ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
РХТУ.2.6.02 РХТУ им. Д.И. Менделеева
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело №6/22
решение диссертационного совета
от 14.04.2022 г. №3

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Хоперскому Руслану Игоревичу, представившему диссертационную работу на тему «Энергоэффективная утилизация «хвостов» сортировки твердых коммунальных отходов с получением твердого и газообразного топлива» по научной специальности 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Принята к защите 03 марта 2022 года (протокол №2) диссертационным советом РХТУ.2.6.02 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 11 человек приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 535А от 30 декабря 2021 года.

Соискатель Хоперский Руслан Игоревич, 1990 года рождения, в 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» по специальности «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов», диплом серия КГ номер 75604.

В 2016 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» по специальности «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ», справка об окончании 05-22/33.

Соискатель работает старшим преподавателем и преподавателем химии СПО кафедры химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» и по совместительству научным сотрудником научно-исследовательского института Липецкиого государственного технического университета.

Диссертационная работа выполнена на кафедре химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет»

Научный руководитель – Бондаренко Антонина Викторовна, доцент кафедры химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кандидат химических наук.

Официальные оппоненты:

Налетов Алексей Юрьевич, профессор кафедры химической технологии углеродных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», профессор, доктор технических наук.

Слюсарь Наталья Николаевна, профессор кафедры охраны окружающей среды федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доцент, доктор технических наук.

Мурашов Владимир Ефимович, заместитель директора государственного казенного учреждения Московской области «Дирекция по организации обращения с отходами», доцент, кандидат технических наук.

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 15 печатных работах, в том числе 2-х статьях в журналах, индексируемых в научной базе Web of Science и 1-й статье в журнале, рекомендованном ВАК. Оформлен один патент на полезную модель, а также получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Опубликованные работы общим объемом 76 страниц полностью отражают результаты, полученные в диссертации. Результаты апробированы на всероссийских и международных конференциях. Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 40-80 % и заключается в непосредственном участии в планировании работ, проведении экспериментов, обработке и обсуждении результатов, а также в подготовке статей и ответа рецензентам.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Carbon sorbents for the purpose of ecological safety of rdf combustion Khoperskii R.I., Bondarenko A.V., Andriyantseva S.A., Dubinina L.A., Petukhova G.A. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2018. Т. 54. № 1. С. 78-84. DOI: 10.1134/S2070205118010100 (входит в базу научных публикаций Web of Science)

2. Хоперский Р.И., Бондаренко А.В. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов методом среднетемпературного пиролиза RDF // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. №4.- С. 17-30.

3. Khopersky, R.I., Bondarenko, A.V., Andriyantseva, S.A. et al. Coke-Battery Disposal of Solid Municipal Waste. Coke Chem. 63, 443–448 (2020). DOI : 10.3103/S1068364X20090045 (входит в базу научных публикаций Web of Science))

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Официального оппонента, доктора технических наук, профессора Налетова Алексея Юрьевича, профессора кафедры химической технологии углеродных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

В отзыве оппонент отразил актуальность темы в рамках «Стратегии развития промышленности по переработке отходов на период до 2030 года» и высокий потенциал коммерциализации результатов, краткую характеристику содержания работы, соответствие паспорту специальности, оценку научной новизны и практической значимости, достоверности полученных результатов и рекомендации по использованию результатов диссертации и выводов.

По результатам рассмотрения диссертации высказаны замечания:

1.1 Принимая во внимание, что работа заявлена как разработка энергоэффективной технологии утилизации ТКО, желательно было бы привести конкретный критерий энергоэффективности в обоснование достигнутого эффекта и представить его сравнение с современными аналогами технологий обращения с ТКО.

1.2 При выборе критерия энергоэффективности следовало бы исходить как из количественных, так и качественных показателей, поскольку в отдельных звеньях технологической системы обработки ТКО используются разные по качеству(ценности) виды энергии, в частности, теплота и электроэнергия. Или, по крайней мере, приводить данные полных энергетических балансов во всех технологических операциях производственной системы. Тем более, что при использовании ChemCad получить данные энергетического баланса несложно.

1.3 Не ясно, что подразумевается под невязкой баланса массы (табл.3,4, стр. 118 дисс.), поскольку баланс должен быть абсолютным.

1.4 При моделировании процесса пиролиза (стр. 124 дисс.) автором было принято допущение, что содержанием серы и хлора можно пренебречь. Однако в брутто-формуле имеется азот, а в продуктах

его нет. Возможно, в этом случае нужно было расширить допущения.

