

Выполняя варианты расчеты с разными исходными данными, численная математическая модель нагревательной печи позволяет выбрать режим нагрева насыпных садов, удовлетворяющий наперед заданному критерию.

Список использованных источников

5. Энергосбережение при нагреве насыпных садов в камерной печи / В.В. Бухмиров, М.Г. Сулейманов, Е.Н. Бушуев, О.Б. Колибаба, Н.П. Гусенкова // Вестник ИГЭУ. – Иваново: ООО «ПресСто». 2022. №5. – С. 5-11.

6. Инженерный метод расчета тепловой работы нагревательной печи / В.В. Бухмиров, М.Г. Сулейманов, Е.Н. Бушуев, О.Б. Колибаба, Н.П. Гусенкова // Промышленная энергетика. – М: ЗАО НТФ «Энергопрогресс». 2022. №10. – С. 39-45.

7. Общепромышленные электропечи непрерывного действия / А.В. Арендарчук, Н.М. Катель, В.Я. Липов, Г.К. Рубин, В.И. Филиппов. – М.: Энергия, 1977. – 248 с.

8. Математическое моделирование промышленных перчей / В.А. Арутюнова, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников. – М.: Металлургия, 1990. – 239 с.

9. Крылова, О.Б. Совершенствование режимов работы термических печей для нагрева насыпных садов: дис... канд. техн. наук. Ленинград, 1988. – 185 с.

УДК 658.567.1

Л. С. Вовк, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. По экспертным оценкам, в России перерабатывается не более 9 процентов мусора. Комплекс оборудования для переработки бытовых отходов в автономной энергетической установке на базе шахтной печи ваграночного типа включает подготовку отходов к их переработке, окускование шихтовых материалов, собственно тепловую переработку с получением минеральной части отходов в виде расплава и утилизацию вторичных материальных и энергетических ресурсов. К ее преимуществам следует отнести: значительный опыт промышленной эксплуатации при переработке различного вида сырья; простоту конструкции и управления; небольшие капитальные затраты; возможность эксплуатации, как в непрерывном, так и в периодическом режиме; возможность относительно простого обеспечения заданной производительности, как по исходным материалам, так и по конечному продукту; незначительные площади размещения шахтной печи ваграночного типа (не менее, чем 20х20м 2); автономность работы шахтной печи от внешних источников энергии (необходима только электроэнергия для работы тягодутьевых средств и внешнее топливо при введении шахтной печи в эксплуатацию).

Ключевые слова: *твердые бытовые и промышленные отходы, шахтный агрегат, утилизация, эффективность переработки.*

Abstract. *According to expert estimates, no more than 9 percent of garbage is recycled in Russia. The complex of equipment for processing household waste in an autonomous power plant based on a shaft furnace of the vagration type includes preparation of waste for their processing, agglomeration of charge materials, actual thermal processing with obtaining a mineral part of waste in the form of a melt and utilization of secondary material and energy resources. Its advantages include: considerable experience in industrial operation during processing of various types of raw materials; simplicity of design and control; small capital expenditures; possibility of operation both in continuous and in periodic mode; the possibility of relatively simple provision of the specified performance, both by source materials and by the final product; standalone operation of the shaft furnace from external energy sources (only electric power is required for the operation of draft vehicles and external fuel when the shaft furnace is put into operation).*

Key words: *solid domestic and industrial waste, mine unit, recycling, processing efficiency.*

Непрерывный рост промышленного производства и потребления предметов быта в России сопровождается значительным ростом объемов образования отходов и усилением их воздействия на окружающую среду. Так по среднестатистическим данным [1], на каждого городского жителя России в год образуется от 1 до 1,4 м³ твердых бытовых отходов (ТБО), а объем образования только металлургических шлаков достиг 90 млн. т в год [2]. При этом основным способом их переработки является складирование на полигонах, куда поступает более 90-95 % образующегося объема. При складировании таких материалов с течением времени их органическая часть подвергается самопроизвольному разложению в присутствии атмосферного кислорода и внешней влаги. Образующиеся газообразные продукты жизнедеятельности диффундируют в грунтовые и поверхностные воды, а также атмосферу окружающей среды, что создает реальную угрозу здоровью и жизни населения страны.

Наиболее экономически выгодным направлением утилизации отходов является их вторичное использование в промышленности и энергетике. Это направление требует дополнительной подготовки исходных компонентов с выделением отдельных фракций продуктов определенного вида для обеспечения экономически выгодных условий использования вторичных материалов в производстве. Выделяются только те компоненты, которые экономически выгодно перерабатывать в настоящее время (бумага, стекло, пластмасса, резина и др.). Остальные составляющие продолжают складировать на полигонах. Вторичное использование несортированных отходов предполагает наиболее низкие затраты на их утилизацию. Однако по своим потребительским свойствам их можно отнести только к некондиционному сырью.

