

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Налетова Алексея Юрьевича о диссертации Руслана Игоревича Хоперского «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УТИЛИЗИЦИЯ «ХВОСТОВ» СОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТВЕРДОГО И ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Актуальность темы

Проблема переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) является одной из приоритетных технологических задач России, что подтверждается принятой в 2018 году правительственной программой: «Стратегия развития промышленности по переработке отходов на период до 2030 года».

Программа предусматривает широкое применение различных способов обработки отходов, в том числе технологий, которые позволяют повысить долю полезного использования части ТКО в расчете на высокое содержание в ней горючих компонентов с целью получения коммерческих топлив для замещения природных энергоносителей.

Данные разработки обладают высоким потенциалом коммерциализации.

Общее содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников и приложений.

Работа изложена на 162 страницах, содержит 51 рисунок, 35 таблиц, список использованной литературы из 211 наименований и 2 приложения.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены положения научной новизны и практической значимости работы с учетом ее апробации.

В главе 1 представлен аналитический обзор современных способов переработки ТКО. Акцент сделан на термических методах обработки ТКО с возможностью использования потенциала тепловой энергии при их утилизации. В качестве объекта исследования рассмотрено существующее положение в сфере обращения с отходами в Липецкой области.

Проанализированы способы обработки ТКО и сделан вывод в пользу сокращения их полигонного захоронения, что является не только национальной, но и общемировой тенденцией.

Обоснована целесообразность получения калорийного топлива из ТКО (RDF – refuse derived fuel) после их сортировки как альтернатива для замещения природных топлив в энергоемких процессах, в частности цементном производстве для повышения его рентабельности. Глава завершается выводами.

В главе 2 работы представлены результаты определения морфологического состава остаточной части ТКО после их сортировки на мусоросортировочной станции г. Липецка. Проведенный анализ отходов на данном объекте показал, что остаточная часть ТКО после сортировки отправляется на полигон в виде так называемых «хвостов» ТКО, которые содержат материалы, обладающие значительным энергетическим потенциалом. В их числе: полимерные материалы, бумага, картон, дерево, ветошь.

Высказано предположение о возможности брикетирования остаточной части ТКО методом термопрессования без снижения энергетического потенциала будущих брикетов RDF за счет наличия полимерных составляющих, играющих роль связующих материалов.

Во втором разделе главы 2 на примере модельной системы, отражающей усредненный состав остаточной части ТКО, разработана методика производства топливных брикетов RDF в лабораторных условиях, включающая основные стадии предполагаемой технологии: предварительное измельчение, сушка, прессование с последующим нагревом и выдержкой вплоть до формирования брикетов.

Для полученных образцов RDF были определены их калорические свойства.

Для определения оптимальных условий формирования брикета массой 30 г автором был поставлен полный факторный эксперимент по матрице композиционного ротатабельного униформ-планирования 2-го порядка, где в качестве независимых переменных использовались температура и время процесса. В качестве локальных характеристик полученных образцов были использованы следующие: теплота нагревания воды при сжигании навески RDF в условиях теплоизоляции от окружающей среды; плотность брикета; влагеёмкость сухого брикета и ряд других.

Наличие оптимума в условиях многофакторного эксперимента определялось компромиссом вышеуказанных характеристик, что позволило рекомендовать проведение лабораторного процесса при температуре 228°C, при продолжительности выдерживания при данной температуре в течение 40 минут для навески материала массой 30 г.

Заключительный раздел главы 2 посвящен выбору и обоснованию методов обеспечения экологической безопасности процесса при использовании RDF для обогрева печей обжига цементного клинкера.

В главе 3 представлены результаты исследования термического поведения отдельных компонентов ТКО, отобранных при изучении морфологии, а именно влияния температуры и продолжительности процесса на выход летучих продуктов, конденсата и твердого остатка при термической деструкции материалов. Исследования проводились при различной температуре пиролиза: 250, 450, 600 и 700°C, а также времени процесса в пределах от 30 до 120 минут.

Оценка материального баланса процесса пиролиза ТКО в среднем показала, что более 70% масс. процентов приходится на твердый остаток, около 20% – на жидкие продукты и остальное – на газы.

Для снижения количества жидких фракций, увеличения выхода пиролизного газа и повышения теплоты его сгорания, было проведено исследование по использованию алюмосиликатной каталитической добавки (монтмориллонита – ММ) к сырью в количестве соответственно 3, 5, 8 и 10 % масс.

Как показали эксперименты, добавка ММ в ряде случаев и в определенных концентрациях приводит к вышеозначенным эффектам.

В главе 4 на основе материального баланса общей схемы обработки ТКО на мусоросортировочных станциях Липецкой области показано, что только 21 % от общей массы ТКО после сортировки может быть переработано в RDF.

При этом для реализации предлагаемой технологии существующие станции по обработке отходов следует дооснастить оборудованием, в том числе для процессов измельчения, сушки, сепарации и ряда других процессов.

В целях дальнейшего масштабирования полученных результатов и оценки продуктов пиролиза остаточной части ТКО было проведено моделирование схемы в программной среде ChemCad для установки по производству RDF производительностью 63 тыс. тонн в год.

Данные дополнены ориентировочной оценкой технико-экономических показателей установки, обосновывающей ее коммерческую привлекательность.

Соответствие паспорту специальности

Полученные результаты, которые систематизированы в диссертационной работе Р.И. Хоперского, соответствует паспорту специальности: **2.6.12. «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»** в части направления исследований:

3. Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья.

10. Неметаллические углеродсодержащие материалы. Физико-химические принципы технологии углеродных материалов и изделий, включают стадии подготовки исходных материалов, смешивания и гомогенизации компонентов, формования заготовок или изделий, их упрочнения, высокотемпературных процессов, обработки материалов и изделий для придания им требуемых свойств, формы и размеров. Технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Сырьевые углеродсодержащие материалы.

12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

Основные положения и выводы диссертации обоснованы и достоверны, автореферат отражает содержание диссертации.

Соискателем опубликовано 15 работ, в том числе 2 статьи в научных изданиях, индексируемых международной базой данных Web of Science, 1 статья в журнале, рекомендованном ВАК РФ. Получен один патент и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Оценка научной новизны работы

1. На основе изучения морфологического состава и калорических свойств RDF, полученного из остатков ТКО после их промышленной сортировки, а также продуктов их пиролиза, разработаны технологические основы глубокой утилизации ТКО с целью частичного замещения природных энергоносителей при обогреве промышленных печей-реакторов.

2. Изучено влияние параметров, таких как температура и скорость нагрева на процесс термического разложения углеводородсодержащих компонентов RDF, в частности: полиэтилена высокого и низкого давления – ПНД и ПВД, полипропилена - ПП, полиэтилентерефталата – ПЭТ.
3. Обоснована возможность увеличения выхода газообразного топлива в процессе пиролиза RDF за счет сокращения образования жидких продуктов пиролиза при применении в качестве катализатора алюмосиликатной добавки – монтмориллонита.
4. Обосновано замещение продуктами пиролиза RDF части природных энергоносителей, используемых в промышленных печах, для обеспечения экологической безопасности установки обжига цементного клинкера.
5. Разработана компьютерная модель процесса пиролиза RDF в программной среде ChemCad, позволяющая прогнозировать характеристики 5 продуктов пиролиза в зависимости от морфологического состава исходного топлива.

Оценка практической значимости работы

1. Разработаны рекомендации по сокращению объема отходов, направляемых на захоронение, на мусороперерабатывающем предприятии г. Липецка ЦФО при использовании «хвостов» ТКО в качестве сырья для изготовления альтернативного топлива промышленных печей.
2. На мусоросортировочной станции г. Липецка проведена апробация технологии изготовления RDF из горючих фракций остаточной части ТКО, включающая удаление балластных компонентов, контроль за содержанием опасных составляющих и капсулирование за счет размягчения полимерных фракций ТКО.
3. Определены условия процесса пиролиза RDF, которые обеспечивают максимальный выход и высокую теплоту сгорания пиролизного газа.
4. Показано, что дозировка каталитической алюмосиликатной добавки - монтмориллонита в RDF в количестве 5% в процессе его пиролиза, обеспечивает повышение теплоты сгорания на 16% и увеличение объема пиролизного газа в 1,2 раза.
5. Проведена оценка ожидаемого экономического эффекта от внедрения технологии, который складывается из предотвращенного экологического ущерба, снижения затрат на содержание полигонов, а также экономии природных топлив при их частичной замене газом пиролиза.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

- применением современных методов экспериментальных исследований и большим количеством репрезентативных экспериментальных данных;
- результатами промышленных испытаний на действующей мусоросортировочной станции г. Липецка;
- результатами апробации (акт внедрения) технологии на базе станции ТКО компании «ЭкоПром-Липецк»;
- результатами сторонних экспертиз по оценке теплотворной способности топлив, проведенными ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» на сертифицированном оборудовании;
- использованием коммерческого программного обеспечения ChemCad по расчету технологических схем.

Рекомендации по использованию результатов диссертации и выводов

Представленные в работе методика производства топлива из ТКО и подбор оборудования для дооснащения действующих мусороперерабатывающих предприятий могут быть использованы при построении технологической линии получения альтернативного топлива из ТКО на предприятиях города Липецка.

Результаты, представленные в диссертационной работе, могут найти применение на цементных и металлургических предприятиях при частичной замене традиционных видов топлива на топлива из ТКО.

Результаты работы используются в учебном процессе при подготовке химиков-технологов в Липецком государственном техническом университете.

Замечания по диссертационной работе в целом

По результатам рассмотрения диссертации следует высказать ряд замечаний и пожеланий.