1.5 В разделе 4 диссертации при обосновании целесообразности разработанных технических решений на основании ряда технико-экономических показателей лучше руководствоваться не значениями мощности (табл. 4.2 стр. 121 дисс.), а значениями работы в годовом исчислении в расчете на производительность установки , тем более, что далее приводятся оценочные показатели капитальных затрат.

Замечания терминологического характера

1.6 Используемый в диссертации термин «хвостов» сортировки ТКО нельзя признать удачным.

1.7 Термин «возобновляемый ресурс по отношению к ТКО (Глава 1. стр. 14) также нельзя признать удачным. Термин возобновляемый ресурс используется в контексте кругооборота веществ в Биосфере. Лучше использовать понятие рециклинга, когда отходы возможно превратить в продукты с новыми потребительскими свойствами, увеличивая, тем самым, время жизни промышленной продукции в целом.

1.8 На стр. 9 автор использует термин RDF –топливо, хотя, следуя дословному переводу данной аббревиатуры, это уже топливо из отходов.

Оппонент указал соответствие работы следующим пунктам паспорта специальности в части направлений исследований:

3. Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья.

10. Электродные технологии и технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Новые виды сырьевых углеродистых материалов.

12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

В заключении указано, что работа выполнена на высоком теоретическом уровне и обладает практической значимостью полученных в ней результатов, предложений и рекомендаций, представляет собой логически связанное исследование, материал представлен в полном соответствии с поставленными целями и раскрывающими их задачами. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в целом отвечающей требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки).

Работа отвечает критериям, установленным пунктом 2.1 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора от 17 сентября 2021, № 1523, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, автор Руслан Игоревич Хоперский заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

2. Официального оппонента доктора технических наук, доцента Слюсарь Натальи Николаевны, профессора кафедры охраны окружающей среды федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

В отзыве оппонент отразила актуальность темы диссертационной работы, указав, что научное обоснование подходов к получению твердого и газообразного топлива из неутилизируемых остатков сортировки ТКО позволит не только снизить объемы отходов, направляемых на захоронение, но и уменьшить потребление первичных природных ресурсов за счет замещения части природного газа при обогреве промышленных печей-реакторов, проанализировал цель, научную новизну и практическую значимость результатов, их достоверность, представил краткую характеристику содержания работы, обоснованность заключений и выводов.

Оппонент сделала следующие замечания и рекомендации по диссертации:

2.1 Описание технологии сортировки ТКО и возможности производства твердого топлива из «хвостов» сортировки отходов целесообразно дополнить анализом работы оборудования оптической идентификации компонентов ТКО, использование которых в том числе позволяют извлекать опасные компоненты из состава топлива.

2.2 Среди мероприятий для обеспечения экологической безопасности сжигания твердого топлива отмечается предварительная сортировка с целью удаления прекурсоров, таких как медь и хлорсодержащие соединения в составе ТКО. В то же время описание технологии подготовки топлива не содержит конкретного перечня компонентов ТКО, которые необходимо

удалить из потока. Кроме того, ГОСТ 33516-2015 «Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы» кроме содержания хлора, регулирует содержание ртути, которое следует рассматривать как маркерное вещество, определяющее экологическую опасность топлива.

2.3 В работе рассматривается возможность замещения топлива газом пиролиза RDF в промышленных печах как строительной, так и металлургической индустрий. В то же время вопросы экологической безопасности использования твердого топлива из отходов в металлургических печах изучены недостаточно детально.

2.4 В диссертационной работе используется сокращение RDF, в то время как в стандартах РФ установлено использование терминов «топливо, полученное из отходов (ТПО)» (ГОСТ Р 54258-2010) и «топливо твердое из бытовых отходов» (ГОСТ 33516–2015). Также по тексту работы используются разные формулировки «остаточная часть ТКО», «хвосты» ТКО», «хвосты» сортировки ТКО».

В заключение указано, что общее содержание диссертации Хоперского Руслана Игоревича «Энергоэффективная утилизация «хвостов» сортировки твердых коммунальных отходов с получением твёрдого и газообразного топлива», уровень выполнения её разделов и полученные результаты позволяют считать, что она является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». В ней, на основании выполненных автором исследований, впервые обоснованы научно-технологические аспекты получения и использования в промышленных печах-реакторах продуктов пиролиза твердого топлива из «хвостов» сортировки ТКО, а также исследована возможность применения монтмориллонита в качестве катализатора для увеличения выхода газа за счет сокращения образования жидких продуктов пиролиза.

Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует паспорту специальности 2.6.12 (05.17.07) Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в части:

3. Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья.

10. Электродные технологии и технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Новые виды сырьевых углеродистых материалов.

12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

Автор диссертации Хоперский Руслан Игоревич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 (05.17.07) Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

3. Официального оппонента кандидата технических наук, доцента Мурашова Владимира Ефимовича, заместителя директора государственного казенного учреждения Московской области «Дирекция по организации обращения с отходами».

Актуальность тематики оппонент подтверждает тем, что использование невостребованной на многих мусоросортировочных станциях остаточной части ТКО позволит сократить объем захораниваемых на полигоне отходов . а возможность получения из горючих фракций ТКО готового топлива для промышленных печей помогает снизить их зависимость от выросших в цене традиционных видов энергоносителей. В отзыве представлена характеристика цели, научной новизны и практической значимости результатов, их достоверности, содержания работы, обоснованности заключений и выводов.

Оппонент сделал следующие замечания и рекомендации по диссертации:

3.1 В диссертационной работе был представлен морфологический состав ТКО в городе Липецке, но не отмечено, насколько он типичен для мусоросортировочных стаций в России и, если имеются заметные различия, то с чем они связаны. Это помогло бы ответить на вопрос о том, можно ли использовать результаты работы автора для практического применения в других регионах страны.

3.2 В разделе 2.4 было предложено использовать сорбент на основе коксовой пыли для обеспечения экологической безопасности сжигания топлива из ТКО в печах-реакторах, но из текста диссертации непонятно, является ли он промышленно производимым.

3.3 В главе 4 диссертационной работы выполнена расчетная модель процесса пиролиза топлива из отходов. Поэтому было бы уместным представить основные конструктивные характеристики установки пиролиза с учетом предложенных решений,

3.4 В тексте диссертации для обозначения топлива из ТКО используются разные названия : топливные брикеты, RDF, или

ТТО, что вносит некоторую неясность при прочтении . В РФ согласно ГО СТ 33515-2015 принято название «топливо твердое из бытовых отходов».

В части оценки соответствия паспорту специальности оппонент указал следующие направления исследований:

3. Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья.

10. Электродные технологии и технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Новые виды сырьевых углеродистых материалов.

12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

В заключении говорится, что общее содержание диссертации, уровень выполнения ее разделов и полученные результаты позволяют считать ее законченной научно-исследовательской работой, которая соответствует критериям, установленным пунктом 2.1 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора от 17 сентября 2021, № 1523, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, автор Руслан Игоревич Хоперский заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

4. Отзыв на автореферат кандидата химических наук Беляевой Оксаны Владимировны, доцента кафедры общей и неорганической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Кемеровский государственный университет".

В отзыве в качестве достоинства работы указывается ее комплексность, начало исследований с морфологического состава и до получения готового продукта.

Замечание: Из текста автореферата неясно, исследовался или нет вопрос влияния монтмориллонита на состав продуктов пиролиза, какие изменения состава продуктов приводят к увеличению теплоты сгорания газа и его выхода, исследовался ли состав жидких продуктов пиролиза, рассматривалась ли их экологическая безопасность и возможность их утилизации , насколько возможна и безопасна утилизация твердых продуктов пиролиза (в том числе и с алюмосиликатной добавкой).

Рецензент подтверждает соответствие работы требованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

5. Отзыв на автореферат профессора, доктора технических наук Манохина Вячеслава Яковлевича, профессора кафедры техносферной и пожарной безопасности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Воронежский государственный технический университет".

В отзыве подчеркивается актуальность темы, новизна и практическая значимость работы.

По тексту диссертации возникли следующие вопросы:

Сказано, что отбор вторичного сырья на мусоросортировочной станции за последние 5 лет не превышает 7%, тогда как мировой опыт говорит о 10-15 %, и даже выше. По мнению автора, чем обусловлен такой процент возвращения вторичного сырья?

Сокращение затрат на прессование и захоронение «хвостов» ТКО для г. Липецк составит 32,67 млн. руб/год, а сокращение затрат на содержание полигона – 3,65 млн. руб./год. На сколько в материальном исчислении сокращается объем захороненных ТКО в случае внедрения данной технологии?

