ОТЗЫВ официального оппонента,

кандидата химических наук Куликова Альберта Борисовича

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)

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Боголюбовой Ирины Владимировны посвящена разработке технологии совместной термической переработки «обезвоженного избыточного активного ила» (ОИАИ) городских очистных сооружений и некондиционных угольных материалов с получением высококалорийного пиролизного газа и направлена на решение практически значимой инженерно-химической задачи – создание ресурсосберегающей технологии термической переработки двух классов отходов производства и жизнеобеспечения.

Актуальность работы

Актуальность исследования обусловлена масштабом двух самостоятельных проблем. Первая – накопление обезвоженного избыточного активного ила городских очистных сооружений: ежегодно в России его образуется около 123 млн м³, из которых в качестве удобрения используется лишь 1–6%, а основная масса поступает в илонакопители или на свалки промышленных отходов. Высокое содержание органического углерода в ОИАИ (до 60%) определяет его значительный энергетический потенциал, который при традиционных способах обращения с отходами не реализуется. Вторая проблема – образование мелкодисперсных некондиционных угольных материалов на угольных и коксохимических предприятиях Кузбасса, утилизация которых сопряжена с экологическими и экономическими трудностями.

Предложенный в диссертации подход – использование ОИАИ в качестве связующего вещества при формовании топливных гранул из некондиционных угольных материалов с последующим пиролизом – позволяет одновременно решить обе задачи. Совместная термическая переработка гранулированного сырья с получением высококалорийного пирогенетического газа отвечает современным требованиям энергоэффективности и ресурсосбережения и соответствует приоритетному направлению развития науки и техники Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (Указ Президента РФ № 899 от 07.07.2011).

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в комплексном исследовании процесса совместного пиролиза смесей ОИАИ и некондиционных угольных материалов. Впервые экспериментально обосновано, что ОИАИ в концентрации (20–40) мас.% выполняет функцию связующего вещества, обеспечивающего механическую прочность топливных гранул, достаточную для их термической переработки без применения дополнительных химических реагентов.

Впервые методом термогравиметрического анализа установлена верхняя температурная граница пиролиза гранул на основе некондиционных угольных материалов и ОИАИ (600°С), выше которой изменение массы образцов не превышает (5–7) мас.%.

Впервые получено математическое описание влияния основных факторов процесса (влажности сырья, температуры и продолжительности пиролиза) на содержание $CH_4 + H_2$ в пиролизном газе, построенное на основе ортогонального центрально-композиционного планирования второго порядка (ОЦКП).

Разработан программный комплекс на языке Python для автоматизации расчётов по модели ОЦКП и построения поверхностей отклика (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023615118 от 10.03.2023).

Теоретическая и практическая значимость

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

– установлены закономерности взаимодействия компонентов сырьевой смеси и обосновано влияние содержания ОИАИ 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 № RU 2023615118 от 10.03.2023 г., позволяющий прогнозировать содержание компонентов газовой смеси $CH_4 + H_2$.

Достоверность результатов и выводов

Достоверность результатов обеспечивается применением стандартизированных методов отбора проб (ГОСТ Р 59248-2020), аттестованных методов технического и элементного анализа сырья и продуктов, хроматографического анализа состава пиролизного газа, калориметрического определения теплоты сгорания твёрдого углеродистого остатка, а также термогравиметрического анализа на аттестованном оборудовании КузГТУ. Воспроизводимость экспериментальных данных и корректность математической обработки подтверждены статистическими критериями Стьюдента и Фишера.

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. Все это свидетельствует о признании полученных результатов научным сообществом.

Содержание

Во введении сформулированы цель, задачи и защищаемые положения, определены объект и предмет исследования, показаны научная новизна и практическая значимость, приведены сведения об апробации результатов и публикациях по теме работы.

В первой главе выполнен обзор литературы по проблемам утилизации осадков сточных вод и некондиционных угольных материалов, рассмотрены существующие технологии совместной термической переработки углеродсодержащих отходов. Безусловным достоинством главы является чёткое позиционирование предлагаемого подхода на фоне известных аналогов и обоснование выбора объектов исследования. Однако приведенные в литературном обзоре краткие сведения о газификации представляются излишними, поскольку экспериментальная часть исследования посвящена пиролизу. При этом желательно было бы несколько расширить в обзоре часть, посвященную термическим превращениям угля и биомассы, подчеркнув общие черты и различия. Однако указанные высказывания относятся скорее к пожеланиям, чем к серьезным критическим замечаниям.

