 115-120.
4. Лесовик Р.В. К вопросу об оптимизации структуры высокопрочного фибробетона за счет использования нанодисперсного модификатора / Лесовик Р.В., Агеева М.С., Казлитина О.В., Сопин Д.М., Митрохин А.А. // Вестник ВСГУТУ. - 2017. - № 4 (67). - С. 64-70.
5. Лесовик Р. В. Активация наполнителей композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2009. – № 1. – С. 87 – 89.
6. Лесовик Р. В. Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ / Лесовик Р. В., Жерновский И.В. // Строительные материалы. - 2008. – № 8. – С. 78 – 79.

УДК 662.99

**Васильченко Ю.В., канд. техн. наук, доц.,
Крючков М.И., маг.**
(БГТУ им. В.Г.Шухова, г.Белгород, Россия)

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

Рекомендуемые к применению оборудование и методы комплексной утилизации отходящих технологических газов агрегатов для обжига карбонатных пород, решают не только вопросы охраны окружающей среды, но позволяет сделать процесс производства практически безотходным.

Ключевые слова: технология утилизации, энергосбережение, вторичные энергоресурсы, энергетический потенциал, расход топлива, вращающиеся печи, диоксид углерода, окислы азота, «парниковый» эффект, теплообменные аппараты, очистка газов.

По итогам 2018 года, производство всех видов извести в РФ [1] составило 11160 тыс. т. Объем производства извести в технически развитых зарубежных странах: США – 19 млн. т, Германии – 7,2 млн. т, Японии – 7,3 млн. т, а в развивающихся странах таких как Китай, Индия и Бразилия – 300, 16 и 8,4 млн. т соответственно. Общемировой выпуск извести достиг 420 млн.т [2]. Растущие объемы производства вызывают увеличение отходов. Выбросы аэрозолей, пыли, продуктов сгорания топлива и разложения породы достигли таких масштабов, что приводят к глобальным изменениям климата планеты.

Путем обработки отходов может быть получена дефицитная продукция, находящаяся на рынке в небольшом количестве. Находящаяся в отходящих газах в достаточном для утилизации объеме углекислота необходима на предприятиях пищевой и сельскохозяйственной промышленности, в медицине и ряде других производств, которые приходится оснащать специальными цехами углекислоты. А выделение углекислоты из газовой смеси позволяет обеспечить производство сахара, и одновременно снизить себестоимость извести за счет дополнительной прибыли.

Таким образом, необходимость комплексной утилизации отходов известкового производства обусловлена рядом причин экологического, энергетического и экономического характера.

Во вращающихся печах известь получается путем обжига известняка или мела. Технология производства извести такова, что уловленная пыль не возвращается в печь, а отгружается в качестве удобрения для использования на нужды сельского хозяйства, так как удовлетворяет требованиям ГОСТ 14050-93 на известняковую муку. Такая технология существенно снижает количество отходов производства. Однако путем обработки технологических газов можно добиться еще более полного и комплексного использования всех компонентов сырья и топлива.

При производстве извести на каждый килограмм продукта выделяется до 0,9 кг диоксида углерода CO_2 . Если диоксид углерода выделить из смеси и обработать, может быть получена такая коммерческая продукция как техническая и пищевая углекислота. Остальная часть газовой смеси на 95-97% состоит из азота N_2 , что удовлетворяет требованиям на технический азот. Таким образом, из

отходов производства может быть получена дополнительная товарная продукция.

Установки по комплексной утилизации технологических газов находятся в стадии разработки. Еще в 1991 году ленинградской школой теплохладозащитников была предложена установка для утилизации дымовых газов ТЭС. Установка перерабатывала 50000 м³/ч дымовых газов. Ее внедрение обеспечивало экономию топлива в размере 3,3 тыс. тонн условного топлива в год за счет реализации теплонасосного эффекта и напорной утилизации тепла; сокращение выбросов углекислого газа на 50%, а также выработку 13 тыс. тонн в год товарного «сухого» льда, годовой эффект от реализации которого составил 700 тыс. рублей. Установка была создана на базе стандартного, хорошо отработанного в промышленности оборудования и окупилась в течение 3 лет [3].

