АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072300 – «Техническая физика»

БАЙМУЛДИН РУСЛАН ВАЛЕРЬЕВИЧ

Плазменная газификация твердых бытовых отходов (ТБО)

Общая характеристика работы

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке и исследованию технологии плазменной газификации твердых бытовых отходов (ТБО). Для проведения численных исследований применены программные комплексы термодинамических и кинетических расчетов TERRA и Plasma-Waste, а экспериментальные исследования выполнены на разработанной установке для плазменной газификации ТБО.

Актуальность темы исследования

Качество жизни человека является очень важным критерием развития общества и цивилизации. После начала индустриализации и устойчивого роста городов и крупных населенных пунктов, накопление в них отходов привело к быстрому ухудшению экологии и общего качества городской жизни. Санитарная очистка городов и уборка территорий от отходов – необходимый процесс, влияющий на качество жизни населения.

В свою очередь, от применяемых методов сбора и утилизации отходов зависит степень влияния на чистоту воздушного бассейна, водных объектов, почвы и на уровень общей санитарно-эпидемиологической обстановки, т.е. проблема утилизации отходов оказывает значительное влияние на комфортность жизни населения.

В прошлом технологии уничтожения отходов посредством сжигания и захоронения на специальных полигонах вполне справлялись с возложенной на них миссией, сейчас в связи с увеличением количества отходов и их разнообразием утилизация вышеописанными способами может нести в себе серьезную угрозу для окружающей среды. Именно поэтому на сегодняшний день актуальность разработки новых, эффективных и экологически чистых способов утилизации стоит как никогда остро.

Обращение с отходами в Казахстане и, в том числе учет образования, сбор, использование, обезвреживание и захоронение ТБО становится в последние десятилетия большой социальной проблемой, которая имеет важнейший санитарно-гигиенический аспект. Одним из приоритетов в Казахстане определено дальнейшее развитие ресурсного потенциала страны через увеличение доли возобновляемой энергии, переход к зеленым технологиям, современную утилизацию и переработку ТБО.

На сегодняшний день доля переработанных и утилизированных ТБО составила 5%, а услугами по сбору и вывозу отходов обеспечены всего 69%

населения страны. В свою очередь, доля полигонов, соответствующих экологическим требованиям и санитарным нормам, составляет 16%. К 2030 году планируется охватить 100% населения по вывозу мусора, а 95% полигонов должны будут соответствовать санитарным международным стандартам, при этом долю переработки отходов необходимо будет довести до 40% в 2030 году и до 50% в 2050году.

На данный момент в Казахстане полигоны ТБО, за исключением столичного, не соответствуют международным стандартам. Отмечу также вступивший в силу с января 2019 года запрет на захоронение пластика, полиэтилена, бумаги и картона. Таким образом, создание альтернативной инфраструктуры и разработка современных технологий экологически приемлемой переработки ТБО становится особенно актуальным.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Экспериментальные исследования плазменной газификации ТБО проводились на установке спроектированной и построенной в рамках НИР по программно-целевому финансированию КН МОН РК по приоритету «Энергетика и машиностроение» BR05236507 «Энерготехнологии эффективной переработки твердых и жидких промышленных и бытовых отходов, включая токсичные, с получением топливного газа и инертного минерального материала», а также по проекту грантового финансирования научных исследований КН МОН РК 3078/ГФ4 «Плазменная технология производства энергетического синтез-газа из углеродсодержащих отходов (УСО)»

Цель исследования

Целью диссертационной работы является разработка современной, эффективной и экологически чистой технологии плазменной газификации ТБО и проведение численных и экспериментальных исследований газификации ТБО на разработанной плазменной установке. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

– Выполнить литературный обзор методов переработки ТБО и определить наиболее эффективную технологию их утилизации.

– Выполнить термодинамический анализ плазменной газификации ТБО с различными газифицирующими агентами.

– Выполнить кинетическое моделирование плазменной газификации ТБО и определить геометрические параметры плазменного реактора.

– Выполнить экспериментальные исследования плазменной газификации ТБО.

– Сравнить результаты экспериментальных исследований с результатами термодинамических и кинетических расчетов плазменной газификации ТБО.

Объект исследования

Технология плазменной газификации ТБО.

Предмет исследования

Комплекс численных и экспериментальных исследований плазменной газификации ТБО.

Методы исследования

Численные исследования выполнены с использованием программных комплексов термодинамических расчетов TERRA и кинетических расчетов Plasma-Waste. Экспериментальные исследования выполнены с помощью созданной установки для плазменной газификации ТБО. Для анализа результатов применены балансовые методы численных и экспериментальных исследований плазменной газификации ТБО.

Положения, выносимые на защиту

– Численное моделирование показало, что плазменная газификация ТБО позволяет получить высококалорийный горючий газ с концентрацией CO=31.7–33.6% и H_2=50.7–60.9% в зависимости от используемого газифицирующего агента (воздух или пар), и нейтральный шлак. При этом удельная теплота сгорания горючего газа, полученного при воздушной газификации, составляет 3410 ккал/кг, а при паровой – 4640 ккал/кг.

