Отзыв

официального оппонента
доктора физико-математических наук Адуева Бориса Петровича
на диссертационную работу **Боголюбовой Ирины Владимировны**
«Разработка технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки).

Актуальность диссертационного исследования.

Переход промышленных и коммунальных предприятий на принципы наилучших доступных технологий и сокращение объёмов размещаемых отходов производства и потребления остаются одними из ключевых требований современной природоохранной политики. В этих условиях технологии, обеспечивающие не просто складирование или захоронение отходов, а их вовлечение в производственный цикл с получением товарного продукта, приобретают особую значимость. Угольная отрасль Кузбасса ежегодно нарабатывает значительные объёмы некондиционных продуктов обогащения, для которых эффективные направления утилизации до настоящего времени не определены, а размещение на отвалах сопровождается риском самовозгорания и связанными с ним выбросами.

С другой стороны, объекты коммунального хозяйства – станции аэрации городских очистных сооружений – формируют постоянно возобновляемый поток обезвоженного избыточного активного ила (ОИАИ), для которого по существу отсутствуют масштабируемые способы переработки: используемая в качестве удобрения доля не превышает нескольких процентов, тогда как остальной объём накапливается в илонакопителях, занимающих значительные земельные площади и представляющих источник долговременного экологического воздействия.

В этой связи диссертационное исследование Боголюбовой И.В., направленное на разработку технологии, в которой два самостоятельных и слабо связанных между собой потока отходов – угольные некондиционные материалы и ОИАИ – объединяются в единый перерабатываемый продукт с получением горючего газа, является актуальным и отвечает задачам ресурсосбережения и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду в угледобывающих регионах.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций.

автора обеспечивается использованием апробированного аналитического оборудования и стандартизированных методик: технического и элементного анализа

сырья, отбора проб по ГОСТ Р 59248-2020, термогравиметрического анализа, газовой хроматографии и калориметрии. Планирование экспериментов и обработка результатов выполнены с применением методов математической статистики, что обеспечивает корректность сделанных выводов.

Структура и объём диссертации.

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе данных научного цитирования Scopus. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты исследований представлены на международных и всероссийских конференциях.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня обозначений и сокращений, списка использованной литературы и источников, включающего 128 наименований и 3 приложений. Общий объём работы – 163 страницы, включая 45 рисунков и 56 таблиц.

Содержание работы по главам.

Во введении автором обоснована своевременность исследования, обусловленная необходимостью вовлечения техногенных отходов в хозяйственный оборот. Определены цель и задачи работы, выбраны объекты и методы исследования. Изложены научная новизна, теоретическая и прикладная значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации и публикациях. Представленные в данном разделе положения дают чёткое представление о структуре и содержании диссертационной работы.

Первая глава представляет собой обстоятельный аналитический обзор, охватывающий широкий круг вопросов – от положения угольной отрасли Кузбасса в общероссийском контексте до современных методов обращения с осадками сточных вод. Автор не ограничивается простым перечислением известных подходов, а целенаправленно выстраивает логику выбора объектов исследования: последовательно показывает, почему именно ОИАИ является перспективным связующим для гранулирования угольных отходов, опираясь на его физико-химические свойства и энергетический потенциал. Рассмотрение термического поведения различных видов твёрдого топлива создаёт необходимую теоретическую базу для последующего обоснования температурных параметров пиролиза, что придаёт обзорной главе не формальный, а содержательный характер.

Вторая глава отличается методической тщательностью и полнотой описания экспериментальных подходов. Применение комплекса взаимодополняющих аналитических методов – термогравиметрического анализа, газовой хроматографии, калориметрии, атомно-абсорбционной спектрометрии – обеспечивает всестороннюю

характеристику как исходного сырья, так и продуктов переработки. Все использованные методики опираются на действующие стандарты, что гарантирует воспроизводимость результатов. Выбор ортогонального центрально-композиционного планирования второго порядка для построения математической модели позволяет получить полноценное квадратичное уравнение при минимально необходимом числе опытов.

Третья глава является наиболее объёмной и содержательной частью диссертации, в которой прослеживается чёткая внутренняя логика: от характеристики сырья – к исследованию гранул, затем к пиролизным экспериментам и наконец к математическому моделированию.

Термогравиметрические данные использованы не только как самостоятельный результат, но и как инструмент обоснования ключевого технологического параметра – верхней температурной границы пиролиза.

Систематическое варьирование состава гранул и температуры позволило выявить область оптимальных условий с наибольшим выходом горючих компонентов, а построение регрессионной модели с проверкой адекватности по статистическим критериям придаёт полученным результатам инженерную практичность. Реализация модели в виде программного комплекса с графическим интерфейсом органично завершает главу, переводя теоретические результаты в инструмент практического использования.

В четвертой главе разработанная технологическая схема представляет собой проработанное инженерное решение. Детальное описание назначения каждого аппарата, характеристика всех технологических потоков и обоснование принципа автономного теплоснабжения установки за счёт сжигания части пиролизного газа свидетельствуют о глубоком понимании автором практических аспектов реализации технологии. Тепловой расчёт подтверждает энергетическую самодостаточность схемы и обеспечивает обоснованный переход от лабораторных результатов к уровню проектного решения.