Проблемы переработки промышленных и бытовых отходов связаны в первую очередь со сложностью их морфологического состава, а многофакторность проблемы выбора рациональной технологии их утилизации существенно затрудняют достижения приемлемого результата. До настоящего времени нет единого мнения о выборе рациональной технологии их обезвреживания и конструкции агрегата для ее реализации.

Порядок определения класса, вида мусора, его сортировки, последующей переработки, утилизации закреплен в Федеральном законе от 26 июня 1998 года №89-ФЗ [3].

Государственная политика большинства стран мира ориентирована на минимизацию образования и накопления отходов. Более того, развитые страны рассматривают переработку отходов как источник прибыли. Мировой рынок отходов оценивают в \$320 млрд, из которых 20 % составляют импорт и экспорт [4], который для большинства стран является ключевым элементом бесперебойной работы отрасли переработки отходов. Ведущие компании с выручкой более 1 млрд евро в основном занимаются всем процессом: от сбора и транспортировки до утилизации и производства электроэнергии, а также складированием и захоронением [5]. Для них характерно, что доля переработки отходов достигает 42 % от всех инвестиций в отрасль, на утилизацию приходится 20 %, на сжигание с получением энергии – 17 % и только 14 % – на захоронение. Убыточная стадия утилизации отходов (сбор, транспортировка) компенсируется за счет продажи переработанного сырья и произведенной продукции.

С экологической точки зрения мусор лучше перерабатывать или получать вторичное сырье. Это снижает вероятность проникновения в воздух, почву, воду токсичных, опасных соединений. Повторная обработка твердых промышленных отходов выгодна и для бизнеса, поскольку предоставляет сырье хорошего качества по более низкой цене. Однако ограниченный объем переработки и выборность использования только отдельных компонентов для использования ограничивает полную утилизацию твердых бытовых и промышленных отходов.

Для нейтрализации газообразных и жидких промышленных отходов наиболее часто используют гетерогенный катализ, который можно реализовать:

- для компонентов с малой концентрацией горючих примесей при температуре 200-400 °С в специальных установках (термокаталитическое окисление);
- для газообразных отходов, содержащих нитрозные газы (термокаталитическое восстановление);
- для испарения сточных вод используется профазное каталитическое окисление.

При реализации этого метода токсичные компоненты подвергаются термическому разложению, окислению и другим химическим превращениям с образованием газообразных продуктов и твердых веществ.

Для обеззараживания сложных химических веществ при высоких давлениях и температурах используется пиролиз, под которым понимается термическое разложение органических и многих неорганических соединений на менее тяжелые молекулы. Его реализация возможна в окислительных условиях за счет активной подачи в камеры сжигания кислорода. Такие методы используются для тех материалов, которые нельзя сжечь обычным способом: масла, присадки, сточные воды, пластмассовые изделия. Эти способы отличаются низкими энергетическими и материальными затратами. В результате реализации таких процессов образуются твердый углеродистый остаток и пиролизный газ, содержащий высококипящие смолообразные вещества с теплотой сгорания газа ~13–21 МДж/м³. При низких температурах пиролиза (~400-600 °С) в газообразных

продуктах увеличивается доля образующихся жидких смолообразных продуктов, а при высоких (~700-1050 °С) – увеличивается доля газообразных продуктов. Газообразные продукты разложения отходов смешиваются с продуктами сгорания топлива или части отходов, поэтому на выходе из реактора они имеют низкую теплоту сгорания, но повышенную температуру. Затем смесь газов сжигают в обычных топочных устройствах.

Для отходов 3-5 классов опасности наиболее часто используют биохимические методы, которые реализуются на специализированных полигонах и в биометрических камерах с получением качественного органического продукта или удобрений для сельскохозяйственных культур.

Если сравнивать процессы складирования и сжигания, то сжигание наносит меньший вред окружающей среде. С другой стороны, при сжигании теряется экономическая выгода от вторичной переработки отходов. Несмотря на постоянно разрабатываемые и внедряемые новые технологии обезвреживания, утилизации и переработки отходов, их складирование на полигоне остается наиболее распространенной практикой для большинства стран.

Сейчас, по экспертным оценкам, в России перерабатывается не более 9 процентов мусора [6, 7]. По этому показателю мы значительно отстаем от ведущих стран, где перерабатывают и продают для использования в различных сферах производства до 90-95 % бытового и промышленного мусора.

В мировой практике сжигания отходов выделяют следующие группы методов реализации этого процесса [8]:

- сжигание смешанных коммунальных (муниципальных) отходов. Такое сжигание традиционно представляет собой термическую обработку смешанных и практически необработанных коммунальных отходов, образующихся в жилом секторе. Иногда применяется совместное сжигание таких отходов с промышленными отходами;

- сжигание коммунальных или других отходов, предварительно подготовленных к сжиганию, то есть отходов, собранных в системе раздельного сбора, предварительно обработанных для повышения их теплотворной способности (сортировка, сушка и др.);

- сжигание опасных отходов на промышленных объектах, где эти отходы образовались, или специализированных заводах;

- сжигание осадков сточных вод на специализированных установках или на установках для сжигания отходов (вместе с другими отходами, например коммунальными);

- сжигание медицинских отходов на специализированных установках.

В отечественной и зарубежной практике для термических способов утилизации и обезвреживания твердых и пастообразных отходов, содержащих органические вещества, наиболее широко используются слоевые печи [8-10], применение которых способно обеспечить различный уровень безопасности утилизации твердых отходов. В их состав, как правило, входят: камера сжигания, тягодутьевое оборудование, аппараты сухой газоочистки (циклон-золоуловитель) и основные соединительные трубопроводы.

Эффективное сжигание на колосниковой решетке происходит при температуре 850-950 °С. В конце медленно движущейся решетки остатки утилизации отходов после сгорания падают в заполненное водой устройство шлакоудаления [1].

Прямоточные системы, как правило, применяют для утилизации отходов с высокой теплотворной способностью (> 9 МДж/кг). Не полностью сгоревшие дымовые газы необходимо пропускать через зону с максимальной температурой, что обеспечивает лучшее их обеззараживание. Благодаря этому можно отказаться от использования отдельной камеры дожигания [11].

Противоточные системы более пригодны для отходов с низкой теплотворной способностью [12, 14]. Формируемая при этом высокая температура дымовых газов способствует сушке и сжиганию отходов. Плохое перемешивание дымовых газов и ограниченная их температура требуют установки системы дожига горючих газовых компонентов.

Системы с колосниковыми решетками позволяют обеспечивать утилизацию различного вида отходов с использованием минерализации всех горючих компонентов и увязкой с системами утилизации теплоты отходящих газов и шлакопереработки [14].

Для утилизации твердых и пастообразных промышленных, бытовых и медицинских отходов, а также обезвоженных осадков сточных вод как в России, так и за рубежом широко используют барабанные печи различной конструкции [15, 16]. Обычно барабанная вращающаяся печь представляет собой стальной барабан, имеющий футеровку из огнеупорного кирпича, бетона или водоохлаждаемую, который вращается со скоростью 0,05-2 об/мин., устанавливаемый под небольшим углом в направлении движения отходов.

Опыт использования вращающихся барабанов для утилизации твердых промышленных отходов как в России [17], так и за рубежом [18] показали возможности сжигания твердых, пастообразных и жидких отходов с агрегатной нагрузкой от 2 до 6 т/ч. Имеется опыт создания установок для утилизации особо опасных отходов малой производительности [15].

Многочисленный опыт работы циклонных установок в России показал надежность их тепловой работы при обжиге дисперсных материалов [19] за счет полного использования реакционной поверхности материала и высокой скорости движения газов. Количество таких установок в Советском Союзе достигало 150 шт., а их производительность колебалась от 200 кг до 16 т в час.

Весьма оригинальной технологией утилизации и обезвреживания токсичных органических отходов является их термодеструкция в расплавах неорганических веществ и металлов [20].

В последнее время разрабатываются и исследуются на опытных и демонстрационных установках процессы пиролиза и газификации твердых и пастообразных органических отходов в шахтных печах в фильтруемом плотном слое [21, 22].

В России выполнены разработки шахтных газификаторов типа доменных печей с жидким шлакоудалением [23], однако эти разработки не реализованы в промышленности. Пока не нашел промышленного применения шахтный пиро-

лиз. Значительный опыт проектирования, модернизации и эксплуатации в промышленности таких агрегатов [24] показал:

- возможность обеспечения заданной производительности шахтной печи с высоким тепловым КПД при минимальных капитальных затратах на ограниченной площади размещения производственного оборудования;

- осуществить процесс переработки окускованных бытовых отходов без их дополнительной подготовки независимо от химического состава;

- возможность получения пиролизного газа с теплотворной способностью до 11 МДж/м³ с последующим его использованием для получения горячей воды, пара или электроэнергии;

- получать минеральный расплав заданного состава с последующей его утилизацией в виде экологически безопасного щебня или теплоизоляционных материалов.

