

Утверждаю

директор по научной работе

Иванов Сергей Васильевич

«20» _____ 2025 г.

ОТЗЫВ ведущей организации

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» на диссертационную работу **Ахмед Ашраф Абдулла Ахмед** на тему «**Повышение эффективности сжигания твердого топлива и отходов в котлах малой мощности с колосниковой решеткой**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Актуальность темы

В настоящее время не существует единой универсальной технологии обращения с твердыми коммунальными отходами. Мировая тенденция утилизация органической не перерабатываемой части – «Waste-to-Energy», то есть термическая утилизация с выработкой энергии. Традиционно сложилась, что эта технология реализуется на крупных мусоросжигательных заводах в крупнотоннажных печах, оснащенных многоступенчатыми капиталоемкими системами газоочистки, стоимость которых может многократно превышать капитальные затраты на основной котельный агрегат. Поэтому сжиганию отходов в крупных агрегатах посвящена большая часть исследований в этом направлении.

Вместе с тем в мире существует большое количество мест образования отходов, характеризующихся их небольшим количеством, в основном это средние и маленькие города и поселения. Альтернативой термической утилизации в этом случае является только захоронение отходов на полигонах, что приводит к сильному негативному воздействию на окружающую среду, в том числе и из-за неконтролируемых возгораний. Поэтому, несмотря на успешное решение комплекса задач в области крупных мусоросжигательных агрегатов, остается ряд вопросов, связанных со сжиганием коммунальных отходов в установках малой мощности, что определяет необходимость дальнейших исследований. Для решения возможности сжигания твердых коммунальных отходов в установках малой мощности необходимо выполнение ис-

следований и разработке способов оценки эффективности горения и величины выбросов загрязняющих веществ.

В связи с вышеизложенным, диссертационная работа Ахмед Ашраф Абдулла Ахмед на тему «Повышение эффективности сжигания твердого топлива и отходов в котлах малой мощности с колосниковой решеткой», в которой решается важная научно-техническая задача, заключающаяся в исследовании процесса сжигания неоднородного твердого топлива и твердых коммунальных отходов в топках печей и котлов малой мощности с целью за счет организации рациональной структуры газового потока в топке и дожига несгоревших соединений и загрязняющих веществ после неё, что обеспечивает эффективность горения, полное сгорания горючих веществ в газовой фазе и снижения объема вредных выбросов.

Ахмед Ашраф Абдулла Ахмед в диссертационной работе применил системный подход к решению поставленных задач и использовал комбинацию экспериментальных и вычислительных методов исследования.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, библиографического списка из 222 наименований и четырех приложений. Объем диссертации без библиографического списка и приложения – 130 страниц, общий объем – 196 с.

Во введении обоснована актуальность работы, поставлены цель и задачи исследования, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту, показаны обоснованность и достоверность полученных результатов, апробация работы.

В первой главе рассмотрены особенности организации сжигания твердых коммунальных отходов и образование вредных выбросов, технические проблемы при сжигании древесных и бытовых отходов, проанализированы подходы к математическому моделированию процессов горения твердого топлива и CFD-моделированию горения слоевого твердого топлива в печах и котлах, рассмотрены математические модели газодинамики, горения и теплообмена, используемые при моделировании в Ansys Fluent. Сделан вывод, что при сжигании отходов возможно достичь требуемых экологических показателей, но проблемой является контроль необходимых режимов горения. В повышении эффективности крупномасштабных систем термической утилизации отходов широкое применение нашли системы CFD-моделирования, которые используются не только для прогнозирования работы установок, но и для оптимизации и повышения эксплуатационной эффективности.

Во второй главе представлена разработанная соискателем расчетная CFD модель горения твердого топлива в неподвижном слое. Произведен выбор расчетной области и расчетных моделей, произведен выбор способа построения расчетной сетки. Для оценки полноты и эффективности горения по результатам моделирования предложена методика расчета времени течения газового потока после завершения горения, позволяющая оценить область

окончания горения и полноту сгорания горючих веществ и разложения загрязняющих соединений. Предложены критерии оценки эффективности процесса горения и величины выбросов: долю несгоревших горючих веществ топлива, тепловой КПД топки и обобщенный критерий выбросов, представляющий массовый расход загрязняющих соединений, приведенных к единому нормализованному значению. Приведены выражения расчета данных критериев, как при проведении промышленных испытаний, так и по результатам численного моделирования.

