

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
и международному  
сотрудничеству Федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования

«Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

К.С. Костиков

2024 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий» выполнена на кафедре ХТТТ института химических и нефтегазовых технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

В период подготовки диссертации соискатель Макаревич Евгения Анатольевна, 06.08.1974 года рождения, была старшим преподавателем кафедры ХТТТ (с 01.09.2015 года по настоящее время), обучалась по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.4.1. Неорганическая химия (Химические науки) в период с 01.09.2017 г. по 30.06.2023 г.

Документ (справка №31 от 25.12.2023г) о сдаче кандидатских экзаменов в аспирантуре выдан ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» в 2023 году, справка о сдаче кандидатского экзамена по научной специальности 2.6.12. – Химическая

технология топлива и высокоэнергетических веществ, выданная ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» в 2024 году.

Научный руководитель – профессор, доктор химических наук, профессор кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, института химических и нефтегазовых технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» Черкасова Татьяна Григорьевна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что в процессе производства и после эксплуатации всех видов резинотехнических изделий (РТИ) возникает большое количество резиносодержащих отходов, основную массу которых составляют вышедшие из эксплуатации автомобильные шины. РТИ, в отличие от некоторых других видов отходов (древесные, растительные отходы и др.), практически не подвержены разрушению под воздействием климатических факторов и деятельности микроорганизмов. В различных странах прилагаются значительные усилия по разработке экологически чистых технологий и оборудования для переработки резинотехнических отходов.

Проблема переработки отходов РТИ имеет большое экологическое и экономическое значение. Невосполнимость природного нефтяного сырья диктует необходимость использования вторичных ресурсов с максимальной эффективностью. Современный рынок переработки вторичных отходов слишком мал, чтобы вмещать ежегодно образующиеся отходы РТИ.

В РФ существует перечень товаров и упаковки, подлежащих переработке после утраты ими потребительских свойств, в который включены шины,



покрышки и другие РТИ. В 2016 году для данных групп товаров установлен норматив утилизации равный 15 %, в 2017, 2018-м – 20 %, в 2019-м – 25 %, с 2020-го по настоящее время – 30 %.

Запрет на захоронение таких отходов будет способствовать формированию инфраструктуры сбора и утилизации отходов, загрузке существующих производственных мощностей.

Основными препятствиями на пути к расширенному применению таких технологий являются:

- низкие показатели технологических характеристик продуктов переработки отходов РТИ,
- высокая экологическая опасность исходного сырья,
- низкая эффективность традиционных технологий переработки,
- отсутствие научно обоснованных методических рекомендаций и процессов физико-химического воздействия на исходные отходы РТИ с учетом их свойств и выходом на запланированные показатели технических характеристик планируемых продуктов их переработки.

Научная новизна заключается в следующем:

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 утилизации промышленных отходов РТИ с получением адсорбентов, водоуглеродного топлива, формованных топлив и ионисторов.

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

Практическое значение работы заключается в следующем:

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, сырьем для производства водоуглеродного топлива, формованных топлив и ионисторов.

Научно-исследовательская деятельность проводилась в условиях договора с ООО «Кузнецкэкология+» г.Калтан Кемеровской области. Опытные промышленные партии товарных продуктов, полученных из углеродного остатка пиролиза отработанных РТИ, испытаны на установках ООО «Экосистема-Технологии» (ООО «Эко-Тех»), г. Кемерово.

Проведенные промышленные испытания товарных 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.



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.

Основные результаты работы и отдельные ее положения были представлены на следующих международных и российских конференциях: IV, V, VI Международных инновационных горных симпозиумах – Кемерово, 2019, 2020, 2021; V, VI Всероссийских конференциях «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» – Кемерово, 2020, 2022; Всероссийской научно-практической конференции «Наука и профессиональное образование: национальные приоритеты и региональные драйверы развития» – Кемерово, 2019; Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергоэффективность автотранспортных средств: нанотехнологии, информационно-коммуникационные системы, альтернативные источники энергии» – Воронеж, 2019; 83-й, 84-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) – Минск, 2019, 2020; XIII Международной научно-технической конференции – Томск, 2020; XXIX Международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные науки сегодня" – Bengaluru, Karnataka, India, 2022.

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

*Статьи в переводной версии журнала, , индексируемого базой Web of Science:*

1. Characteristics of Supercapacitors Based on Carbon Derived from Auto Tires and Coke Dust / A. V. Papin, A. Y. Ignatova, **E. A. Makarevich** [et al.] // Coke

and Chemistry. – 2019. – Vol. 62, № 2. – P. 74-76. – DOI 10.3103/S1068364X19020078.

