

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Политаевой Натальи Анатольевны, доктора технических наук, профессора Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» на диссертационную работу Чудинова Сергея Юрьевича «Разработка ресурсосберегающих технических решений по утилизации отработанных растительных масел», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология

Актуальность темы исследования

Отработанные растительные масла являются отходами четвертого класса опасности. Согласно действующему законодательству России, отработанное растительное масло недопустимо к размещению вместе с твердыми бытовыми отходами на открытых полигонах. Сброс масел в канализацию также запрещен. Процесс биodeградации отработанных растительных масел в естественных условиях превышает несколько лет и сопровождается вторичным загрязнением и представляет геоэкологическую опасность. Поэтому единственным выходом является утилизация отработанных растительных масел с их переработкой в востребованные продукты.

Однако на текущий момент хозяйствующие субъекты крайне редко декларируют образование и вывоз на утилизацию отработанных растительных масел. Все это снижает эффективность природоохранных мероприятий и актуализирует разработку новых методов снижения ущерба окружающей среде от несанкционированной поставки этих отходов на полигоны или слив в канализационную систему.

В современных условиях урбанизированных территорий, где непрерывно увеличивается техногенная нагрузка, использование отходов растительных масел непосредственно на полигонах ТКО в качестве вторичного сырья для производства востребованных продуктов приобретает особую значимость. Учитывая экологическую опасность для окружающей среды хранения и размещения на полигонах отработанных растительных масел, как отходов пищевой промышленности и сельского хозяйства, задача создания экологически чистой технологии их переработки, с сохранением ресурсного потенциала, является актуальной задачей.

На основе анализа актуальности проблем Чудинов Сергей Юрьевич определил цель диссертационной работы как разработку научных основ и

ресурсосберегающих технических решений при утилизации отходов растительных масел, при их рассмотрении, как возобновляемого сырья, для замены невозобновляемого нефтяного сырья для получения востребованных продуктов.

В целом тема работы представляется актуальной и весьма своевременной. Диссертационная работа Чудинова С.Ю. состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, содержащего 136 источников, трех приложений, изложена на 123 страницах.

Во **введении** автором обоснована актуальность темы, показана степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен аналитический обзор сложившейся ситуации с образованием отработанных растительных масел, их воздействию на окружающую среду и существующих методов их сбора и утилизации. Убедительно показано, что растительные масла в процессе термической обработки претерпевают существенные изменения физико-химических свойств, не могут быть возвращены к исходному состоянию, представляют умеренную опасность для окружающей среды и требуют утилизации. Разработка и совершенствование технологий превращения отработанных растительных масел при их поступлении на полигоны ТКО во вторичные продукты являются приоритетным направлением утилизации.

Чудинов С.Ю., анализируя существующие подходы к утилизации отработанных растительных масел, показывает, что использование отработанных растительных масел для производства продуктов, аналогичных продуктам нефтехимического синтеза из минеральной нефти, следует рассматривать одновременно с точки зрения локальной задачи утилизации отхода, способного нанести экологический ущерб при попадании в окружающую среду, и как замену невозобновляемого минерального ресурса на возобновляемый в рамках концепции устойчивого развития.

Вторая глава посвящена детальному описанию дизайна, материалов и методов исследования. Представляется, что применение современных физико-химических методов исследования, использование наукоемких методов обработки данных, лицензионного программного обеспечения, позволяет сделать выводы о высокой степени достоверности полученных автором результатов.

В **третьей главе** представлены результаты исследований по деоксигенезу растительного масла в процессе медленного пиролиза. Предложено при переработке триглицеридов заменить переэтерификацию триглицеридов на

деоксигенез, что должно улучшить эксплуатационные характеристики биотоплива и максимально приблизить его по химическому строению к жидкому топливу, производимому из минерального нефтяного сырья.

Выявлено, что в процессе медленного пиролиза под давлением происходит снижение содержания связанного кислорода в синтезируемом продукте, что сопровождается ростом удельной теплоты сгорания и падением вязкости жидкого продукта. В жидком продукте обнаружен широкий спектр бескислородных углеводородов, преимущественно n-алканов и n-алкенов, с примесью их изомеров, а также циклоалканов и ароматических соединений. Установлено, что кислород удаляется в виде углекислого газа.

Предложенное техническое решение представляется перспективным с точки зрения утилизации отработанных растительных масел, концепции устойчивого развития и использования возобновляемых ресурсов.

В четвертой главе автор исследует тот же процесс медленного пиролиза растительного масла, но в присутствии древесного опила. Такую совместную переработку автор рассматривает, как расширение возобновляемой сырьевой базы синтеза жидкого топлива и одновременно снижение нагрузки на окружающую среду вследствие утилизации древесных отходов.

