

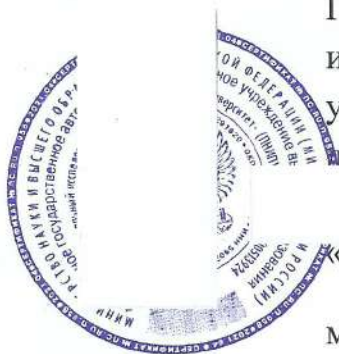
«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям
Пермского национального
исследовательского политехнического
университета,

доктор физико-математических наук, доцент
Швейкин Алексей Игоревич

« 20 » сентября 2024 г.

М.П.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования**

**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации**

Диссертация «Разработка ресурсосберегающих технических решений по утилизации отработанных растительных масел» выполнена на кафедре «Охрана окружающей среды» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Чудинов Сергей Юрьевич работал в ООО «Буматика» в должности директора.

В 2001 году окончил Московский университет потребительской кооперации по направлению «Экономика и управление на предприятии», по специализации «Правовое регулирование хозяйственной деятельности».

С 01.12.2022 по 30.11.2025 прикреплен для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Кетов Александр Анатольевич, работает профессором кафедры «Охрана окружающей среды» в ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

в постановке цели и задач исследования и подготовке обзора литературы; в проведении лабораторных исследований, а также в обработке и анализе результатов; в определении закономерностей медленного пиролиза и деоксигенеза триглицеридов;

в разработке технических решений по переработке растительных масел в бескислородное жидкое топливо и битумоподобные материалы при совместной утилизации отработанных автомобильных покрышек; подготовке публикаций по теме диссертации.

2. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается значительным объемом проведенных исследований с привлечением современных методов и проведенных пилотных испытаний, удовлетворительной сходимостью модельных и экспериментальных данных, корректным применением статистических методов обработки данных.

3. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

Доказано, что отработанные растительные масла могут быть переработаны в процессе медленного пиролиза под давлением в бескислородное жидкое топливо для тепловых двигателей, аналогичные бескислородному топливу, получаемому из ископаемого невозобновляемого нефтехимического сырья. Установлено, что медленный пиролиз под давлением приводит к снижению содержания кислородсодержащих соединений в составе биотоплива, повышению теплоты сгорания и снижению вязкости продукта. Предложен процесс пиролиза растительного масла в периодическом реакторе при 450°C, давлении до 5,0 МПа и длительностью более часа, с получением жидкого топлива, содержащего в качестве основных продуктов алканы C8-C31 и минорные продукты — алкены, алкилциклоалканы, алкилбензолы, причем кислородсодержащие соединения в продукте фиксируются в следовых количествах. Доказано, что удаление связанного кислорода позволяет увеличить высшую теплоту сгорания топлива с 39,4 МДж/кг до 41,5 МДж/кг при снижении динамической вязкости с 49,8 мПа·с до 21,3 мПа·с.

Установлено, что жидкое топливо с высокой теплотворной способностью может быть синтезировано в ходе совместного пиролиза отработанного масла и растительных отходов, что дополнительно что снижает нагрузку на окружающую среду. Это топливо по энергетическим характеристикам близко к традиционным ископаемым видам топлива, что в будущем позволит использовать его в существующих тепловых двигателях без их технических изменений. Установлено, что совместный пиролиз растительного масла и опила в отношении 1:1 (масс.) в периодическом стальном реакторе при 590°C в течение 30 минут и давлении до 9,0 МПа позволяет получить продукт с низшей теплотой сгорания 18,2 МДж/кг, в то время, как низшая теплота сгорания опила и растительного масла была соответственно 11,5 МДж/кг и 12,9 МДж/кг. Образование энергонасыщенного продукта происходит вследствие удаления из углеводородов связанного кислорода и снижения массы конденсированного топлива до 45,3 масс.% от массы исходных материалов. Выявлена более высокая ценность полученного топлива вследствие наличия в нем изоалканов.