2. Processing of Solid Carbon Residue from the Pyrolysis of Rubber Products / **E. A. Makarevich**, A. V. Papin, T. G. Cherkasova, S. P. Subbotin // Coke and Chemistry. – 2023. – Vol. 66, № 8. – P. 438-442. – DOI: 10.3103/S1068364X2370103X

*Публикации в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в базу Web of Science и / или Scopus:*

3. **Makarevich, E.** Coal Producer's Rubber Waste Processing Development / E. Makarevich, A. Papin, A. Nevedrov [et al.] // E3S Web of Conferences : The Second International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 20–22 ноября 2017 года. Vol. 21. – Kemerovo: EDP Sciences, 2017. (*Scopus, Web of Science*)

4. **Makarevich, Ye.** Use of Solid Carbon Residue of Tire Pyrolysis as an Adsorbent for Organic Substances Removal from Water / Ye. Makarevich, A. Papin, E. Domru // E3S Web of Conferences : IVth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 14–16 октября 2019 года. – EDP Sciences, 2019. – P. 02027. – DOI 10.1051/e3sconf/201910502027. (*Scopus, Web of Science*)

5. **Makarevich, E.** Study of the Composition of the Mining Industry Rubber Waste Pyrolyzates / E. Makarevich, A. Papin, A. Chernik // E3S Web of Conferences : 5th International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2020. – P. 02030. – DOI 10.1051/e3sconf/202017402030. (*Scopus, Web of Science*)

6. **Makarevich, E. A.** Study of composition and properties of carbon-containing industrial rubber waste pyrolyzates / E. A. Makarevich, A. V. Papin, T. G. Cherkasova // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 02002. – DOI 10.1051/e3sconf/202131502002. (*Scopus, Web of Science*)



*Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК*

7. Папин, А. В. Пути утилизации отработанных автошин и анализ возможности использования технического углерода пиролиза отработанных автошин / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, **Е. А. Макаревич** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 2(108). – С. 96-101.
  8. Папин, А. В. Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, **Е. А. Макаревич**, А. В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 3(109). – С. 107-114.
  9. **Макаревич, Е. А.** Разработка процессов подготовки и облагораживания твердого углеродсодержащего остатка пиролиза автошин / **Е. А. Макаревич**, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 2(120). – С. 153-161.
  10. **Макаревич, Е. А.** Применение твердого углеродного остатка пиролиза автошин в качестве адсорбента для очистки вод от органических веществ / **Е. А. Макаревич**, А. В. Папин, Е. В. Черкасова, А. Ю. Игнатова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 2(132). – С. 96-101. – DOI 10.26730/1999-4125-2019-2-96-100.
  11. **Макаревич, Е. А.** Исследование состава продуктов пиролиза резинотехнических отходов методом ик-спектроскопии / **Е. А. Макаревич**, А. В. Папин, Е. В. Черкасова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 66-73. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-66-73.
- Патенты:*
12. Патент № 2557652 С1 Российская Федерация, МПК С10L 5/04. Способ переработки твердого остатка пиролиза автошин : № 2014128048/04 : заявл. 08.07.2014 : опубл. 27.07.2015 / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, **Е. А. Макаревич**, А. В. Неведров – 7 с.

13. Патент № 2603006 С1 Российская Федерация, МПК С10L 1/32, С10L 1/00, С10G 1/10. Водоуглеродное топливо на основе твердого остатка пиролиза автошин : № 2015132133/04 : заявл. 31.07.2015 : опубл. 20.11.2016 / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, **Е. А. Макаревич**, А. В. Неведров – 8с.

14. Патент № 2608733 С Российская Федерация, МПК С10L 5/04, С10L 5/00, С10L 5/12. Топливный брикет на основе углеродного остатка пиролиза автошин : № 2015148416 : заявл. 10.11.2015 : опубл. 23.01.2017 / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, А. В. Неведров, **Е. А. Макаревич** – 7 с.

15. Патент № 2664330 С1 Российская Федерация, МПК С10L 5/04, С10L 5/00, С10L 5/02. Композиционное топливо : № 2018112355 : заявл. 05.04.2018 : опубл. 16.08.2018 / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, В. С. Попов , А.С. Кононова, **Е. А. Макаревич** – 8 с.