Пятая глава рассматривает разработанную технологию в контексте её экономической востребованности. Детальный расчёт капитальных и эксплуатационных затрат с разбивкой по статьям, определение себестоимости продукции и итоговых показателей эффективности складываются в целостную экономическую картину, позволяющую объективно оценить инвестиционную привлекательность проекта. Полученные результаты подтверждают практическую перспективность предложенной технологии для предприятий угольной и коммунальной отраслей региона.

В заключительной части диссертации подведены итоги проведённых исследований. Автором подтверждена принципиальная возможность переработки исследуемых отходов в высококалорийный пиролизный газ, определены рациональные

параметры процесса, предложена технологическая схема его реализации. Выводы, сформулированные в заключении, соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о завершённости работы.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

– экспериментально установлены границы содержания ОИАИ в составе топливных гранул, при которых обеспечивается их механическая прочность, достаточная для термической переработки, без использования дополнительных связующих компонентов;

– методом термогравиметрического анализа доказано, что термическая деструкция органической части гранул на основе ОИАИ практически завершается при 600 °С, что определяет энергетически обоснованную верхнюю границу процесса пиролиза;

– установлена область режимных параметров, обеспечивающая получение пиролизного газа с максимальным суммарным содержанием CH_4 и H_2;

– получена квадратичная регрессионная зависимость состава пиролизного газа от влажности, температуры и продолжительности процесса, адекватность которой подтверждена статистическими критериями, и реализован программный комплекс для её расчёта.

Теоретическая и практическая значимость работы.

– автором обоснована технология переработки некондиционных углеродсодержащих материалов и обезвоженного избыточного активного ила, обеспечивающая получение пиролизного газа с высокой теплотворной способностью;

– установлены закономерности взаимодействия компонентов сырьевой смеси и обосновано влияние содержания обезвоженного избыточного активного ила в составе топливных гранул на их прочностные характеристики, а также на качественный и количественный состав образующегося пиролизного газа;

–разработано математическое описание влияния основных технологических факторов процесса термической переработки топливных гранул на показатели процесса и состав газообразных продуктов;

– установлено, что получаемые топливные гранулы могут быть использованы для пиролизной переработки с получением газовой смеси $CH_4 + H_2$, рекомендуемой в качестве альтернативного топлива для технологических процессов с использованием пиролизных установок;

– разработанные технологические решения могут быть внедрены на предприятиях – источниках образования некондиционных углеродсодержащих материалов и обезвоженного избыточного активного ила, а также на предприятиях, реализующих технологии их переработки с получением высококалорийного газа;

– создан программно-алгоритмический комплекс (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023615118 от 10.03.2023 г.), позволяющий прогнозировать содержание компонентов газовой смеси $CH_4 + H_2$.

В качестве рекомендаций и замечаний можно отметить следующее:

1. Представленные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования ОИАИ в качестве связующего вещества. Вместе с тем целесообразно привести сравнительный анализ с другими известными связующими веществами, поскольку в работе, несмотря на наличие обзора связующих в разделе 1.1 (стр. 12–17), отсутствует сопоставительная оценка различных типов связующих применительно к задачам термической переработки углеродсодержащих отходов.

2. Представляет интерес дальнейшее исследование направлений практического использования углеродистого остатка, образующегося в процессе пиролиза. С учётом высокого содержания углерода целесообразно рассмотреть возможность его применения в качестве модифицирующей добавки к строительным материалам либо компонента теплоизоляционных изделий, однако в работе данные направления практического применения не рассмотрены, несмотря на наличие характеристик углеродистого остатка и его сорбционных свойств в разделе 3.8 (стр. 83–88).

3. В перечне условных обозначений и сокращений приведены не все используемые в работе аббревиатуры, что затрудняет восприятие текста. В частности, отсутствуют расшифровки ряда сокращений, встречающихся в тексте диссертации (ТГА, ПФЭ, ОЦКП, ЦКП, ПИД, КЭС и др.), при том, что перечень обозначений и сокращений представлен на стр. 123.

Указанные замечания носят частный характер, не затрагивают существа защищаемых положений и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Общее заключение по диссертационной работе.

Диссертационная работа Боголюбовой Ирины Владимировны представляет собой завершённое самостоятельное исследование, в котором на основе экспериментальных данных и математического моделирования разработана технология совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила, обеспечивающая получение пиролизного газа с повышенным содержанием горючих компонентов.

Рассмотренная диссертационная работа Боголюбовой Ирины Владимировны на тему «Разработка технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила» отвечает требованиям

Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а её автор, Боголюбова Ирина Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки).

Официальный оппонент:
Главный научный сотрудник федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук, профессор (специальность 02.00.04 – физическая химия)

Б.П. Адуев

«10» 08 2026 года.

Заверяю подпись Адуева Б.П.
Ф.И.О.
Табунщика Т.В.
10 08 2026 г.
ведущий специалист по кадрам

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук
ОТДЕЛ КАДРОВ

Адрес: 650000, г. Кемерово,
пр. Советский, д.18
Телефон: +7 (3842) 36-69-04
E-mail: info@ficuuh.ru