Во второй главе приведено описание исходного сырья – ОИАИ городской станции аэрации г. Кемерово и угольных шихт предприятий Кузбасса – методик технического и элементного анализа, методов формования гранул и испытания их механической

прочности. Описана экспериментальная лабораторная установка для пиролиза, методика хроматографического анализа газовой фазы и калориметрического определения теплоты сгорания продуктов.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты по влиянию содержания ОИАИ на прочность гранул, данные термогравиметрического анализа смесей с обоснованием верхней температурной границы пиролиза, а также результаты систематических экспериментов по пиролизу при различном количестве связующего вещества и продолжительности выдержки. Построена математическая модель по плану ОЦКП, выполнен анализ значимости коэффициентов регрессии и проверка адекватности модели.

Четвёртая глава посвящена разработке принципиальной технологической схемы совместной термической переработки ОИАИ и некондиционных угольных материалов. Дана характеристика основных аппаратов, выполнен тепловой расчёт технологической линии, оценены материальный баланс и тепловые показатели процесса.

Пятая глава содержит технико-экономическое обоснование разработанной технологии. Приведены расчёт капитальных и эксплуатационных затрат, себестоимость продукта и основные экономические показатели опытно-промышленной установки.

Заключение диссертации содержит выводы, соответствующие поставленным задачам и защищаемым положениям, и подтверждает достижение заявленной цели работы.

Диссертационная работа Боголюбовой И.В. отличается чёткой логикой построения, обоснованным выбором объектов и методов исследования, корректной экспериментальной и математической проработкой. Заявленные положения, выносимые на защиту, подтверждены экспериментальными данными. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, содержит элементы научной новизны и имеет практическую значимость, результаты отличаются достоверностью и воспроизводимостью.

Замечания:

1. При исследовании процесса пиролиза основное внимание уделено составу и теплотворной способности газообразных продуктов. Однако целевыми продуктами традиционного пиролиза являются твердые материалы (в данном случае полукокс и кокс). Кроме того, образуются также жидкие продукты (смола). Для повышения практической значимости работы целесообразно было бы расширить анализ состава и выхода этих продуктов в зависимости от основных показателей процесса. Это позволит выявить возможные направления практического использования всех получаемых продуктов.
2. В работе допущены некоторые неточности

2.1. Показатель Vdaf характеризует выход (содержание или долю) летучих веществ при расчете на сухое беззольное состояние.

2.2. В подписи к рисунку 3.3 допущена опечатка в слове «некодиционных», которое следует заменить на «некондиционных».

2.3. В табл 3.7 не указаны условия пиролиза (длительность, скорость нагрева)

2.4. Непонятно, газообразные продукты пиролиза гранул какого состава представлены в табл.3.7.

2.5. В таблицах выход пирогенетического газа приведен в л, а не в л/кг. Это затрудняет восприятие.

2.6. В табл.3.17 содержание метана и водорода указано в мас.%, а в табл. 3.14 те же цифра указаны как мол.%.

3. Непонятно, почему для расчета полного материального баланса выбрана смесь с 20% ОИАИ и температура 600С.

4. В тексте диссертации есть выводы к главе 4, но отсутствуют выводы к главе 3.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер, не затрагивают защищаемых научных положений и не снижают научной и практической значимости полученных результатов.

Диссертационная работа Боголюбовой Ирины Владимировны на тему «Разработка технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила» полностью соответствует паспорту научной специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (п. 8: разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твёрдых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного назначения).

Диссертация Боголюбовой И.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки технологии совместной термической переработки некондиционных угольных материалов и обезвоженного избыточного активного ила с получением высококалорийного пиролизного газа.

Представленная диссертация 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:
заместитель директора по науке, заведующий лабораторией «Химия углеводородов», институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук, кандидат химических наук, доцент (специальность 02.00.01 - неорганическая химия) А.Б. Куликов

«24» 08 2026 года.

Адрес: 119991, г. Москва, ГСП-1, Москва,
Ленинский проспект, дом 29
Телефон: +7 (495) 955-41-00
E-mail: akulikov@ips.ac.ru

Подпись г. Куликова А.Б. заверяю

Начальник отдела кадров Голунова А.А.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ИМЕНИ А.В. ТОПЧИЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК * ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ * ОТДЕЛ КАДРОВ