

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и
международному сотрудничеству КузГТУ
кандидат технических наук, доцент
Костиков К.С.



2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева»

Диссертация «Разработка технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила» выполнена на кафедре химической технологии твердого топлива Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

В процессе подготовки диссертации Боголюбова Ирина Владимировна, «19» мая 1994 года рождения, была аспирантом заочной формы обучения, срок обучения в аспирантуре – 5 лет.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов №92 выдана 09.06.2025 г. в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

Научный руководитель – кандидат технических наук по научной специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (отрасль химическая), доцент кафедры химической технологии твердого топлива Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Ушаков Андрей Геннадьевич.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность

В рамках технологического процесса биохимической очистки сточных вод ежегодно образуются около 123 млн м³ ила влажностью 98 %. Учитывая, что илы, образующиеся

утилизации отходов в таких количествах по экобезопасной технологии приобретает первостепенное значение. В России как удобрение используется 1–6 %, перерабатывается не более 3 %, основная масса ила хранится в илонакопителях или на свалках промтоходов. За рубежом в качестве удобрения используется в среднем 32,4 % осадка сточных вод. Так, в Люксембурге их используется 90 %, в Германии – 30 %, а в Бельгии – 10 %.

На сооружениях крупных городов России с населением более миллиона человек количество осадка может колебаться от 6000 до 10000 м³ в сутки. Утилизация такого количества «сырого» осадка представляет достаточно сложную технологическую и экологическую проблему.

Рассматриваемые технологии обработки осадков сточных вод направлены в основном на максимальное уменьшение их объёмов для более удобного транспортирования и утилизации.

При этом содержание органического углерода в ИАИ может достигать более 60 %, что свидетельствует о его высоком энергетическом потенциале с возможностью получения топлива для использования в котельных и топках промышленного назначения.

Использование ресурсов биомассы, являющейся эффективным возобновляемым источником энергии, для создания топливных гранул на основе угольной пыли представляется перспективным решением ввиду большого разнообразия потенциального сырья, а именно:

- 1) избыточный активный ил, образующийся на городских станциях очистки сточных вод, подвергаемый процессу обезвоживания;
- 2) мелкодисперсные некондиционные материалы, образующиеся в технологическом процессе предприятий переработки угля.

Термическая переработка формованной смеси угольных отходов и обезвоженного избыточного активного ила (ОИАИ) приводит к получению ценного газообразного топлива (СН₄, Н₂). Несмотря на проводимую большую исследовательскую работу в данном направлении, многие сложно композиционные отходы ещё недостаточно глубоко изучены и для них не разработаны технологические решения по использованию энергетического потенциала газообразных продуктов процесса пиролиза.

При этом становятся возможными изучение физико-химических свойств производственных побочных продуктов и промышленных отходов, разработка новых путей их утилизации, выдача рекомендаций по выделению основного вещества, а также компонентов для их последующего вторичного применения.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследований, выборе объектов и методов исследований, систематизации и интерпретации полученных результатов, формулировании научных положений и выводов, разработке математической модели.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается:

- использованием достаточного количества экспериментов, современных методов исследования, соответствующих поставленным задачам, результатов и применением методов статистического анализа.
- выводы статистически обоснованы, наглядно представлены в таблицах и рисунках.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: Всероссийской научно-практической конференции «Теоретические и практические аспекты функциональной экологии» (г. Пушкино, 2016 г.); I Международном научном форуме молодых ученых «Наука будущего – наука молодых» (г. Севастополь, 2015 г.); Инновационных конвентах «Кузбасс: образование, наука, инновации. Молодежный вклад в развитие НОЦ «Кузбасс» (г. Кемерово, 2019 и 2023 гг.); 5th International Innovate Mining Symposium, IIMS 2020 (Kemerovo, 2020); XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая» (г. Кемерово, 2021 г.)

Практическая часть диссертационной работы является основой проекта, занявшего первое место во Всероссийском конкурсе «Энергия знания» (2015 г.); получен грант по программе «У.М.Н.И.К.-2014».

Научная новизна работы

1. Впервые показано, что использование обезвоженного избыточного активного ила в качестве связующего вещества (от 20 до 40 мас.%) совместно с некондиционными углеродсодержащими продуктами позволяет получить топливные гранулы с достаточными эксплуатационными характеристиками, пригодные к термической переработке методом пиролиза.