16. Патент № 2679263 С1 Российская Федерация, МПК С08J 11/00, С08J 11/12, С09С 1/44. Способ облагораживания твердого остатка пиролиза автошин : № 2018119574 : заявл. 28.05.2018 : опубл. 06.02.2019 / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, Т. Г. Черкасова, **Е. А. Макаревич** – 6 с.

*Публикации в других научных изданиях:*

17. **Макаревич, Е. А.** Применение твердого углеродного остатка пиролиза автошин в качестве адсорбента для очистки вод от фенола / Е. А. Макаревич, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова // Наука и профессиональное образование: национальные приоритеты и региональные драйверы развития, Кемерово, 11 февраля 2019 года. – Кемерово: Кузбасский региональный институт развития профессионального образования, 2019. – С. 65-66.

18. **Макаревич, Е. А.** Исследование применения твердого углеродного остатка пиролиза автошин в качестве адсорбента / Е. А. Макаревич, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова // Химическая технология и техника: материалы 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 04–14 февраля 2019 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2019. – С. 138-139.



19. **Макаревич, Е. А.** Исследование адсорбционных свойств углеродного остатка пиролиза автошин / Е. А. Макаревич, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова // Энергоэффективность автотранспортных средств: нанотехнологии, информационно-коммуникационные системы, альтернативные источники энергии : Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Воронеж, 04–07 июня 2019 года / Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет, 2019. – С. 59-63
20. **Макаревич, Е. А.** Изучение состава фракций, выделенных из жидкого продукта пиролиза автошин / **Е. А. Макаревич**, А. В. Папин, Е. В. Черкасова, Т. Г. Черкасова // Химическая технология и техника: Материалы 84-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 года / Отв. за издание И.В. Войтов. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2020. – С. 343-345.
21. Сечин А. И. Исследование сорбционных характеристик углеродного остатка пиролиза автошин / А. И. Сечин, **Е. А. Макаревич**, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова // Современные проблемы машиностроения: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, Томск, 26–30 октября 2020 года. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – С. 243-244.
22. **Макаревич, Е. А.** Исследование процесса сорбции углеродного остатка пиролиза автошин / Е. А. Макаревич, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова, А. И. Сечин // Химия и химическая технология: достижения и перспективы : Сборник материалов V Всероссийской конференции, Кемерово, 26–27 ноября 2020 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 84.1-84.3.
23. **Макаревич, Е. А.** Новый технологический подход для пиролиза резинотехнических отходов / Е. А. Макаревич, А. В. Папин, Т. Г. Черкасова // Фундаментальные и прикладные науки сегодня: Материалы XXVIII

международной научно-практической конференции, Bengaluru, 18–19 апреля 2022 года. – Bengaluru: Pothi.com, 2022. – С. 200-203.

24. **Макаревич, Е. А.** Исследование технического углеродного остатка пиролиза резинотехнических отходов / Е. А. Макаревич, А. В. Папин // Химия и химическая технология: достижения и перспективы : Материалы VI Всероссийской конференции, Кемерово, 29–30 ноября 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 506.1-506.3.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в части физико-химических принципов технологии углеродных материалов и изделий, технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод, сырьевые углеродсодержащие материалы, а также моделирование и оптимизация химико-технологических процессов на основе цифрового прогнозирования, математических методов, системного анализа и информационных технологий применительно к производствам.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Макаревич Евгении Анатольевны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Макаревич Евгении Анатольевне; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям пп. 9–



14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры ХТТТ федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», состоявшемся «17» января 2024 года, протокол № 5.

В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой ХТТТ доцент, к.т.н. Неведров Александр Викторович, доцент, к.т.н. Папин Андрей Владимирович, доцент, к.т.н. Ушаков Андрей Геннадьевич, доцент, к.т.н. Ушакова Елена Сергеевна, доцент, к.т.н. Солодов Вячеслав Сергеевич, профессор кафедры технологии органических веществ и нефтехимии института химических и нефтегазовых технологий, д.х.н. Перкель Александр Львович, профессор кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, директор института химических и нефтегазовых технологий д.х.н. Черкасова Татьяна Григорьевна.

Принимало участие в голосовании 8 человек. Результаты голосования: «За» – 8 человек, «Против» – 0 человек, Воздержались – 0 человек, протокол №5 от «17» января 2024 года.

Председатель заседания

Заведующий кафедрой химической

технологии твердого топлива,

доцент, к.т.н.