– Конструкция установки для плазменной газификации ТБО производительностью – 30 кг/ч. с плазмотроном номинальной электрической мощностью 70 кВт. Плазменный реактор представляет собой водоохлаждаемый короб из нержавеющей стали кубической формы, футерованный изнутри огнеупорными кирпичами, с рабочим объемом 0,091 $м^3$. ТБО подаются в реактор в виде брикетов через наклонный патрубок на фронтальной стенке реактора.

– В эксперименте по газификации ТБО в воздушной плазме при удельных энергозатратах на процесс 4.5 кВт ч/кг достигнута степень газификации углерода 91.8% и получен горючий газ следующего состава, об.%: CO – 26.5, H_2 – 44.6, N_2 – 28.9.

– Оптимальными параметрами плазменной газификации ТБО являются: среднемассовая температура в реакторе – 1600 К, давление – 0.1 МПа и массовое отношение ТБО / окислитель (O_2) – 11.1 кг/кг (ТБО / воздух – 2.5 кг/кг, ТБО / пар – 10 кг/кг).

Новизна работы

В работе получены следующие новые результаты:

– Численное моделирование показало возможность получения высококалорийного горючего газа на основе разработанной технологии плазменной газификации ТБО.

– Разработана и создана экспериментальная установка непрерывного действия для плазменной газификации ТБО.

– На созданной установке выполнены эксперименты по плазменно-воздушной газификации ТБО и достигнута степень газификации углерода 91.8%.

– Определены оптимальные параметры процесса плазменной газификации ТБО.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Получены расчетные значения рабочих параметров установки для плазменной газификации ТБО и определены общие закономерности процессов плазменной газификации ТБО в различных газифицирующих агентах. Создана

экспериментальная установка непрерывного действия для плазменной газификации ТБО, выполнены эксперименты и определены оптимальные рабочие параметры процесса плазменной газификации ТБО. Результаты исследований плазменной газификации ТБО использованы при принятии технических решений для разработки технико-экономического обоснования оптимальной схемы организации процесса утилизации твердых коммунальных отходов г. Улан-Удэ, Республика Бурятия.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в том, что диссертационная работа, решение поставленных задач и численные расчеты выполнены автором самостоятельно. Автор принимал активное участие в создании плазменной установки и экспериментах по плазменной газификации ТБО. Постановка задач исследования, выбор методов и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

В диссертационной работе использовались известные и апробированные термодинамические и кинетические математические модели TERRA и Plasma-Waste. Так же достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается публикациями в зарубежном журнале с ненулевым импакт-фактором, в изданиях, рекомендованных Комитетом в сфере образования и науки (ККСОН) МОН РК, и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Апробация диссертационной работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной научной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование» (2016, Алматы, Казахстан)

– на IX Международном симпозиуме «Горение и плазмохимия» (2017, Алматы, Казахстан)

– на Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика М.Ф. Жукова «Газоразрядная плазма и ее применение» (2017, Новосибирск, Россия)

– на Международной конференции «Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium » (2017, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy)

– на Международной конференции «10th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT – 11)» (2018, Adu Dhabi, UAE)

– на VШ Международном симпозиуме по теоретической и прикладной плазмохимии (2018, Плёс, Россия)

– на Международной конференции «17th International waste management and landfill symposium» (2019, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy)

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 14 печатных работ: 4 в журналах из Перечня ККСОН МОН РК для опубликования основных результатов диссертаций на соискание степени PhD и одна статья в журнале

дальнего зарубежья с ненулевым импакт-фактором, входящим в международный информационный ресурс SCOPUS. 7 работ в сборниках Международных научных конференций, в том числе 5 в материалах зарубежных конференций.

– Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Баймулдин Р.В., Нурмуханова А.З. Плазменная газификация Куучекинских каменных углей // Вестник КазНТУ. – 2016, – Т. 114, № 2. – С. 108 – 111.

– Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Баймулдин Р.В., Нурмуханова А.З. Плазменно-углекислотная газификация Куучекинских каменных углей // Вестник КазНТУ. – 2016, – Т. 115, № 3. – С. 512 – 515.

– Мессерле В.Е., Моссэ А.Л., Устименко А.Б., Баймулдин Р.В., Ситдиков Ж.Ж., Плазменная газификация твердых бытовых отходов // Сборник тезисов 9-й Междунар.науч.конф. «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование». – Алматы: Қазақ университеті, 2016, – С. 148 – 150.

– Ситдиков Ж.Ж., Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Баймулдин Р.В., Технология переработки углеродсодержащих отходов // Вестник КазНУ. Серия физическая. – 2017. – Т. 60, № 1. – С. 12 – 16.

– Мессерле В.Е., Моссэ А.Л., Никончук А.Н., Устименко А.Б., Баймулдин Р.В. Плазменная переработка модельных твердых бытовых отходов // Инженерно-физический журнал. – 2017. – Т. 90, № 5. – С. 1254 – 1259.

– Мессерле В.Е., Моссэ А.Л., Устименко А.Б., Умбеткалиев К.А., Баймулдин Р.В. Плазмохимическая газификация углеродсодержащих твердых отходов // Материалы IX Междунар.симп. «Горение и плазмохимия» Часть 7. – Алматы: 2017, – С. 22 – 25.

– Мессерле В.Е., Моссэ А.Л., Устименко А.Б., Баймулдин Р.В., Плазмотермическая газификация медико-биологических отходов // Тезисы докладов XIII Междунар.конф. посвященной 100-летию со дня рождения академика М.Ф.Жукова «Газоразрядная плазма и ее применение». – Новосибирск: ИТПМСОРАН, 2017, – 101 с.

– Messerle V.E., Mosse A.L., Ustimenko A.B., Lavrichshev O.A., Jankoski Z., Baimuldin R.V. Processing of biomedical waste in plasma gasifier // Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium. – Cagliari: CISA Publisher, 2017, – P. 1 – 10.

– Messerle V.E., Mosse A.L., Nikonchuk A.N. Ustimenko A.B., Baimuldin R.V., Plasma processing of model residential solid waste // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2017. – Vol. 90, №. 5. – P. 1192 – 1197.

– Messerle V.E., Mosse A.L., Ustimenko A.B., Jankoski Z., Baimuldin R.V. Plasma Gasification of Fuel Biomass // Proceedings of the 10th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT – 11). – Adu Dhabi: NYUAD, 2018, – P. 65 – 67.

– Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Умбеткалиев К.А., Баймулдин Р.В. Плазмохимическая переработка биомассы // Международная агроинженерия – 2018. Т. 28, № 4. – С. 62 – 75.

– Мессерле В.Е., Моссэ А.Л., Устименко А.Б., Умбеткалиев К.А., Баймулдин Р.В. Газификация твердых бытовых отходов в плазменном реакторе

// VIII Международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии. – Плёс: Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2018, – 147 с.

– Jankoski Z., Baimuldin R.V. Plasma gasification of solid fuels // Recent Contributions to Physics. – 2019. – Vol. 68, № 1. – P. 101 – 109.

– Messerle V.E., Ustimenko A.B., Jankoski Z., Baimuldin R.V., Numerical modeling of biomedical waste plasma processing in various gasifying agents // 17th International waste management and landfill symposium – Cagliari: CISA Publisher, 2019.

Результаты исследования

Рассмотрены различные технологии переработки ТБО и выбрана наиболее перспективная технология плазменной газификации ТБО.

С помощью программного комплекса TERRA выполнены термодинамические расчеты плазменно-воздушной и плазменно-паровой газификации ТБО в диапазоне температур 300 – 3000 К. При оптимальной температуре 1600К удельные энергозатраты на воздушную газификацию ТБО составляют 1.92 кВт ч/кг, а на паровую газификацию – 2.44 кВт ч/кг.

С помощью программы Plasma-Waste выполнены кинетические расчеты плазменной газификации ТБО в воздушной и паровой средах, показали, что за время пребывания частиц ТБО в плазменном реакторе (0.4 – 0.7 с) на выходе из реактора образуется высококалорийный синтез-газ с теплотой сгорания около 3540 ккал/кг, а из 1 кг ТБО образуется 1.16 кг горючего газа при плазменно-воздушной газификации. При плазменно-паровой газификации за время пребывания частиц ТБО в плазменном реакторе (0.7 – 1.2 с) на выходе из реактора образуется высококалорийный синтез-газ с теплотой сгорания около 5070 ккал/кг, а из 1 кг ТБО образуется 0.87 кг чистого синтез-газа.

Сравнение результатов термодинамических и кинетических расчетов подтвердило адекватность использованных для численного анализа плазменной газификации ТБО физических и математических моделей и правомерность применения компьютерных программ TERRA и Plasma-Waste для определения геометрических параметров плазменного реактора и рабочих режимов процесса плазменной газификации ТБО.

Найденные параметры и выявленные закономерности процесса плазменной газификации ТБО в различных газифицирующих агентах использованы для разработки и создания экспериментальной плазменной установки.

Выполненный на экспериментальной установке цикл исследований плазменно-воздушной газификации ТБО подтвердил возможность получения высококалорийного синтез-газа, а из минеральной массы – нейтрального шлака, состоящего в основном из карбида железа, моносиликата кальция, кремнезема и железа. Удельные энергозатраты на газификацию ТБО в плазменном реакторе по результатам экспериментов составили 4.5 кВт ч/кг.

По результатам численных и экспериментальных исследований разработана современная, эффективная и экологически чистая технология плазменной газификации ТБО.

Сопоставление результатов эксперимента и расчетов по плазменной газификации ТБО показало удовлетворительное согласие. При этом в газообразных и конденсированных продуктах процесса вредных примесей не выявлено.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка использованных источников из 90 наименований, содержит 117 страниц основного компьютерного текста, включая 42 рисунка и 3 приложения.