Рецензент подтверждает соответствие работы требованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

6. Отзыв на автореферат профессора, доктора технических наук Бельчинской Ларисы Ивановны, профессора кафедры химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Рецензент подчеркнул перспективность решения проблемы энергетической утилизации ТКО и необходимость исследований энергетического потенциала топлива из ТКО ввиду нестабильности морфологического состава, наличием экологически опасных фракций, а также присутствием материалов, пригодных для вторичной переработки.

В качестве замечаний рецензент указал следующее:

6.1 В разделе «степень разработанности темы» не обнаружены авторы, которые в своих исследованиях занимались вопросами, изучаемыми диссертантом. Необходимо выделить и охарактеризовать эти вопросы и обозначить те вопросы, которые требуют более глубокого изучения. Диссертанту имело смысл привести фамилии наиболее известных исследователей.

6.2 Формулировка цели работы несколько размыта. Много подробностей, которые в цели обычно не выделяются. В работе речь идет об энергетической утилизации ТКО, сокращении полигонного захоронения, ресурсосбережении при замещении части минерального топлива RDF.

6.3 Не обнаружено в автореферате расчета погрешности определения количественных показателей.

Отмечен достаточно высокий уровень научной работы.

Выбор официальных оппонентов обусловлен областью их научных интересов, наличием большого числа публикаций в ведущих рецензируемых журналах, что позволило им определить научную и практическую значимость представленной диссертации, отзывы оппонентов положительные.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана технология производства RDF из остаточной части ТКО после сортировки (так называемых «хвостов») на мусоросортировочной станции с возможностью получения высококалорийного пиролизного газа, предложено замещение части традиционного топлива или совместного сжигания традиционного топлива и RDF в энергоёмких производствах, снижение экологической нагрузки крупных муниципальных образований за счет существенного сокращения объемов полигонного захоронения ТКО.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработано научно-технологическое обоснование эффективного получения и применения RDF топлива из остатков ТКО после промышленной сортировки, а также технология получения и использования продуктов пиролиза RDF для замещения части природного газа при обогреве промышленных печей-реакторов; изучено термическое поведение в пиролизном процессе основных полимерных материалов, составляющих углеводородную компоненту «хвостов» ТКО (полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен, полиэтилентерефталат), экспериментально определен состав пиролизного газа отходов полимеров, рассчитана его теплота сгорания, экспериментально определены константы скорости пиролиза, исследована возможность применения монтмориллонита в качестве катализатора для увеличения выхода газа за счет сокращения образования жидких продуктов пиролиза; выполнен анализ условий сжигания RDF и пиролизного газа, предложены решения обеспечивающие экологическую безопасность использования данных энергоресурсов в промышленных печах .

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что определен типовой морфологический состав и технические характеристики остаточной части («хвостов») ТКО после сортировки на мусороперерабатывающем предприятии; разработана технология изготовления RDF из горючих фракций остаточной части ТКО; определены оптимальные условия пиролиза, которые обеспечивают максимальный выход и высокую теплоту сгорания пиролизного газа для его использования совместно с природным газом в промышленных печах; предложены и обоснованы меры по обеспечению экологической безопасности сжигания RDF в цементных печах; разработана компьютерная модель пиролиза RDF.

Оценка достоверности результатов исследования выявила применение современных методов экспериментальных исследований, большое количество репрезентативных экспериментальных данных, проведение натурных испытаний на действующей мусоросортировочной станции, внешней экспертизой теплоты сгорания RDF (испытания в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), положительные результаты апробации технологии на базе станции ТКО компании «ЭкоПром-Липецк».

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке цели и задач диссертации, планировании и проведении экспериментов, обработке и интерпретации данных, подготовке публикаций по выполненным работам и в апробации результатов исследований докладами на международных конференциях.

По своему содержанию диссертация соответствует паспорту специальности 2.06.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в части п.3. Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья, п. 12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация «Энергоэффективная утилизация «хвостов» сортировки твердых коммунальных отходов с получением твёрдого и газообразного топлива» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи разработки технологии получения твердого и газового топлив из ТКО.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным п. 2.1 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский

государственный химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора от 17 сентября 2021, № 1523, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании «14» апреля 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Хоперскому Руслану Игоревичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.06.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 6 докторов наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, в том числе 2 человека в режиме видеоконференции, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 10, против присуждения учёной степени –нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета Т.В. Бухаркина

Ученый секретарь диссертационного совет Р.А. Козловский