Установлено, что при утилизации совместным пиролизом растительного масла с резиновой крошкой отработанных покрышек при 530 °С и давлении до 2,3-2,5 МПа в течение 90 минут в полученном модификаторе битума снижается доля ароматически соединений при одновременном росте доли и разнообразия алифатических углеводородов, что приводит к высокой совместимости продукта с битумом. Утилизация отходов растительного масла и автомобильных покрышек совместным пиролизом под давлением позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду при одновременном синтезе наноструктурированного продукта, совместимого с битумом.

4. Теоретическая и практическая значимость заключается в разработке и научном обосновании технических решений, позволяющих предотвратить отрицательное воздействие отработанных растительных масел на объекты окружающей среды; в выявлении технических решений и закономерностей переработки этих масел в востребованные продукты, синтезируемые в настоящее время из невозобновляемого ископаемого сырья; в обосновании способов и технических решений по совместной переработке отработанных растительных масел с отходами древесины и резиной отработанных покрышек.

Предложенные технические решения позволяют в полной мере использовать ресурсный потенциал отходов растительных масел, снизить или полностью исключить образование газообразных вредных продуктов и твердых отходов в процессе утилизации, что ведет к снижению негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в восьми работах, в том числе в трех статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международных реферативных базах. Общий объем публикаций 3,54 печатных листа, из них авторских 2,82 печатных листа.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1) Ketov A. Plant Biomass Conversion to Vehicle Liquid Fuel as a Path to Sustainability / Ketov A., Sliusar N., Tsybina A., Ketov I., **Chudinov S.**, Krasnovskikh M., Bosnic V. // Resources. - 2022. - 11 (8). - 75. <https://doi.org/10.3390/resources11080075> (Scopus (Q1), Web of Science (Q2), GeoRef) (0,76 п. л., авт. 0,64 п. л.)

Соискатель предположил, а затем экспериментально показал, что существующее биотопливо, представляющее собой триглицериды или сложные метиловые эфиры жирных карбоновых кислот, нуждается в увеличении энергетического потенциала для использования в традиционных двигателях. Экспериментально было установлено, что льняное масло, имеет энергетический потенциал 48,8 МДж/кг, что значительно ниже, чем у ископаемого дизельного топлива 57,14 МДж/кг. Соискатель синтезировал медленным пиролизом под

давлением жидкое топливо из льняного масла с теплотворной способностью до 53,6 МДж/кг.

2) Красновских М.П. Производство наноструктурного модификатора битумов при переработке автомобильных покрышек / Красновских М.П., Чудинов С.Ю., Слюсарь Н.Н., Пугин К.Г., Вайсман Я.И. // Нанотехнологии в строительстве. - 2022. - Т. 14. - № 6. - С. 501-509. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-6-501-509> (ВАК(мбц), Scopus (Q3), Web of Science (Q3)) (0,52 п. л., авт. 0,40 п. л.)

Соискатель экспериментально доказал возможность совместного пиролиза растительного масла и резины отработанных покрышек и доказал возможность применения полученного продукта в виде модификатора битума. Применяя различные методы анализа, соискатель показал протекание при обработке процессов девулканизации, крекинга и диспергирования резины до наноразмерных частиц, в результате чего продукт оказывается совместимым с битумом, а также предложил использование полученного модификатора в производстве асфальтобетона.

3) Чудинов С.Ю. Синтез бескислородного жидкого топлива медленным пиролизом растительного сырья под давлением / Чудинов С.Ю., Красновских М.П., Слюсарь Н.Н., Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Кетов А.А. // Экология и промышленность России. - 2023. - Т. 27. - № 3. - С. 28-32. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-3-28-32 (ВАК (1.6.21, K1), GeoRef, Scopus (Q4)) (0,29 п. л., авт. 0,17 п. л.)

Соискатель предложил преобразование дешевых видов биомассы, в том числе в виде древесного опила, в бескислородное углеводородное топливо медленным пиролизом растительного сырья под давлением. Доказал, что полученное жидкое топливо обладает большей летучестью, чем исходное сырье, и увеличенной теплотой сгорания в сравнении с традиционным биотопливом, что объяснил дезоксигенированием. Предложил применять получаемое бескислородное жидкое топливо взамен ископаемого в рамках концепции устойчивого развития.