Несмотря на высокое содержание в исходных материалах кислородсодержащих веществ, входящих в состав триглицеридов и целлюлозы, в итоговом продукте пиролиза кислородсодержащие соединения обнаружены в незначительных количествах. Несмотря на схожесть процесса с пиролизом чистого растительного масла, обнаружены существенные отличия в содержании изомеров алканов. В жидкости, полученной при совместном пиролизе растительного масла, и опила, обнаружены помимо линейных алканов и циклопентадекана, дополнительно разветвленные изомеры алканов, такие, как 2,6,10-триметилтетрадекан и 2-метилгептадекан. Этот факт позволяет предположить, что совместный пиролиз растительного масла с опилом позволяет не только расширить сырьевую базу возобновляемого сырья, но и получить более ценное топливо с наличием изоалканов.

На основе экспериментальных данных автор приводит материальный и энергетический балансы процесса медленного пиролиза под давлением смеси растительного масла и опила. Показано, что в результате из растительного сырья с относительно невысокой удельной теплотой сгорания можно получить жидкое топливо с высокой удельной теплотой сгорания, но соответственно, меньшее его количество в сравнении с количеством исходного сырья.

Предлагаемый совместный медленный пиролиз в изотермических условиях под давлением древесного опила с растительным маслом приводит к

деоксигенезу сырья и удалению кислорода в форме углекислого газа, в результате чего содержание в получаемом жидком продукте гетероатомов кислорода падает до следовых количеств. На практике предложенное техническое позволит расширить ресурсную базу возобновляемого сырья. Дополнительно совместный пиролиз растительного масла с опилом позволяет получить более ценное топливо вследствие наличия в нем изоалканов.

В пятой главе автор исследует совместный пиролиз растительного масла и резиновой крошки, что, по мнению автора, по аналогии с описанным совместным пиролизом растительного масла и древесины, может привести к крекингу резины с образованием олигомеров, совместимых с битумом.

В диссертации экспериментально доказано, что в продукте совместного пиролиза под давлением резины и масла по сравнению с образцом, полученным пиролизом под давлением чистой резины наблюдается снижение доли ароматических соединений, а также доли алифатических углеводородов. В результате таких отличий в химическом составе продукт совместного пиролиза под давлением масла и резины является по своему химическому составу совместимым с битумом. Помимо выявленного сродства химического строения продукта, полученного совместным пиролизом под давлением масла и резины по отношению к битуму, обнаружено глубокое диспергирование нерастворимых в битуме и толуоле частиц полученного продукта.

Автор делает вывод, что, совместный пиролиз и растительного масла с резиной ведет к ее девулканизации и крекингу полимерной матрицы резины до углеводородных веществ, представляющих собой жидкости при нормальных условиях, и низким количеством связанных атомов кислорода. Автор предлагает рассматривать продукт, полученный медленным пиролизом под давлением из отходов растительного масла и отработанных покрышек битумоподобного материала, как аналог битума для частичной замены тяжелых нефтепродуктов в виде битумов, производимых в настоящее время из невозобновляемого нефтяного сырья.

В шестой главе автор обсуждает применение найденных технических решений переработки растительного масла в востребованные нефтехимические продукты при утилизации отработанного растительного масла с получением опытных партий печного топлива и модификатора битума.

По результатам пилотных испытаний составлены соответствующие акты.

В заключении обобщены результаты проведенных исследований, основанные на достоверном и проанализированном фактическом материале.

Представленные в работе выводы соответствуют поставленным задачам и основным положениям, выносимым на защиту, отражают суть проведенных исследований и являются логичным завершением работы.

В приложениях приведено три акта практического внедрения полученных результатов исследования

Степень достоверности

Степень достоверности полученных автором результатов следует оценить, как высокую. Диссертационное исследование выполнено с применением современных физико-химических методов на базе метрологически поверенного оборудования. Результаты хорошо согласуются с данными других отечественных и зарубежных исследований.

Достоверность результатов и выводов исследования подкреплена логичностью изложения материала, научной обоснованностью последовательности выполнения этапов исследования, апробацией предлагаемых подходов.

Экспериментальная информация, полученная в результате исследований, дала возможность сформировать значительный объем достоверных данных, позволивших убедительно достичь поставленных целей и решить задачи исследования.