1. Принимая во внимание, что работа заявлена как разработка энергоэффективной технологии утилизации отходов ТКО, желательно было бы привести конкретный критерий энергоэффективности в обоснование

- достигнутого эффекта и представить результаты его сравнения с современными аналогами технологий обращения с ТКО.
2. При выборе критерия энергоэффективности следовало бы исходить как из количественных, так и из качественных показателей, поскольку в отдельных звеньях технологической системы обработки ТКО используются разные по качеству (ценности) виды энергии, в частности, теплота и электроэнергия. Или, по крайней мере, приводить данные полных энергетических балансов, позволяющих получить информацию о затратах энергии во всех технологических операциях производственной системы. Тем более, что при использовании пакета ChemCad получить данные энергетического баланса несложно.
 3. Не ясно, что подразумевается под невязкой баланса массы (табл.3.4 стр. 118 дисс.), поскольку баланс массы должен быть абсолютным.
 4. При моделировании процесса пиролиза (стр.124 дисс.) автором было принято допущение, что содержанием серы и хлора можно пренебречь. Однако в брутто-формуле имеется азот, а в продуктах его нет. Возможно, в этом случае надо было расширить допущения.
 5. В разделе 4 диссертации при обосновании целесообразности разработанных технических решений на основании ряда технико-экономических показателей лучше руководствоваться не значениями мощности (табл. 4.2 стр.121 дисс.), а значениями работы в годовом исчислении в расчете на производительность установки, тем более, что далее приводятся оценочные показатели капитальных затрат.

Замечания терминологического характера:

1. Используемый в диссертации термин «хвостов» сортировки ТКО нельзя признать удачным.
2. Термин возобновляемый ресурс по отношению к ТКО (Глава 1, стр.14), также нельзя признать удачным. Термин возобновляемый ресурс используется в контексте кругооборота веществ в Биосфере. Лучше использовать понятие рециклинга, когда отходы возможно превратить в продукты с новыми потребительскими свойствами, увеличивая, тем самым, время жизни промышленной продукции в целом.
3. На стр. 9 автореферата используется термин RDF-топливо, хотя, следуя дословному переводу данной аббревиатуры, это уже топливо из отходов.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Руслана Игоревича Хоперского «Энергоэффективная утилизация «хвостов» сортировки твердых коммунальных отходов с получением твердого

и газообразного топлива», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, отличающейся определенной научной новизной и имеющей несомненную практическую значимость.

Заключение

Анализ диссертации Хоперского Р.И. позволяет сделать вывод, что работа выполнена на высоком теоретическом уровне и обладает практической значимостью полученных в ней результатов, предложений и рекомендаций. Работа представляет собой логически связанное исследование. Материал представлен в полном соответствии с поставленными целями и раскрывающими их задачами.

Соискатель корректно применяет аппарат математической статистики для обработки результатов экспериментов, обосновано использует возможности коммерческого программного продукта ChemCad для технологического расчета процессов переработки «хвостов» ТКО.

На основании приведенных выше доводов можно сделать заключение о том, что диссертация Руслана Игоревича Хоперского «Энергоэффективная утилизация «хвостов» сортировки твердых коммунальных отходов с получением твердого и газообразного топлива», является завершенной научно-квалификационной работой, в целом отвечающей требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки).

Работа отвечает критериям, установленным требованиями пункта 2.1 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора от «17» сентября 2021 г. № 1523, предъявляемыми к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертационная работа содержит комплекс экспериментальных исследований по переработке «хвостов» ТКО в топливные брикеты, а также продукты энергетического назначения после их термической обработки (пиролизный газ и твердое топливо), что позволит уменьшить объемы отходов, подлежащих полигонному захоронению. Кроме того, в работе

исследовано влияние каталитической добавки в процессе пиролиза указанной части ТКО на выход и калорические свойства получаемых топлив, а также проведено математическое моделирование процессов в программной среде ChemCad, подтверждающие обоснованность результатов и выводов. Работа имеет практическую значимость в контексте реализации программы: «Стратегия развития промышленности по переработке отходов на период до 2030 года», в частности, для города Липецка.

Совокупность теоретических и практических результатов и выводов диссертационной работы Хоперского Р.И. можно квалифицировать как получение новых обоснованных технологических решений и разработок, имеющих существенное значение для развития страны и обеспечения ее экологической безопасности.

Автор обсуждаемой диссертационной работы, Руслан Игоревич Хоперский заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент:

профессор кафедры химической технологии
углеродных материалов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет имени Д. И. Менделеева»
доктор технических наук, профессор

 А. Ю. Налетов
28.03.2022

125047, Россия, Москва, Миусская пл., д. 9
Тел. 7 (499) 978-87-16
nalotov.a.iu@muctr.ru

Подпись профессора, д.т.н. Налетов А. Ю. удостоверяю:

Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет имени Д. И. Менделеева»

Н. К. Калинина

