

## ОТЗЫВ

дополнительного члена совета Иванчиной Эмилии Дмитриевны на диссертацию Шабардина Дмитрия Павловича «Утилизация отходов в составе суспензионных топлив для снижения их вредного воздействия на окружающую среду с выработкой энергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Диссертационная работа Шабардина Дмитрия Павловича относится к фундаментальным исследованиям процессов горения углеводородных топлив. Несмотря на интенсивное развитие нетрадиционных источников энергии, новых альтернативных направлений в производстве энергии, углеводородные энергоносители широко используются. И глобальная цель этих исследований - определить оптимальный состав углеводородных топлив для промышленных установок, установить оптимальные условия их использования, ключевые характеристики топлив и процессов, при которых для этих установок можно обеспечить технико-экономические и экологические показатели. Исследования органоводоугольных (ОВУТ) топливных композиций (жидкое композиционное топливо), в состав которого могут входить разные горючие компоненты — жидкие горючие компоненты, угли, а также шламы и твердые бытовые отходы, которые с одной стороны представляют собой ценное углеродосодержащее сырьё для получения тепловой и электрической энергий, с другой — источник загрязнения окружающей среды. Композиционное топливо может иметь различный компонентный состав и разработка оптимальных топливных композиций представляет фундаментальное исследование, проведение которого в рамках диссертационной работы позволяет обосновать новые методы повышения практически значимых показателей композиционных топлив: стабильность воспламенения и полнота сгорания, утилизация побочных продуктов сгорания. Значимую мировую экологическую проблему представляет утилизация твердых коммунальных отходов (ТКО), но большая часть отходов не утилизируется. Автором предложен способ утилизации твердых коммунальных отходов в составе КЖТ при сжигании в топочных камерах котельных установок. Утилизация твердых коммунальных отходов (ТКО) в составе КЖТ является весьма перспективным способом, поэтому считаю, что тема диссертации Д.П. Шабардина, посвященная повышению эффективности технологии выработки энергии и утилизации отходов в составе суспензионных топлив для снижения их вредного воздействия на окружающую

среду является актуальной. Актуальность работы подтверждается и тем, что она выполнена в рамках программ фундаментальных научных исследований при поддержке грантов: РНФ № 15-19-10003 «Разработка основных элементов теории зажигания существенно неоднородных по структуре капель органоводоугольных топлив», гранта РФФИ «р\_а» № 18-43-700001 «Разработка теоретических основ ресурсоэффективных теплоэнергетических технологий сжигания промышленных и коммунальных отходов в составе композиционных топлив». Тематика исследований соответствует приоритетному направлению развития науки, техники и технологий в РФ «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также находится в сфере критических технологий федерального уровня, получивших высокий рейтинг по показателям состояния и перспективам развития («Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе», «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии»).

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 160 наименований, содержит 48 рисунков, 21 таблицу, 166 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследований, отражена практическая значимость и научная новизна полученных результатов.

В первой главе, представляющей из себя литературный обзор по теме диссертации, соискателем подробно рассмотрены современное состояние и тенденции развития научных исследований и технических решений в области утилизации ТКО, основные способы и используемое оборудование, выявлены их достоинства и недостатки, описан способ утилизации ТКО в составе композиционных топливных суспензий.

Во второй главе автор уделил особое внимание экспериментальным методикам проведения исследований, подробно описал стенды с группой модельных камер сгорания (для приближения условий инициирования горения к топкам водогрейных и паровых котлов), рассмотрел свойства и характеристики используемых компонентов для создания КЖТ.

В третьей главе приводятся результаты исследования основных закономерностей и характеристик инициирования горения капель композиционного жидкого топлива в потоке разогретого воздуха в модельной камере сгорания. Определены необходимые и достаточные условия для реализации зажигания капель КЖТ, приготовленных на основе отходов угле-

и нефтепереработки с добавлением твердых коммунальных отходов. Изучены процессы газофазного и гетерогенного зажигания КЖТ. Разработаны рекомендации по использованию результатов исследований, а также рекомендации по развитию сформулированного научного подхода для повышения эффективности сжигания суспензионных топлив в топочных камерах котельных агрегатов.

В четвертой главе данной работы рассмотрены результаты математического моделирования процессов горения исследуемых составов в котельной установке, а также приведены сравнения полученных результатов с экспериментальными данными. Метод математического моделирования позволяет определить оптимальные технологические параметры процесса и создать новые конструкции аппаратов для его осуществления. На разработанной модели проведено исследование влияния параметров на оптимальные условия горения. Проведены расчеты по нахождению оптимального расхода воздуха, расхода топлива, а также оптимальной концентрации добавленного в композиционное топливо твердых коммунальных отходов.

