

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Макаревич Евгении Анатольевны, выполненной на тему «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий» и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

### Актуальность темы диссертационной работы.

Важнейшей проблемой глобальной автомобилизации современного мира является необходимость утилизации огромного количества изношенных шин и других резинотехнических изделий (РТИ), причем желательно эту утилизацию проводить без вторичного экологического ущерба и с определенным экономическим эффектом.

В этом плане одним из технологически перспективных и экологически приемлемых методом утилизации РТИ с получением ценных видов химического сырья считается пиролиз. Однако помимо целевого продукта в виде жидких углеводородных фракций в процессе пиролиза РТИ образуется значительное количество зауглероженного остатка, квалифицированное использование которого пока под большим вопросом.

С учетом вышеизложенного тема диссертационной работы Макаревич Е.А. представляется актуальной.

**Целью диссертационной работы** заявлены разработка и обоснование научных и технологических основ процесса переработки отходов резинотехнических изделий в Кузбассе с получением облагороженного твердого углеродсодержащего остатка с высокими показателями технологических свойств.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработать эффективный способ обогащения углеродсодержащего остатка пиролиза РТИ;
- провести сравнительный анализ технических характеристик исходного и облагороженного углеродсодержащего остатков пиролиза РТИ;
- для оптимизации технологии получения облагороженного углеродного остатка определить кинетические параметры реакций, протекающих при деструкции РТИ и термическом облагораживании твердого углеродсодержащего остатка;
- получить товарные продукты: адсорбенты, водоуглеродное топливо, формованное топливо и ионисторы на основе облагороженного углеродсодержащего остатка пиролиза отработанных РТИ;
- изготовить опытные партии товарных продуктов на основе облагороженного углеродсодержащего остатка и провести их испытание в производственных условиях предприятия реального сектора экономики.

### Научная новизна исследования и полученных результатов

Теоретическая значимость заключается в расширении знаний о процессах термических превращений вещественного состава отходов РТИ при их пиролизе.

Впервые показано, что использование метода масляной агломерации позволяет снизить зольность углеродсодержащего остатка пиролиза РТИ в два–три раза за счет избирательной смачиваемости частиц твердого остатка пиролиза РТИ.

Впервые показано, что использование метода термической переработки позволяет улучшить качественные характеристики твердого углеродсодержащего остатка, при

увеличении температуры процесса пиролиза до 800–850 °С снижаются показатели выхода летучих веществ, влажности, сернистости.

В результате математической обработки экспериментальных данных термического анализа установлено, что для деструкции РТИ и термической переработки твердого углеродсодержащего остатка подходит уравнение первого порядка, определена энергия активации различных стадий процессов.

Впервые показана возможность переработки твердых отходов пиролиза РТИ с получением адсорбентов, водоуглеродного топлива, формованных топлив и ионисторов.

### **Практическая значимость работы.**

Опыт обогащения углеродного остатка пиролиза РТИ методом масляной агломерации (Патент РФ № 2557652) может быть использован на предприятиях реального сектора экономики для получения концентрата с низкой зольностью.

Разработанный способ облагораживания твердого углеродсодержащего остатка пиролиза (Патент РФ № 2679263) позволяет получить облагороженный твердый углеродсодержащий остаток, который может использоваться в качестве адсорбента, сырья для производства водоуглеродного топлива, формованных топлив и ионисторов.

Опытно-промышленные партии продуктов, полученных из углеродного остатка пиролиза отработанных РТИ, испытаны на установках ООО «Экосистема-Технологии» (ООО «Эко-Тех»), г. Кемерово.

Проведенные промышленные испытания продуктов, полученных на основе облагороженного углеродсодержащего остатка пиролиза отработанных РТИ, показали, что предложенные подходы к их производству могут служить основой для практического использования на топливно-энергетических комплексах, что будет способствовать решению проблемы утилизации отработанных РТИ.

### **Содержание диссертационной работы и ее завершенность.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, перечня использованной литературы из 139 наименований, содержит 152 страницы машинописного текста, 27 таблиц и 31 рисунок.

**Введение** содержит обоснование актуальности и перспективности темы работы.

**В первой главе** приведен анализ научных данных по теме диссертации. Рассмотрены методы утилизации и переработки отходов РТИ в мировой и отечественной промышленности, показаны известные пути повышения технических характеристик продуктов пиролиза автошин и обоснованы задачи исследований.

**Во второй главе** охарактеризован использованный в исследовании материал, описаны экспериментальные установки, методы исследования и обработки результатов.