Уменьшение расхода топлива не только важнейшее экономическое мероприятие для топливно-энергетического комплекса, но и путь возможного существенного снижения капиталоемкости технологического оборудования, капитальные затраты на которое систематически возрастают. Уменьшение расхода топлива является также предпосылкой нейтрализации вредного воздействия технологии на окружающую среду.

Уменьшение расхода топлива – важнейшая задача и в производстве извести, особенно во вращающихся печах. Вращающиеся печи отличаются повышенным удельным расходом топлива на обжиг, который при производстве мокрым способом составляет 270 - 380 кг условного топлива на тонну продукта, а при производстве сухим способом — 240 – 308 кг условного топлива на тонну продукта. Эти показатели немного превышают показатели печей кипящего слоя, где расход топлива составляет 129 -134 кг условного топлива на тонну продукта [4].

Одним из источников получения существенной экономии топлива и энергии является повышение уровня использования вторичных энергоресурсов. Отходящие технологические газы высокотемпературных установок обладают энергетическим потенциалом, характеризующимся температурой 170 – 300°С и влагосодержанием 0,14 – 0,4 кг/кг, что определяет их энтальпию в пределах 600- 1500 кДж/кг. При производстве извести эти показатели составляют: для шахтных печей 50 -10 кДж/кг, для вращающихся печей — 190 -290 кДж/кг, для печей кипящего слоя — 280 -380 кДж/кг [4]. Утилизация низкопотенциального тепла является важнейшей задачей, поскольку по объему оно занимает более половины всех

вторичных энергоресурсов. Актуальность этой задачи с каждым годом возрастает, так как совершенствование технологических процессов ведет к сокращению в первую очередь потерь тепла высокого потенциала. Утилизация низкотемпературных вторичных энергоресурсов способствует охране окружающей среды от химического и теплового загрязнения.

Рост объемов производства извести ведет к образованию огромного количества выбросов. Основной проблемой загрязнения атмосферы при производстве извести является выброс аэрозолей. При производстве извести также выбрасываются продукты сгорания топлива, включая оксиды серы, азота, углерода. Объем выброса зависит от типа топлива и эффективности работы печи. При этом выбрасывается большое количество диоксида углерода, приблизительно равное количеству производимой извести. Величины выбросов в отсутствие улавливания приведены в таблице 1 [5]:

Таблица 1 – Выбросы известковообрабатывающих печей, кг/т извести

Тип печи	Аэрозоль	Оксиды азота	Оксиды углерода
Вращающаяся печь	136	1,3	0,9
Вертикальная печь	3,6	—	—

Трение породы и извести в печи дает большое количество аэрозолей. В процессе выделения диоксида углерода из породы происходит дополнительное образование пыли, вследствие разрушения породы.

Опираясь на имеющийся опыт комплексной обработки отходов высокотемпературных установок, схема утилизации газов может быть составлена на базе стандартного оборудования, включающего эффективные теплообменные аппараты для утилизации теплового потенциала газов и аппараты, осуществляющие очистку газов от вредных примесей.

В основу выделения из газовой смеси CO_2 положен метод вымораживания. Метод базируется на высокoэкономичном цикле низкого давления, в котором функцию рабочего тела призваны выполнять сами отходящие газы. Содержание CO_2 в исходной смеси таково, что даже при небольшом давлении в цикле 0,3 - 0,5 МПа располагаемого теплоперепада при последующем их расширении до 0,11 – 0,12 МПа достаточно для практически полного вымораживания углекислоты. Технологическая схема установки комплексной

проходящей по трубам. Над трубным пучком в сепараторах происходит разделение газа и жидкости. Газ направляется во вторую ступень, а промежуточный теплоноситель стекает в бак, откуда насосом вновь подается на оросительное устройство. Вторая ступень работает аналогично первой. Необходимость использования двухступенчатой схемы вызвано стремлением получить максимальную температуру воды на выходе: при двухступенчатой схеме воду можно нагреть до температуры мокрого термометра газа. Теплообменник обладает высокой степенью пылеулавливания – 99,9 %. Охлажденные до 20⁰С и обеспыленные газы направляются во влагоотделитель 2, а нагретая до 60⁰С вода 14 отводится в систему горячего водоснабжения.