В третьей главе произведена верификация разработанной CFD-модели, которая выполнена двумя способами – по результатам промышленных испытаний твердотопливного котла и по оценке величины образования загрязняющих веществ, определенных на основании нормативных расчетных методик и полученных по результатам численного моделирования. Промышленные испытания заключались в сжигании RDF-топлива в твердотопливном котле мощностью 1 МВт, эксплуатируемого на полигоне твердых коммунальных отходов «Стрелецкое» города Белгорода. Испытания проводились с целью оценки эффективности горения и количественных измерений выбросов вредных веществ. На втором этапе проверки адекватности модели сравнивались выбросы при сжигании ряда топлив а (древесина, антрацит, каменный и бурый уголь, торф, ТКО влажности 10, 20 и 30%), определённые по двум нормативным методикам и полученные в результате решения модели. Верификация показала адекватность разработанной CFD-модели и возможность использования моделирования для экологической оценки сжигания твердых топлив и ТКО.

В четвертой главе приведены результаты исследования с целью повышения эффективности сжигания твердых бытовых отходов и снижения выбросов загрязняющих веществ. Проведены вычислительные эксперименты для водогрейного КВМ-1,0 с неподвижной колосниковой решеткой мощностью 1 МВт по определению влияния на эффективность горения и выбросы вредных веществ таких параметров, как коэффициент избытка воздуха, температуры воздуха, подаваемого на горение, и геометрии топки. Сделан вывод, что повысить эффективность горения организацией режима горения в топке невозможно, так как одновременно достичь низких значений выбросов и полного сгорания топлива, изменяя рассматриваемые параметры, невозможно. Предложено сжигать отходы с минимально возможным количеством воздуха и обеспечить дожиг несгоревшего топлива и вредных веществ после топки, для чего выполнено исследование при различной организации движения газов в топке и газоходе после нее. Для исключения неравномерности потока газов из-за резкого поворота после топки, на основании анализа шести вариантов, предложена организация над котлом дополнительного газохода высотой 2,5 м с поворотом потока на 180° и опускной частью 2,5 м.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования соискателя.

В приложении представлены акты внедрения результатов диссертационного исследования в производственную деятельность ООО «ТК Экотранс», учебный процесс БГТУ им. В.Г. Шухова, письмо о намерениях использования результатов работы в учебном процессе университета Тикрит, акт промышленных испытаний твердотопливного котла, результаты статистической обработки результатов испытаний, текст программы, составленной по разработанной диссертантом методике.

Диссертационная работа прошла апробацию на всероссийских и международных конференциях, по её результатам опубликовано 14 печатных работ, в том числе три статьи в изданиях, рецензируемых ВАК РФ и три в изданиях, индексируемых в Scopus.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и полностью отражает ее результаты.

Научной новизной обладают следующие результаты работы:

1. Методами вычислительной гидродинамики проведены исследования горения твердого топлива в неподвижном слое на колосниковой решетке и установлены общие закономерности влияния режима сжигания на эффективность горения и образование вредных веществ.

2. Разработана методика расчета времени течения газового потока после завершения горения по данным линий тока газовой среды

3. Для оценки эффективности горения топлива в топке предложены критерии: доля несгоревших горючих веществ топлива, КПД топки, обобщенный критерий выбросов.

4. Разработана методика расчета времени течения газового потока после окончания горения по данным линий тока, сгенерированным в результате моделирования твердотопливного котла в ANSYS Fluent.

Теоретическая значимость полученных автором диссертации результатов:

1. Предложенный подход к численному моделированию процесса горения твердого топлива на колосниковой решетке позволяет с требуемой точностью и приемлемыми временными затратами получить локальные характеристики процесса горения, которые невозможно определить прямыми измерениями, а также производить экологическую оценку сжигания топлив на основе моделирования.

2. Метод расчета времени течения газового потока после окончания горения позволяет выполнять оптимизацию при конструировании и анализе работы котлов.