2. Впервые показано и научно обосновано, что верхней температурной границей процесса пиролиза гранул, включающих ОИАИ в качестве связующего вещества, является 600 °С, после чего изменение массы не превышает 5-7 мас.%.

3. Впервые определены наилучшие технологические параметры процесса пиролиза топливных гранул смеси ОИАИ / некондиционные углеродсодержащие материалы, позволяющие получить наибольший тепловой эффект сгорания продуктов пиролиза: границы массовых долей компонентов топливных гранул, температурный интервал и длительность проведения процесса пиролиза.

4. Впервые представлено математическое описание влияния основных действующих факторов процесса термической переработки топливных гранул на основе ОИАИ на содержание смеси $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ об.% в пиролизном газе.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость работы состоит в научном обосновании разработанной технологии, которая позволяет перерабатывать некондиционные углеродсодержащие материалы и ОИАИ с получением пиролизного газа с высокой теплотворной способностью.

На основании изучения взаимодействия компонентов представлено обоснование влияния количества ОИАИ в топливных гранулах на их прочность и состав выделяемого газа.

Предложено математическое описание влияния основных действующих факторов процесса термической переработки топливных гранул.

Практическая значимость

Проведенные исследования показали, что технология переработки отходов может найти применение на предприятиях, где образуются некондиционные углеродсодержащие материалы, а также ОИАИ, что будет способствовать решению проблемы утилизации отходов.

Получаемые топливные гранулы, подвергаемые пиролизу с получением газовой смеси $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, могут быть рекомендованы в качестве альтернативного источника топлива для предприятий в технологических процессах использования пиролизных печей.

Опыт переработки топливных гранул, состоящих из некондиционных углеродсодержащих материалов и ОИАИ, может быть использован на предприятиях – источниках образования данного сырья и реализующих технологии по его переработке с получением высококалорийного газа.

Разработанный программно-алгоритмический комплекс (Свидетельство о регистрации программы RU 2023615118 от 10.03.2023 г.) может быть использован на предприятиях реального сектора экономики, специализирующихся на схожих термических процессах для прогнозирования содержания и состава смеси $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ в пиролизном газе.

Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По результатам выполненных исследований опубликовано 12 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных научного цитирования Scopus и Springer. Получено свидетельство о регистрации компьютерной программы RU 2023615118 от 10.03.2023 г.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. **I.V. Bogolubova, A.G. Ushakov, E.S. Ushakova** Gas Liberation in High-Temperature Pyrolysis of Coal Wastes with Binder // *Coke and Chemistry*. 2022. Vol. 65, No. 10. Pp. 459-463. (Scopus, Springer)
2. **I.V. Bogolubova, A.G. Ushakov, E.S. Ushakova** Pyrolysis of Carbon-Bearing Materials: Three-Factor Experiment and Simulation // *Coke and Chemistry*. 2022. Vol. 65, No. 11. Pp. 558-563. (Scopus, Springer)

Публикации в прочих изданиях:

1. Козлова И.В. Использование метода анаэробного сбраживания для решения проблемы накопления избыточного активного ила / **И.В. Козлова**, А.Г. Ушаков, Е.С. Ушакова // Ползуновский вестник. – 2016. – № 1. – С. 64-66.
2. Ушаков А.Г. Технологическое оформление схемы совместного использования продуктов переработки угля и органических отходов / А.Г. Ушаков, Е.С. Ушакова, **И.В. Боголюбова** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 1 (137). – С. 85-90.
3. Ушаков А.Г. Техногенное сырье предприятий добычи и переработки твердых горючих ископаемых как перспективный источник энергоресурсов / А.Г. Ушаков, Е.С. Ушакова, **И.В. Боголюбова** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – №1 (137). – С. 91-97.
4. Ушаков А.Г. Влияние изменения состава исходной сырьевой смеси на свойства получаемого гранулированного твердого топлива / А.Г. Ушаков, Е.С. Ушакова, **И.В. Боголюбова** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 4 (146). – С. 21-28. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-4-21-28.