**В третьей главе** представлены результаты исследования и их обсуждение.

Показано, что при пиролизе отходов РТИ образуется твердый углеродсодержащий остаток в виде кусков и частиц широкого фракционного состава, приведены качественные характеристики исходного углеродсодержащего остатка пиролиза отходов РТИ.

**В главе 4** представлено исследование возможности применения облагороженного твердого углеродсодержащего остатка пиролиза РТИ в качестве адсорбента, высококонцентрированного низкозольного водоуглеродного топлива, формованного твердого топлива, углеродного материала для сборки ионисторов.

**Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.** Достоверность полученных результатов, представленных в диссертационной работе, подтверждается использованием широкого комплекса современных физико-химических методов исследований с применением аттестованных

приборов и апробированных методик измерения, обсуждением основных положений работы на научных конференциях и их публикации в рецензируемых научных журналах, правильности проведения эксперимента и хорошей сходимости опытных и расчетных данных, на отсутствии противоречий полученных результатов существующим представлениям и теориям протекающих процессов.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Полученные автором представленной диссертации могут быть научной основой для проектирования и организации производств переработки углеродсодержащего остатка пиролиза изношенных шин и других видов резинотехнических изделий с получением углеродных адсорбентов, высококонцентрированного низкотемпературного водоуглеродного топлива, формованного твердого топлива.

### **Замечания и рекомендации по работе:**

1. В качестве «Задач» автор ставит получение и испытание «товарных продуктов». Более логичной, на мой взгляд, была бы формулировка «лабораторных образцов продуктов», поскольку «товарными» они будут только в случае технологической реализации предложенных автором решений.
2. Второе положение, выносимое на защиту (стр. 11), следовало бы сформулировать в более обобщенном виде, не акцентируя внимание на конкретных деталях выполнения эксперимента.
3. Гостирированные методики теханализа образцов (гл. 2, стр.49) можно было не описывать столь подробно, достаточно ссылки на ГОСТы. Также не следовало перегружать текст диссертации (Приложение) полным текстом договора на выполнение НИР, можно было ограничиться актом испытаний.
4. Характеристики исходного углеродного остатка пиролиза РТИ (табл. 3.2) имеют очень большой разброс. Понятно, что диссертационная работа выполнялась достаточно длительное время и качество сырья могло меняться в реальных условиях производства. Поэтому следовало бы в каждом разделе диссертации конкретно указывать с каким сырьем работали. Это позволило бы избежать многих последующих замечаний по работе.
5. В разделе 3.2.3 (табл. 3.4) не указывается количество масла, сорбированное на концентрате углеродистого остатка пиролиза РТИ после масляной агломерации, без этого сложно оценить эффективность процесса обогащения.
6. Чем объяснить уменьшение содержания  $\text{SiO}_2$  (табл. 3.6) в золе термически облагороженного продукта. Удаление части летучих органических компонентов из углеродного остатка логически предполагает увеличение зольности продукта. Кстати, по другим компонентам противоречий практически не наблюдается.
7. Чем вызван такой большой разброс содержания серы в образцах (табл. 3.8).
8. Приведенные на рис. 3.3-3.5 ИК спектры малоинформативны. Следовало бы провести соответствующую обработку по известным методиками до более наглядного уровня как, например, приведено на рис. 3.6-3.9.
9. Результаты сканирующей растровой эл. микроскопии (табл. 3.9) вызывают определенные вопросы. Нет объяснения высокого содержания цинка в исходной пробе и столь сильного его исчезновения после высокотемпературной обработки.
10. Хотелось бы услышать от автора объяснения причины столь сильного изменения содержания различных фаз (табл. 3.10), в частности  $\text{ZnS}$ , как это сделано, например, при расшифровке дифрактограмм образцов.