А.В. Неведров

Секретарь заседания

И.В. Боброва

# ПРОТОКОЛ

заседания кафедры химической технологии твердого топлива (ХТТТ) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» от 17.01.2024 № 5

Присутствовали : заведующий кафедрой ХТТТ доцент, к.т.н. Неведров Александр Викторович, доцент, к.т.н. Папин Андрей Владимирович, доцент, к.т.н. Ушаков Андрей Геннадьевич, доцент, к.т.н. Ушакова Елена Сергеевна, доцент, к.т.н. Солодов Вячеслав Сергеевич, профессор кафедры технологии органических веществ и нефтехимии института химических и нефтегазовых технологий, д.х.н. Перкель Александр Львович, профессор кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, директор института химических и нефтегазовых технологий, д.х.н. Черкасова Татьяна Григорьевна, старший преподаватель Макаревич Евгения Анатольевна, учебный мастер II категории Боброва Ирина Витальевна.

Всего присутствовало 9 человек.

## ПОВЕСТКА ДНЯ

Предварительное рассмотрение диссертационной работы Макаревич Евгении Анатольевны, старшего преподавателя кафедры ХТТТ института химических и нефтегазовых технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» на тему : «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий».

Работа выполнена на кафедре ХТТТ института химических и нефтегазовых технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».



Тема диссертационной работы Макаревич Евгении Анатольевны и научный руководитель д.х.н., профессор, директор института химических и нефтегазовых технологий Черкасова Татьяна Григорьевна утверждены на заседании Ученого совета института химических и нефтегазовых технологий.

СЛУШАЛИ:

Сообщение Макаревич Евгении Анатольевны, изложившей основное содержание своей диссертационной работы.

Макаревич Евгении Анатольевне были заданы следующие вопросы:

1. Профессор, д.х.н. Перкель А. Л.: На чем основан принцип масляной агломерации? На чем основан принцип тяжелосреднего обогащения?
2. Доцент, к.т.н. Неведров А. В.: Подобные исследования проводились ранее? Встречали описание подобных исследований в иностранной литературе?
3. Доцент, к.т.н. Солодов В. С.: В какой атмосфере проводили ДТА (воздух или азот)?
4. Доцент, к.т.н. Ушаков А. Г.: Почему в интервале температур до 500 °С происходит заметное разложение вещества твердого остатка пиролиза? При пиролизе материал уже прошел термообработку при этих температурах, и дальнейшая потеря массы должна наблюдаться при более высоких температурах.
5. Доцент, к.т.н. Неведров А. В.: Было ли проведено сравнение предлагаемых в диссертационной работе и используемых в настоящее время образцов ионисторов? Каковы результаты?
6. Доцент, к.т.н. Папин А. В.: Для чего был проведен кинетический расчет? Как могут использоваться рассчитанные кинетические параметры?
7. Профессор, д.х.н. Перкель А. Л.: Проводилась ли проверка соответствия экспериментальных данных термического анализа и расчетных с применением полученных кинетических параметров данных в зависимости скорости реакции от температуры?
8. Доцент, к.т.н. Ушакова Е. С.: Проводился ли сравнительный анализ адсорбционных свойств облагороженного термической переработкой твердого

остатка пиролиза с применяемыми в настоящее время на практике? Почему все-таки есть смысл его применять?

9. Профессор, д.х.н. Перкель А. Л.: Был ли изучен состав жидких продуктов пиролиза отходов РТИ? Каким методом?

10. Доцент, к.т.н. Солодов В. С.: Был ли изучен состав золы исходного и облагороженного твердого остатка пиролиза? Есть ли различия?

В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой ХТТТ доцент, к.т.н. Неведров Александр Викторович, доцент, к.т.н. Папин Андрей Владимирович, доцент, к.т.н. Ушаков Андрей Геннадьевич, доцент, к.т.н. Ушакова Елена Сергеевна, доцент, к.т.н. Солодов Вячеслав Сергеевич, профессор кафедры технологии органических веществ и нефтехимии института химических и нефтегазовых технологий, д.х.н. Перкель Александр Львович, профессор кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, директор института химических и нефтегазовых технологий д.х.н. Черкасова Татьяна Григорьевна.

#### ПОСТАНОВИЛИ:

Заслушав и обсудив диссертационную работу Макаревич Евгении Анатольевны «Разработка научных основ процессов переработки твердого углеродсодержащего остатка пиролиза резинотехнических изделий», принять следующее заключение.

Председатель заседания

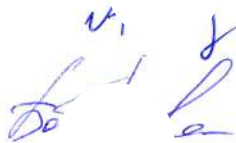
Заведующий кафедрой химической

технологии твердого топлива,

доцент, к.т.н.

А.В. Неведров

Секретарь заседания



И.В. Боброва