Практическая значимость полученных автором диссертации результатов: Результаты работы доказывают возможность использования отходов в качестве топлива при условии организации необходимого режима горения. Предложенный подход к организации горения позволяет повысить КПД топки с 83,7% до 89,4% и снизить выбросы с 0,325 до 0,304 г/МДж. Установлены оптимальные значения коэффициента избытка воздуха и влаж-

ности RDF-топлива.

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО «ТК «Экотранс», г. Белгород, и могут быть рекомендованы для утилизации отходов в границах полигонов ТКО. Результаты внедрены в учебный процесс БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород) и в Университет Тикрита (Республика Ирак).

Замечания по работе

1. Для топливных ячеек выбрана прямоугольная форма. Чем обусловлен этот выбор и размеры этих ячеек?

2. На рис. «Схема измерений» термопара для измерения температуры газов после топки находится не в выходном окне, а в трубном пучке. Не оказывает ли это влияние на точность измерений?

3. В работе приводятся результаты определения времени прохождения потоков газа по линии тока, но нет обоснования выбора количества этих линий. Требуется показать, что представленные выборки соответствуют процессам в топке без их критического упрощения.

4. В работе указано, что величина КПД котла не характеризует эффективность горения в топке. Требуется пояснение этого утверждения.

5. В работе указано, что «эффективное управление горением ... может выполняться на основе методов вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics)...». Следует отметить, что применение CFD действительно эффективно для систем с сложной геометрией и многоконтурной динамикой, однако погрешности при задании входных данных (геометрия объекта, режимы теплового потока, свойства материалов, скорости и температуры, состав газовой фазы, параметры выбросов и т.д.) могут ограничивать применимость результатов CFD-моделирования.

6. Утверждение «достичь низких значений выбросов и полного сгорания топлива в котлах малой мощности только рационализацией горения в топке невозможно» может быть слишком категорично, поскольку в одном случае рационализация горения может дать значительный эффект, в другом — меньший, в зависимости от влияния разных факторов: геометрия топки, режимы подачи топлива и воздуха, свойства топлива, турбулентность и фазовые взаимодействия.

Соответствие диссертации и автореферата паспорту научной специальности

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспорту специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, а именно пунктам:

п. 9. Системы обеспечения теплового режима теплоэнергетических объектов, методы их совершенствования;

п. 10. Теоретические основы создания малоотходных тепловых технологических установок, способствующих защите окружающей среды.

Соответствие содержания диссертационной работы специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, по которой она представляется к защите, подтверждается апробацией работы, её научной новизной и практи-

ческой значимостью.

Заключение

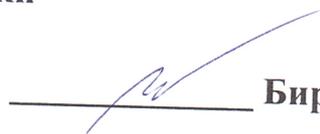
Диссертационная работа «Повышение эффективности сжигания твердого топлива и отходов в котлах малой мощности с колосниковой решеткой», в которой решена важная научно-практическая задача, заключающаяся в повышении эффективности горения, обеспечении полного сгорания горючих веществ в газовой фазе и снижении объема вредных выбросов при сжигании неоднородного твердого топлива в топках печей и котлов малой мощности за счет организации рациональной структуры газового потока в топке и дожигания несгоревших соединений и загрязняющих веществ после нее по своей актуальности, научной новизне, уровню выполнения, научной и практической значимости полученных результатов и личному вкладу автора полностью соответствует критериям, установленным в п. 9-14 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а её автор, Ахмед Ашраф Абдулла Ахмед, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Диссертация, автореферат и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры технической теплофизики, протокол № 6 от «20» ноября 2025 г.

**Заведующий кафедрой
технической теплофизики**

ДонНТУ,

д-р техн. наук, проф.



Бирюков Алексей Борисович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий национальный технический университет»

Адрес: 283001, Донецкая Народная Республика, г. о. Донецк, г. Донецк, ул. Артема, д. 58.

Телефон: +7 (856) 301-07-09

E-mail: donntu.info@mail.ru

Подпись

я Борисовича заверяю.

**Прорект
по научн**



Сергей Васильевич Борщевский