11. При определении порядка реакции рис. 3.20 и 3.23 следовало бы привести к более понятному виду.
12. Пункт 3.4.2.2 (стр. 103) изложен слишком сжато, не совсем понятен алгоритм графической интерпретации расчета энергии активации процесса.
13. В разделе 4.1.2 при определении сорбционной активности по йоду (табл.4.2) практически нет разницы для исходного и облагороженного образца. В тоже время автор на основании анализа рис. 4.1 делает вывод о более высокой активности последнего. Вывод не столь однозначен и убедителен как, например, результаты по метиленовому голубому (табл.4.3 и рис. 4.2)
14. В разд. 4.1.5 при исследовании сорбционной очистки воды от фенола следовало бы указать скорость фильтрации раствора, без этого сложно оценить эффективность сорбентов.
15. Констатацию вывода (стр. 116) об улучшении экологической обстановки за счет сжигания углеродистого остатка в виде ВУТ следовало бы подтвердить результатами испытаний по экологичности сжигания такого топлива. Это же относится и к сжиганию брикетов (разд. 4.3).
16. Табл. 4.4, 4.6, 4.8, 4.10 дублируют друг друга – это результаты масляной агломерации, но почему-то показатели качества концентратов отличаются по теплоте сгорания.
17. При обосновании применимости облагороженного остатка пиролиза РТИ для приготовления ионисторов следовало бы привести сравнение с другими видами сырья.
18. В разд. «Заключение»:
  - в выводе 2, видимо, пропущено слово «масляной агломерацией», иначе не понятно каким образом только высокотемпературной обработкой снижается зольность облагороженного продукта.
  - формулировку вывода 5 (аналогично замечанию 1) следовало бы изменить – автором получены не «товарные продукты», а лабораторные образцы, которые могут стать товарными продуктами только в случае реализации технологии, научные основы которой автор и предлагает в данной работе.

Сделанные замечания носят, конечно, рекомендательный характер и не меняют самой сути работы.

#### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.**

Результаты исследований отражены в 24 публикациях: в 11 статьях в научных журналах, входящих в перечень Web of Science, Scopus и ВАК, 8 докладах и тезисах докладов научно-практических конференций, получены 5 патентов РФ.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертации и достигнутые результаты.

По тематике исследования, методам, предложенным новым научным положениям, диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.12 – химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в пунктах: 8. Разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного и нетопливного назначения. 12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

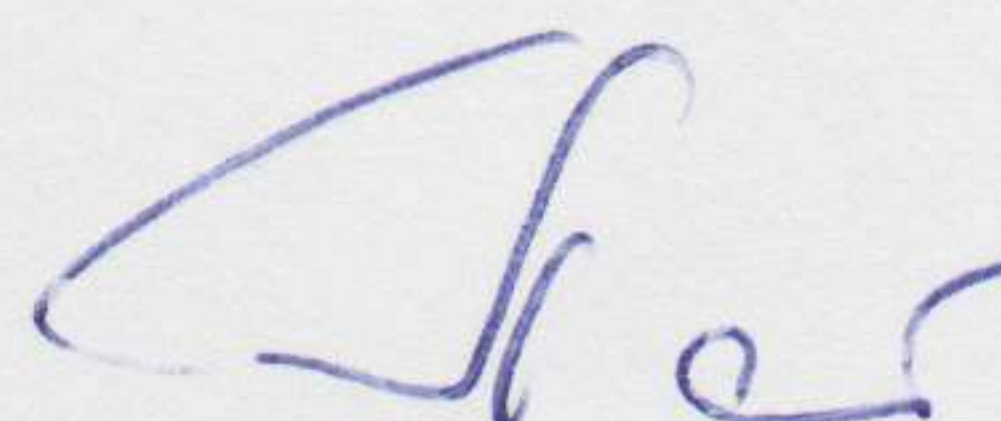
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Макаревич Евгении Анатольевны, выполненной на тему «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий», представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную самостоятельно на достаточно высоком методическом уровне, на актуальную тему, в которой получены новые и важные сведения о возможности квалифицированного использования углеродного остатка пиролиза РТИ. Результаты диссертационной работы содержат элементы научной новизны и имеют практическую направленность. Большая часть результатов отражена в публикациях и доложена на профильных конференциях.

Считаю, что по своей актуальности, научной и практической значимости, объёму выполненных исследований диссертационная работа Макаревич Евгении Анатольевны соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом №103ОД от 14.09.2023 г. (с последующими редакциями), а её автор заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Официальный оппонент,

Заведующий лабораторией научных основ технологий обогащения угля Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты СО РАН» (ФИЦ УУХ СО РАН), доктор химических наук, профессор

 Патраков Юрий Федорович

650000, г. Кемерово, Советский просп., д. 18,  
Тел.: +7 (384 2) 74-13-94, e-mail: [yupat52@gmail.com](mailto:yupat52@gmail.com)

Подпись Патракова Ю.Ф. заверяю,  
заместитель директора ФИЦ УУХ СО РАН  
по научной работе, к.т.н.



В.В. Зиновьев