Публичные доклады на международных и всероссийских научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):

1. Боголюбова И.В. Формование топливных гранул из некондиционных углеродных материалов и ОИАИ / **И.В. Боголюбова**, А.Г. Ушаков // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: материалы I международной VII Всероссийской конференции, Кемерово, 27 – 29 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 401.1-401.6.
2. Боголюбова И.В. Обработка данных процесса пиролиза углеродсодержащих веществ с помощью программно-алгоритмического средства / **И.В. Боголюбова** // Кузбасс: образование, наука, инновации: Материалы XI Инновационного конвента, Кемерово, 08 февраля 2023 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. – С. 402-405.
3. Боголюбова И.В. Изучение влияния различных составов сырья на изменение свойств топливных гранул / **И.В. Боголюбова**, Е.С. Ушакова // Россия молодая: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 20 – 23 апреля 2021 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 73601.1-73601.4.
4. Ushakov A.G. Technogenic coal formations – promising raw materials for improvement of mining and processing enterprises energy independence / A.G. Ushakov, E.S. Ushakova, **I. Bogolyubova**, G. Alibaeva // E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19 – 20 October, 2020. – Kemerovo, 2020. – P.02005.
5. Боголюбова И.В. Изучение распределения фракционного состава при гранулировании смеси угольных и органических отходов / **И.В. Боголюбова**, А.Г. Ушаков //

Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 26 – 27 ноября 2019 года / Под редакцией С.Г. Костюк. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. – С. 303-1-303-4.

6. Боголюбова И.В. Переработка угольных отходов с помощью высокотемпературного процесса пиролиза / **И.В. Боголюбова**, Е.С. Ушакова, А.Г. Ушаков // Инновационный конвент «Образование, наука, инновации. Молодежный вклад в развитие научно-образовательного центра «Кузбасс»: Материалы Инновационного конвента, Кемерово, 13 декабря 2019 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2019. – С. 394-396.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615118 Российская Федерация. Программа обработки данных трехфакторного эксперимента и расчета математической модели процесса пиролиза углеродсодержащих веществ: № 2023613116 : заявл. 17.02.2023 : опубл. 10.03.2023 / А.Г. Ушаков, Е.С. Ушакова, И.В. Боголюбова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

Специальность, которой соответствует диссертация

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в части пункта 8: «Разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного и нетопливного назначения».

Основные научные результаты, выводы заключаются в следующем:

1. Установлено, что при проведении термического процесса пиролиза с увеличением температуры и снижением количества связующего вещества увеличивается содержание $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, об.% в газе. Экспериментально доказано, что использование связующего вещества в пределах 20-30 мас.% от общей массы приводит к достаточно высокому выходу пиролизного газа без разрушения топливных гранул.

2. Установлена и формализована зависимость выхода $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, об.% от температуры. Определено, что наибольшая калорийность выделяемого газа наблюдается при пиролизе гранул в температурном интервале (450-600) °С за счет повышенного содержания компонентов $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, об.%.

3. Построена математическая модель процесса пиролиза путем анализа влияния основных факторов на процесс пиролиза, а именно влажности материала W , мас.%; температуры процесса T , °С; продолжительности реакции t , мин.

Общее заключение по выполненным исследованиям:

На основании выполненных исследований в диссертации решена задача разработки технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и ОИАИ.

Работа соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники в Российской Федерации, утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. №899, п. «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

Диссертация Боголюбовой Ирины Владимировны на тему: «Разработка технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила» **рекомендуется** к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры химической технологии твердого топлива, состоявшемся 16 июня 2025 года, протокол № 11. В обсуждении приняли участие:

1. кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Неведров А.В.;
2. доцент, кандидат технических наук, доцент Папин А.В.;
3. доцент, кандидат технических наук, доцент Ушакова А.Г.;
4. доцент, кандидат технических наук, доцент Ушакова Е.С.;
5. кандидат технических наук, старший преподаватель Макаревич Е.А.;
6. кандидат технических наук, доцент Солодов В.С.;
7. кандидат химических наук, доцент Козлов А.П.

Принимало участие в голосовании 7 человек.

Результаты голосования: «за» – 7 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 11 от «16» июня 2025 г.



Неведров А.В.,
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой
химической технологии твердого топлива



Секретарь заседания:
Боброва И.В.,
учебный мастер II категории кафедры
химической технологии твердого топлива