В пятой главе приводится экономическое обоснование эффективности предлагаемых решений. Автором рассматривается возможность внедрения предлагаемых мероприятий как по отдельности, так и комплексно. Проведены расчеты для обоснования эффективности совместной утилизации коммунальных и промышленных отходов с выработкой энергии. Определено количество сэкономленного твердого натурального топлива при замене эквивалентным по калорийности количеством перспективного композиционного топлива с ТКО. Также было вычислено количество фильтро-кеков, твердых коммунальных отходов и отработанных масел, которое возможно утилизировать при использовании совместной утилизации коммунальных и промышленных отходов с выработкой энергии.

В заключении представлены основные выводы по результатам выполненных диссертационных исследований.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию рукописи диссертации.

#### **Научная новизна диссертации**

К наиболее значимым результатам, полученных лично диссертантом и имеющим научную новизну, можно отнести следующее:

Разработан новый способ утилизации твердых коммунальных отходов в составе КЖТ при сжигании в топочных камерах котельных установок. Автором решена проблема на основе экологически, экономически и энергетически выгодного сжигания суспензий с твердыми коммунальными отходами.

Выделены перспективные добавки из числа индустриальных и коммунальных отходов в КЖТ для варьирования в широких диапазонах интегральных характеристик их зажигания и горения.

Разработана концепция вовлечения перспективных композиционных топлив из низкосортных углей, отходов углеобогащения и нефтепереработки, твердых коммунальных отходов в топливно-энергетический комплекс с обоснованием положительных экологических, экономических и энергетических эффектов.

**Практическая** ценность диссертационных исследований Д.П. Шабардина состоит в практическом использовании полученных характеристик процессов зажигания (предельные температуры, минимальные времена задержки воспламенения, требуемые расходы) и горения (максимальные температуры, время полного сгорания капель топливного аэрозоля, скорости горения, антропогенные выбросы) КЖТ с добавлением твердых коммунальных отходов. Выполнен прогноз эффективного применения результатов на энергетических установках различной производительности. Результаты диссертационных исследований используются при выполнении инвестиционного проекта, направленного на создание первого в России опытно-промышленного участка подготовки и сжигания органоводоугольного топлива с применением промышленных и коммунальных отходов в г. Томске. Получены акты об использовании результатов диссертационных исследований на энергетических предприятиях Кемеровской и Томской области при реализации проекта по замене угля на КЖТ с твердыми коммунальными отходами. Результат работы используются в Национальном исследовательском Томском политехническом университете при подготовке специалистов (магистратура, аспирантура) в области экологически чистых топливных технологий.

**Достоверность результатов** диссертационных исследований подтверждается соответствием теоретических и экспериментальных значений интегральных характеристик горения. Также достоверность экспериментальных результатов обоснована автором диссертации за счет анализа систематических и случайных погрешностей соответствующих измерений.

**Личный вклад автора** состоит в формулировке цели и задач диссертации, планировании экспериментальных исследований, разработке методик

исследований, проведении опытов, обработке их результатов, оценке погрешностей, апробации результатов, выполнении математического моделирования процессов сжигания перспективных КЖТ, анализе и обобщении результатов исследований, разработке рекомендаций их использования, формулировке положений и выводов.

Замечания по диссертации носят рекомендательный характер.

1. Очевидно, что проводя оптимизацию, желательно улучшить такие характеристики производственного процесса, как экономическая целесообразность, устойчивость, надежность и др. В то же время, требуется соблюдать нормы на сырье, расход электроэнергии, обеспечить экологические нормы. Такая оптимизация является многоцелевой, мультиобъектной, многокритериальной (Парето – оптимизация). Комплексный критерий оценки эффективности технологии на стр.90 содержит далеко не все частные критерии, которые могут влиять на рецептуру топлива и даже противоречить друг другу.

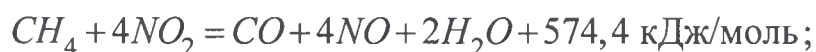
2. Жидкие горючие компоненты могут иметь различный углеводородный состав (отношение углерод/водород) в зависимости от содержания парафиновых и ароматических углеводородов, что, в конечном итоге, влияет на задержку воспламенения КЖТ и на теплоту сгорания.