Комплекс оборудования для переработки бытовых отходов в автономной энергетической установке на базе шахтной печи ваграночного типа [25] включает подготовку отходов к их переработке, окускование шихтовых материалов, собственно тепловую переработку с получением минеральной части отходов в виде расплава и утилизацию вторичных материальных и энергетических ресурсов.

Как показывает промышленный опыт переплава кусковых материалов различного химического состава (чугун, минеральное сырье и др.) [26, 27], наиболее эффективным плавильным агрегатом для их переработки является шахтная печь ваграночного типа. К ее преимуществам следует отнести:

- значительный опыт промышленной эксплуатации при переработке различного вида сырья;

- простоту конструкции и управления;

- небольшие капитальные затраты;

- возможность эксплуатации, как в непрерывном, так и в периодическом режиме;

- возможность относительно простого обеспечения заданной производительности, как по исходным материалам, так и по конечному продукту;

- способность работать при минимальных внешних энергетических затратах при тепловом КПД до 70 %;

- возможность обеспечения окислительного, нейтрального или восстановительного режимов тепловой обработки исходных материалов в пределах рабочего пространства одного и того же агрегата с изменением только технологических параметров;

- возможность интенсификации тепломассообменных процессов с использованием повышенного давления в рабочем пространстве и внешних интенсификаторов;

- практически полную завершенность процессов тепломассообмена в пределах рабочего пространства, что ограничивает объемы потребления внешних энергетических ресурсов и образующихся выбросов;

- получение неразложившихся компонентов отходов в виде жидкого расплава;
- возможность получения пиролизных газов стабильного химического состава при относительно постоянных температурных условиях;
- возможность получения горячей воды или пара на теплофикационные нужды при утилизации теплоты охлаждения корпуса вагранки;
- незначительные площади размещения шахтной печи ваграночного типа (не менее чем 20x20 м²);
- автономность работы шахтной печи от внешних источников энергии (необходима только электроэнергия для работы тягодутьевых средств и внешнее топливо при введении шахтной печи в эксплуатацию).

Список использованных источников

1. Твердые отходы производства и потребления: учебное пособие / В.Л. Советкин, С.В. Карелов, С.В. Мамяченков. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. – 71 с.
2. Состояние и перспективные направления переработки металлургических шлаков / Б.И. Ашпин [и др.]. – М.: ЦНИИ инф. и техн.-экон. исслед. черной металлургии, 1988. – 33 с.
3. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/.
4. Вторичная переработка полимеров, 2018: Пост-релиз конференции. – 16 февраля 2018 г. – М. – URL: <http://www.creonenergy.ru>.
5. Борисов А.Б. Большой экономический словарь. – М.: Книжный мир, 2003. – 895 с.
6. Доклад Федеральной службы по надзору в сфере природопользования «Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России». – URL: <http://rpn.gov.ru/node/14>, 2 июня 2013 г.
7. Большаков В.Н. Экология: учебник / В.Н. Большаков, В.В. Качак, В.Г. Коберниченко [и др.]; под ред. Г.В. Тягунова, Ю.Г. Ярошенко. – 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2016. – 304 с.
8. European Commission. 2006. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.
9. Общая энергетика: развитие топочных технологий. В 2 ч.: учеб. пособие для вузов / Под науч. ред. Б.В. Берга. – М.: Юрайт, 2018. – 210 с.
10. Сжигание отходов: опыт Германии / Б. Билитевски // Твердые бытовые отходы. 2007. № 1. – С. 47-49.
11. European Commission. 2006. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