4) Чудинов С.Ю. Ресурсосберегающая технология замены нефтяного сырья на продукт деоксигенеза растительного масла / Чудинов С.Ю., Мокрушин И.Г., Кетов А.А. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.- 2024.- № 3(318).- С. 58-66. (ВАК (1.6.21, K2)) (0,52 п. л., авт. 0,40 п. л.)

Соискатель показал, что любые биотоплива на основе сложных эфиров обладают существенными эксплуатационными недостатками, обусловленными их химическим строением, которое предполагает наличие в молекуле атомов кислорода. Предложил при переработке триглицеридов заменить переэтерификацию триглицеридов на деоксигенез для улучшения эксплуатационных характеристик биотоплива. Соискатель экспериментально получил образцы бескислородного топлива из растительного сырья, для которых выявил снижение в составе содержания кислородсодержащих соединений, повышение теплоты сгорания и снижение вязкости.

Другие публикации по теме диссертации:

5) **Чудинов С.Ю.**, Красновских М.П., Кетов А.А. Переработка отходов в жидкие топлива медленным пиролизом под давлением // Материалы всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Химия. Экология. Урбанистика», г. Пермь, 28–29 апреля 2022 г. - Т.1. - С. 131-136 (0,35 п. л., авт. 0,23 п. л.)

6) **Чудинов С.Ю.**, Красновских М.П., Кетов А.А. Деоксигенирование растительного сырья для получения жидкого топлива // Межвузовский международный конгресс «Высшая школа: научные исследования», Москва, 10 ноября 2022.- Часть 2.- С. 101-106 (0,35 п. л., авт. 0,23 п. л.)

7) Чудинов С.Ю. Техничко-экономическая оценка технологических путей переработки полимерных отходов / **С.Ю. Чудинов** // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 26–33. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.04 (ВАК (К2)) (0,46 п. л., авт. 0,46 п. л.)

8) Чудинов С.Ю. Ресурсосберегающая технология утилизации отработанных растительных масел / **Чудинов С.Ю.**, Кетов А.А. // Сборник статей Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности 2024», Казань, 16-17 апреля 2024.- С. 598-602 (0,29 п. л., авт. 0,29 п. л.)

В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах по теме диссертации.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Диссертационная работа Чудинова С.Ю. «Разработка ресурсосберегающих технических решений по утилизации отработанных растительных масел» соответствует паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология: пункт 6 «Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли» и пункт 17 «Ресурсосбережение, санация и рекультивация земель, утилизация отходов производства и потребления, в том числе возникающих в результате добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых, строительной, хозяйственной деятельности и эксплуатации ЖКХ. Геоэкологическое обоснование безопасного размещения, хранения и захоронения токсичных, радиоактивных и других отходов».

Представленная Чудиновым Сергеем Юрьевичем диссертационная работа является прикладным исследованием.

7. Соответствие содержания диссертационной работы требованиям, установленным п.14 «Положения о присуждении ученых степеней».

В диссертации соискателем приведены ссылки на авторов и источники заимствованных материалов и отдельных результатов, в т.ч. опубликованные соискателем лично и в соавторстве.

Диссертационная работа Чудинова Сергея Юрьевича «Разработка ресурсосберегающих технических решений по утилизации отработанных растительных масел» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.6.21. Геоэкология.

Заключение принято на заседании кафедры «Охрана окружающей среды» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 33 чел. Результаты голосования: «за» - 33 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 1 от « 4 » сентября 2024 г.

Председатель заседания,
заведующий кафедрой «Охрана окружающей
среды» ФГАОУ ВО «ПНИПУ»,
доктор технических наук, профессор

_____ /Рудакова Л.В./

Секретарь кафедры
«Охрана окружающей среды»
ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

_____ /Коротаева Л.Г./