В качестве влагоотделителя использован малогабаритный прямоточный циклон-каплеуловитель центробежного типа КЦТ. Остаточный унос капель не превышает 0,07 г/м³ газа. После влагоотделителя 2 дымовые газы сжимаются в компрессоре 3 до давления 0,4 МПа, нагреваясь при этом до температуры ≈ 200⁰С. Газовая смесь с такими параметрами поступает в напорный экономайзер 5, представляющий собой кожухотрубчатый рекуперативный теплообменник газоводяного типа. Газовая смесь охлаждается до температуры ниже точки росы ≈ 40⁰С за счет подогрева воды, которая в дальнейшем используется в системе горячего водоснабжения или для получения пара.

Для удаления из охлажденной газовой смеси капельной влаги предусмотрен еще один влагоотделитель 6.

После него газовая смесь направляется для дополнительной осушки и охлаждения в регенератор 7. Необходимость установки регенератора вызвана наличием в газовой смеси компонентов, вымерзающих при низкой температуре и способных забить проточную часть детандера. Одновременно с вымораживанием примесей протекает процесс их адсорбции на поверхности насадки. Регенератор работает в режиме самоочистки: поток газа во время «холодного» дутья полностью сублимирует, десорбирует и выносит из регенератора все примеси, сконденсированные в жидкую и твердую фазу с поверхности насадки во время «теплого» дутья.

После регенератора газовая смесь расширяется в турбодетандере 8 до требуемых давления и температуры, при которых, содержащийся в газовой смеси СО₂ переходит в кристаллическое состояние. Работа расширения может быть использована для привода компрессора 3 или привода электрогенератора 9. Образующаяся снеговидная масса накапливается в сепараторе 10, затем брикетируется в устройстве 11 и отгружается потребителю в качестве «сухого» льда 15. Выходящие из

сепаратора 10 газы отдают свой холод насадке регенератора 7, из которого отводятся с параметрами, близкими к параметрам окружающей среды. Газы на 95 – 97 % состоят из азота, поэтому могут быть использованы в качестве технического азота. Установка может комплектоваться ожигательной приставкой 12, позволяющей производить диоксид углерода в сжиженном состоянии.

Таким образом, предложенная технологическая обработка отходящих газов печных агрегатов для обжига извести является по существу безотходной.

Библиографический список

1. Обзор рынка извести. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cmpro.ru/rus/catalog/izvesti_analitika/Bulleten_po_Izvesti_Obzor_rinka_i_zvesti_v_RF_v_dekabre_2018_goda.html
2. Известь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://statinformation.ru/prom/lime.html>
3. Ятров С.Н. Энергосберегающие технологии в СССР и за рубежом. - М.: Энергосбережение. - 1991. - 283 с.
4. Табунщиков А. П. Производство извести. - М.: Химия. - 1974. - 240 с.
5. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник в 2-х томах под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. пер. с англ. - М. Металлургия. - 1988г. - 712 с.

УДК 504.4.054

Внукова А. С. студ.,
Кирюшина Н.Ю. канд. тех. наук, доц.
(Россия, Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова)

СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В статье рассмотрены различные виды сорбционных материалов растительного происхождения, их эффективность и целесообразность в использовании. Изучены научные статьи российских и зарубежных авторов.

Ключевые слова: сорбция, растительные отходы, сорбенты, очистка, сточные воды.

Очистка воды от различных загрязнителей в настоящее время является весьма актуальной задачей, требующей применения новых и более усовершенствованных подходов, в том числе ресурсосберегающих технологий, позволяющих использовать в производственных процессах очищенную воду, тем самым снижая потребление свежей.