12. Установка для утилизации маслоокалиносодержащих отходов / А.Г. Злобин, Г.С. Ульянов // Черная металлургия: Бюллетень НТИ. 1984. № 23. – С. 45-46.
13. Способ утилизации маслоокалиносодержащих отходов: а. с. № 1090979 СССР / В.П. Ульянов, А.Г. Злобин, Г.С. Умнов [и др.] // Открытия. Изобретения. 1984. № 17. – С. 136.
14. Ярошенко Ю.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Ю.Г. Ярошенко, Я.М. Гордон, И.Ю. Ходоровская. Под ред. Ю.Г. Ярошенко, Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.
15. Термическое обезвреживание медицинских отходов в Москве / И.М. Бернадинер // Экология и промышленность России. 2004. Август. – С. 24-28.
16. Справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration», 2019.
17. Промышленность и окружающая среда: учебник для вузов / Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 469 с.
18. Высокотемпературная переработка и обезвреживание жидких, пастообразных и твердых промышленных и медицинских отходов / М.Н. Бернадинер, И.М. Бернадинер // Экология и промышленность России. 2011. Апрель. – С. 19-21.
19. Теплотехнические основы циклонных топочных и технологических процессов / А.Б. Резняков, Б.П. Устименко, В.В. Вышенский М.Р., Курмангалиев. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1974. – 375 с.
20. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М.Н. Бернадинер, А.П. Шурыгин. – М.: Химия, 1990. – 304 с.
21. Плазменные методы в технологии переработки РАО / В.В. Савчин, А.Л. Моссэ // Материалы V Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». Харьков. 2008. – С. 50-52.
22. Переработка бытовых и промышленных отходов в высокотемпературной шахтной печи / А.В. Воловик, Е.М. Щелков, И.А. Долгоносова // Экология и промышленность России. 2001. №10. – С. 9-18.
23. Малышевский А. Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России / А. Ф. Малышевский. — М. : МПР Российской Федерации, 2012. — 47 с.
24. Расчет и проектирование ваграночного комплекса плавки чугуна: учебное пособие / В.И. Матюхин, А.В. Матюхина. – Екатеринбург: УФАГАУ ВПО УрФУ, 2015. – 364 с.
25. Автономная энергетически эффективная технология переработки твердых бытовых отходов в шахтном агрегате / В.И. Матюхин, Ю.Г. Ярошенко, Т.А. Мейстер, О.В. Матюхин // Химическая промышленность. Т.96. 2019. №1. – С. 47-54.
26. Development features of thermal and gas-dynamic performance of mineral wool cupola furnace / V.I. Matiukhin, S.Y. Zhuravlev, Yu.G. Yaroshenko, O.V. Matyukhin // Materials Science Forum. 2019. Pp. 480-485.

27. Теплофизические основы тепловой работы металлургических слоевых печей и агрегатов: учебное пособие / Ю.Г. Ярошенко, В.С. Швыдкий, Н.А. Спиринов, В.И. Матюхин, В.В. Лавров; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: АМК «День РА», 2019. – 464 с.

УДК 620.952

К. В. Галанов, Г. Е. Масленников, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОСТИ ГИДРОКАРБОНИЗАЦИИ БИОМАССЫ

Аннотация. Для того, чтобы дать оценку актуальности гидрокарбонизации биомассы, было рассмотрено, что из себя представляет процесс гидрокарбонизации сам по себе, как он работает, что для него нужно, и чего с его помощью, можно добиться. Так же было рассмотрено, для чего гидрокарбонизация может быть полезна и в каких вопросах может помочь. Помимо этого, были проведены расчеты, чтобы убедиться, имеет ли процесс гидрокарбонизации биомассы практический смысл и практическое применение.

Ключевые слова: гидрокарбонизация, гидротермальная карбонизация, биомасса.

Abstract. In order to assess the relevance of biomass hydrocarbonization, it was considered what the process of hydrocarbonization itself is, how it works, what is needed for it, and what can be achieved with its help. It was also considered why hydrocarbonization can be useful and in what issues it can help. In addition, calculations were carried out to make sure that the process of biomass hydrocarbonization has practical meaning and practical application.

Key words: hydrocarbonation, hydrothermal carbonation, biomass.

Гидротермальная карбонизация (ГТК), так же известная как водная карбонизация, впервые была описана в 1913 году немецким ученым Фридрихом Бергиусом [1]. Представляет собой химический процесс, имитирующий процесс образования бурого угля, который происходил в природе.

Процесс представляет собой нагрев биомассы совместно с водой до 180 градусов в сосуде под давлением. Вода участвует в процессе и как реагент и как растворитель. Давление повышается до 1 МПа [2]. Через 12 часов углерод реагентов полностью реагирует. От 90 % до 99 % углерода присутствуют в виде водного осадка пористых сфер бурого угля, остальные 1-10 % углерода либо растворяются в водной фазе, либо образуется в диоксид углерода. Уравнение реакции образования биоугля имеет вид (для упрощения формулы растительный материал представлен формулой сахара):



Реакцию можно остановить в несколько стадий с неполным удалением воды, давая различные промежуточные продукты. Через несколько минут образуются жидкие промежуточные липофильные вещества, но обращение с ними очень затруднено из-за их высокой реакционной способности. Впоследствии эти вещества полимеризуются и образуются торфоподобные структуры, кото-