3. Химический механизм горения углерода записан не верно (стр.41), его можно представить реакцией:  $C + O_2 = CO_2$ , но протекают и побочные реакции  $2C + O_2 = 2CO$ . Во влажной среде происходит газификация углерода по реакции  $C + H_2O = CO + H_2$ . При низких температурах процесс горения протекает в кинетической области и его следует рассматривать как чисто химический процесс. При высоких температурах скорость реакции намного превышает скорость диффузии, и это уже физический процесс.

4. Также не в полной мере убедительно утверждение, что положительным эффектом по снижению концентраций  $NO_x$  и  $SO_x$  является то, что продукты разложения воды и монооксид углерода вступают в химическое реагирование с оксидами азота и серы и образуют соли, которые остаются в золе. Это было бы желательно подтвердить фактами, или сделать ссылку на литературу.

5. Восстановление азота из оксидов - сложный каталитический процесс. Образование оксидов азота в топках происходит в результате окисления азота воздухом при высоких температурах:

$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO - 180 \text{ кДж/моль}$ . Концентрация образовавшихся продуктов ( $NO_x$ ) зависит от температуры и избытка воздуха в зоне горения. Использование рецикла восстанавливает  $NO_x$  природным газом:



$CH_4 + NO = CO_2 + 2N_2 + 2H_2O$ . В качестве катализатора применяются металлы типа Pt, Pd, Ni, Cu, Cr, Fe и их сплавы. В качестве восстановителя может быть использован водород.

#### **Общее заключение.**

1. Представленные диссертация и автореферат Д.П. Шабардина **соответствуют паспорту специальности 05.14.04** – Промышленная теплоэнергетика, в частности, п. 1 «Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов в промышленных теплоэнергетических устройствах и использующих тепло системах и установках» и п.8 «Разработка теоретических основ создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок». Получены высокие значения относительных комплексных экологических, экономических и энергетических показателей сжигания КЖТ с твердыми коммунальными отходами в сравнении с традиционным пылевидным сжиганием угля. Результаты работы способствуют развитию энерго и ресурсосберегающих технологий. Автор установил условия и характеристики эффективного зажигания суспензий КЖТ с добавлением ТКО в модельных камерах сгорания, получил аппроксимационные выражения для прогнозирования значений этих характеристик на основе развития моделей зажигания и горения мультитопливных капель КЖТ. Автором проанализирована структура, объемы и энергетический потенциал для наиболее широко распространенных ТКО, низкосортных углей, отходов углеобогащения и нефтепереработки. На основе сравнительного анализа продемонстрированы высокие значения относительных комплексных экологических, экономических и энергетических индикаторов сжигания КЖТ с ТКО в сравнении с традиционным пылевидным сжиганием угля.

2. Материалы диссертационных исследований достаточно полно **опубликованы** в российских («Химическое и нефтегазовое машиностроение», «Бутлеровские сообщения») и международных высокорейтинговых (входят в 1-2 квартиль базы цитирований Web of Science) журналах («Chemosphere», «Powder Technology», «Journal of Environmental Management», «Energies», «Journal of Cleaner Production», «Fuel Processing Technology»), рекомендованных ВАК для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций.

3. Диссертантом проведена хорошая работа по **апробации результатов исследований на всероссийских и международных конференциях** в Москве, Томске, Новосибирске и др.

4. На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Д.П. Шабардина можно сделать заключение о том, что диссертация «Утилизация отходов в составе суспензионных топлив для снижения их вредного воздействия на окружающую среду с выработкой энергии» соответствует п.п. 8-12 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ 93/од от 06.12.2018 г. (dis.tpu.ru), а её автор, Дмитрий Павлович Шабардин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Иванчина Эмилия Дмитриевна  
Доктор технических наук, профессор,  
(05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, технические науки),  
профессор отделения химической инженерии  
Инженерной школы природных ресурсов  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет» \_\_\_\_\_  
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 43а, корпус 2, ауд. 135, +7 (382-2) 701-777,  
[ied@tpu.ru](mailto:ied@tpu.ru)



«\_1\_» сентября 2020 г.

Подпись Э.Д. Иванчиной заверяю  
Ананьева Ольга Афанасьевна,  
Ученый секретарь Ученого совета ТПУ



Россия, 634050, Томская область,  
г. Томск, пр. Ленина 30, Главный корпус ТПУ, Офис 330  
[scs@tpu.ru](mailto:scs@tpu.ru)