Научная новизна

Научная новизна диссертационного исследования состоит в обосновании переработки отработанных растительных масел в углеводородное топливо, аналогичное по составу бескислородному топливу, получаемому из ископаемого невозобновляемого нефтехимического сырья. Установлено в результате экспериментальных исследований, что медленный пиролиз растительного масла под давлением приводит к снижению содержания в нем кислородсодержащих соединений, что, в свою очередь ведет к повышению теплоты сгорания и снижению вязкости продукта. Предложенное решение позволяет получить из растительного масла жидкое топливо, содержащее в качестве основных продуктов алканы C₈-C₃₁ и минорные продукты - алкены, алкилциклоалканы, алкилбензолы, причем кислородсодержащие соединения в продукте фиксируются в следовых количествах.

Установлено, что в результате совместного пиролиза отработанного масла и древесных отходов может быть получено жидкое топливо с высокой удельной теплотворной способностью, превышающей удельную теплотворную способность исходных материалов. Выявлена более высокая ценность полученного топлива вследствие наличия в нем изоалканов.

Установлено, что при совместном пиролизе растительного масла с резиновой крошкой отработанных покрышек получается продукт, совместимый с битумом, который может быть использован, как модификатор битума.

Теоретическая значимость.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании метода переработки отработанных растительных масел медленным пиролизом под давлением с получением востребованных продуктов, синтезируемых в настоящее время из невозобновляемого ископаемого сырья; в разработке и научном обосновании технических решений, позволяющих предотвратить отрицательное воздействие отработанных растительных масел на объекты окружающей среды.

Практическая значимость.

Практическая значимость представленного диссертационного исследования заключается в предложенных решениях по использованию ресурсного потенциала отходов растительных масел, в результате чего снизить негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения продуктов утилизации растительных масел.

Прикладная востребованность работы подтверждена приведенными в диссертации актами о внедрении результатов научного исследования на предприятиях ООО «Буматика» и АО «Верхнекамстройкомплект»

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты исследований рекомендуется использовать при разработке технологий переработки триглицеридов и полимерных отходов растительного (древесина) и антропогенного (резина) происхождения в бескислородные жидкие топлива.

Результаты исследования могут быть полезны предприятиям переработки отходов и технопарков для безопасной переработки описанных видов отходов в востребованные продукты.

Органам и организациям, осуществляющим экологический мониторинг и нормирование следует обратить внимание на слабую отчетность предприятий общественного питания и торговых сетей по образованию, накоплению и утилизации отработанных растительных масел и способствовать организации системы сбора и утилизации этого вида отходов.

В качестве замечаний отмечаю:

1. В обзоре методов утилизации отработанных растительных масел автор не рассматривает биотехнологические методы;

2. Почему автор не рассматривает синтез биопластиков, как один из методов утилизации триглицеридов?

3. Автор показывает, что при медленном пиролизе отработанных растительных масел, наряду с углекислым газом образуются легкие углеводороды, но не рассматривает методы утилизации образующихся этих газовых выбросов. Хотелось бы уточнить, какие методы очистки газовых выбросов предлагается использовать?

4. При расчете материально-энергетического баланса процесса медленного пиролиза в главе 4 автор приводит химический состав жидкого продукта, но не выясняет состав газообразных продуктов, хотя по косвенным данным рассчитывает их энергетический потенциал. Проводился ли анализ газообразных продуктов и насколько он соответствует расчетным данным об их энергетическом потенциале?

5. Как можно объяснить наличие циклических и разветвленных изомеров при совместном пиролизе растительного масла и древесины в то время, как при пиролизе растительного масла наблюдается образование преимущественно линейных углеводородов?

Высказанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне.

Заключение

Диссертационная работа Чудинова Сергея Юрьевича на тему «Разработка ресурсосберегающих технических решений по утилизации отработанных растительных масел» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, самостоятельное законченное научное исследование, посвященное решению важной геоэкологической задачи предотвращения загрязнения объектов окружающей среды отработанными растительными маслами.

Установленные в ходе диссертационного исследования результаты нашли отражение в четырех статьях, три из которых опубликованы в журналах, индексируемых в международной базе данных WS и одна статья в журнале, рекомендованном ВАК. Результаты также апробированы на научных конференциях.

Автореферат отражает и полностью соответствует содержанию диссертации.

Представленная работа по форме и содержанию отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом

ректора ПНИПУ от 28.05.2024 № 27-О, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Чудинов Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук
(03.02.08. Экология в химии и нефтехимии), профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

«12» ноября 2024 г.

— Политаева Наталья Анатольевна

Почтовый адрес: 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29, кор. Гидрокорпус 2, кабинет 301, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Телефон: +7-965-778-20-18

E-mail: politaeva1971@gmail.com

Я, Политаева Наталья Анатольевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Чудинова Сергея Юрьевича, и их дальнейшую обработку.

«12» ноября 2024 г.

— Политаева Наталья Анатольевна

Подпись Натальи Анатольевны Политаевой заверяю:

