



УТВЕРЖДАЮ

Ректор

ФГБОУ ВО «ЯГТУ»

Е.О. Степанова

«28» мая 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

расширенного заседания кафедры «Общая и физическая химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет»

Диссертационная работа аспиранта Кабановой Виктории Сергеевны «Совместный синтез метилэтилкетона и фенола на основе окислительных превращений *втор*-бутилбензола» на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 2.6.10 – Технология органических веществ выполнена на кафедре «Общая и физическая химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет».

В 2022 году Кабанова В.С. с отличием окончила специалитет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет» по направлению подготовки 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.

В процессе подготовки диссертации соискатель Кабанова Виктория Сергеевна, «23» мая 1999 года рождения, работала ассистентом кафедры «Общая и физическая химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет», а также обучалась по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 1.4.3 «Органическая химия» на кафедре «Общая и физическая химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет». Срок обучения в аспирантуре – с 01 октября 2022 года по 30 сентября 2026 года.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2025 году федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Ярославский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор химических наук по научной специальности 05.17.04 – Технология органических веществ, доцент, профессор кафедры «Общая и физическая химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Курганова Екатерина Анатольевна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему «Совместный синтез метилэтилкетона и фенола на основе окислительных превращений *втор*-бутилбензола» принято следующее заключение.

Диссертационная работа Кабановой В.С. посвящена разработке научных и прикладных основ химии и технологии гидропероксидного способа совместного получения метилэтилкетона (МЭК) и фенола на основе доступного нефтехимического сырья, включающего синтез *втор*-бутилбензола (*в*-ББ), его высокоселективное аэробное жидкофазное окисление до гидропероксида (ГП) в присутствии *N*-гидроксифталиimidных катализаторов и сернокислотное разложение гидропероксида в целевые продукты.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что МЭК является коммерчески важным продуктом основного органического и нефтехимического синтеза. Данное соединение широко используется в качестве экстрагента в процессах депарафинизации смазочного масла и обезжиривателя для металлических поверхностей и электронных устройств. Обладая хорошей растворяющей способностью по отношению ко многим веществам, МЭК применяется при производстве лакокрасочных, полимерных и строительных материалов и покрытий, клеевых составов. В фармацевтической промышленности МЭК совместно со спиртами используется при получении антисептических и некоторых лекарственных средств. В лабораторном химическом анализе известно его применение в контроле качества готовой продукции по показателю «Остаточные органические растворители» методом газовой хроматографии. Также МЭК является промежуточным продуктом в синтезе других органических соединений.

В настоящее время существует два промышленных метода получения МЭК, заключающихся в получении бутанола-2 сернокислотной или прямой гидратацией *n*-бутилена с последующим каталитическим окислением в присутствии серебра на цеолитном носителе или дегидрированием спирта с использованием цинк-медных катализаторов. Основными недостатками данных процессов являются их проведение в жестких условиях (при температуре 480-550 °С), использование дорогостоящих

каталитических систем, низкая производительность и высокие энергозатраты. Кроме того, стоит отметить, что технологии по получению МЭК реализованы только в странах Западной Европы, Латинской Америки и Азии. Потребности предприятий РФ практически полностью удовлетворяются зарубежными поставками, в связи с чем МЭК, по данным на 2024 г., входит в Перечень критических комплектующих изделий.

Указанные выше обстоятельства обуславливают актуальность проведения исследований, направленных на разработку альтернативной существующим технологии получения МЭК на основе доступного нефтехимического сырья, базирующейся на жидкофазном окислении *втор*-бутилбензола до его гидропероксида, подвергаемого кислотному разложению в целевые продукты. Разрабатываемый метод позволяет наряду с МЭК получать фенол, широко применяемый в производстве пластмасс и синтетических волокон, пестицидов, различных взрывчатых веществ, красителей и текстиля, а также достаточно часто используемый в производстве лекарственных препаратов.

Научная новизна заключается в том, что предложен и экспериментально обоснован способ получения МЭК совместно с фенолом на основе гидропероксидного окисления *в*-ББ в присутствии *N*-гидроксифталимида (*N*-ГФИ). Впервые получены закономерности протекания основных стадий разрабатываемого процесса и определены лучшие условия их проведения.

Исследованы закономерности реакции азобного жидкофазного окисления *в*-ББ до его *трет*-ГП. Впервые проведена экспериментальная оценка относительной реакционной способности *в*-ББ в реакции жидкофазного окисления путем определения параметра $(k_2/\sqrt{2k_6})$. Показано, что *в*-ББ обладает меньшей реакционной способностью по сравнению с его ближайшим гомологом ИПБ. Установлено, что использование органических *N*-гидроксифталимидных катализаторов позволяет существенно интенсифицировать изучаемый процесс по сравнению с инициированным окислением *в*-ББ. Впервые исследованы кинетические закономерности окисления *в*-ББ в присутствии *N*-ГФИ и составлена математическая модель, адекватно описывающая данный процесс. Изучено влияние температуры, концентрации катализатора и начальной концентрации ГП *в*-ББ на процесс его кислотного разложения в целевые продукты.

Теоретическая и практическая значимость состоит в том, что результаты проведенных исследований подтверждают технологическую эффективность разрабатываемого способа получения МЭК по сравнению с альтернативными методами синтеза данного продукта. Обсужден механизм каталитического окисления *в*-ББ до ГП в присутствии *N*-ГФИ. Установлено, что использование

данного катализатора в процессе окисления позволяет достичь конверсии *o*-ББ 35-40 % при селективности образования ГП *o*-ББ выше 95 %. На основе предложенного механизма реакции составлена кинетическая модель, которая может быть использована для создания аппаратного оформления данного процесса. Найдены условия, позволяющие синтезировать МЭК и фенол высокой степени чистоты с выходами 72 и 74 %, соответственно. Предлагаемый гидропероксидный способ совместного получения этих продуктов позволяет расширить потенциальные возможности данного метода благодаря адаптации кумольной технологии под получение широкого спектра фенолов и кетонов в зависимости от особенностей рынка химической продукции отдельных регионов РФ.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 6 статьях, 4 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, Springer. Получен 1 патент РФ на изобретение.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: Семьдесят пятой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием (2022, г. Ярославль); XXXII Всероссийском Менделеевском конкурсе студентов-химиков (2022, г. Москва); Конкурсе научно-исследовательских работ студентов расположенных на территории Ярославской области образовательных организаций высшего образования (2022, г. Ярославль); VII Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ студентов и аспирантов российских образовательных организаций высшего образования и научных организаций «Наука будущего – наука молодых» (2022, г. Новосибирск); VI, VII Всероссийской молодежной конференции «Проблемы и достижения химии кислород- и азотсодержащих биологически активных соединений» (2022, 2023, г. Уфа); VI Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ студентов, магистрантов и аспирантов вузов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку» (2022, г. Томск); XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 85-летию со дня рождения профессора А.В. Кравцова (2023, г. Томск); Межрегиональном молодежном конкурсе разработок «Изобретено на Верхней Волге» (2023, г. Ярославль); XXVII, XXVIII Всероссийской конференции молодых ученых-химиков с международным участием (2024, 2025, г. Нижний Новгород); XII International Conference «Mechanisms of Catalytic

Reactions» (2024, г. Владимир); XXII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (2024, федеральная территория Сириус).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. **Kabanova V.S.** Studying the Kinetic Laws of the Liquid-Phase Oxidation of *sec*-Butylbenzene in the Presence of *N*-Hydroxyphthalimide / V.S. Kabanova, A.S. Frolov, E.A. Kurganova, V.N. Sapunov, G.N. Koshel, E.I. Bayov // *Catalysis in Industry*. – 2024. – Vol. 16, No. 4. – P.433-442. DOI:10.1134/S2070050424700272. (*Scopus, Web of Science*)

2. **Кабанова В.С.** Гидропероксидный способ совместного получения метилэтилкетона и фенола / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов, Г.Н. Кошель, А.А. Смурова, Е.И. Баёв // *Тонкие химические технологии*. – 2025. – Т. 20, № 1. С. 7-17. DOI:10.32362/2410-6593-2025-20-1-7-17. (*Scopus, Chemical Abstracts*)

3. Kurganova E.A. Aerobic liquid-phase oxidation of *sec*-butylbenzene to the hydroperoxide / E.A. Kurganova, **V.S. Kabanova**, G.N. Koshel, A.S. Frolov // *Russ Chem Bull*. – 2025. – Vol. 74. – P. 1001-1006. DOI:10.1007/s11172-025-4594-6(*Scopus, Web of Science, Springer*)

4. **Кабанова В.С.** Кислотно-каталитическое разложение гидропероксида *втор*-бутилбензола до фенола и метилэтилкетона / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов, Г.Н. Кошель, А.А. Смурова, Е.И. Баёв, А.С. Данилова // *Химическая промышленность сегодня*. – 2024. – № 4. – С. 77-84. (*Chemical Abstracts*)

Публикации в прочих изданиях:

1. **Кабанова В.С.** Выделение гидропероксида *втор*-бутилбензола из продуктов жидкофазного окисления *втор*-бутилбензола методом экстракции / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова // *Вестник технологического университета*. – 2024. – Т. 27, № 5. – С. 31-36. DOI:10.55421/1998-7072_2024_27_5_31.

2. **Кабанова В.С.** Прогнозирование каталитической активности фталимидных соединений в процессе жидкофазного аэробного окисления алкилароматических углеводородов / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов, В.В. Плахтинский, В.А. Шакурн // *От химии к технологии шаг за шагом*. – 2024. – Т. 5, № 2. – С. 8-16. DOI:10.52957/2782-1900-2024-5-2-8-16.

Патент РФ:

1. Патент №2801047 С1 Российская Федерация, МПК C07C 407/00, C07C 409/08. Способ получения гидропероксида *втор*-бутилбензола : № 2023104580 : заявл. 27.02.2023 : опубл. 01.08.2023 / **В.С. Кабанова**, Е.А. Курганова, А.С. Фролов, Г.Н. Кошель; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет» ФГБОУ ВО «ЯГТУ».

Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях:

1. **Кабанова В.С.** Гидропероксидный способ совместного синтеза фенола и метилэтилкетона / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сборник материалов конференции. В. 3 ч. Ч. 1. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. – С. 69-71.

2. **Кабанова В.С.** Разработка гидропероксидного способа совместного получения фенола и метилэтилкетона / В.С. Кабанова, Е.И. Баёв, Е.А. Курганова, А.С. Фролов, Г.Н. Кошель // Проблемы и достижения химии кислород- и азотсодержащих биологически активных соединений: сборник тезисов VI Всероссийской молодежной конференции. 17-18 ноября 2022 г., Уфа. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2022. – С. 35-36.

3. **Кабанова В.С.** Разработка эффективного способа получения метилэтилкетона на основе гидропероксидного окисления *втор*-бутилбензола / В.С. Кабанова, Е.И. Баёв, А.А. Смурова, Е.Р. Швайковская // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 85-летию со дня рождения профессора А.В. Кравцова. 15-19 мая 2023 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – С. 350-351.

4. **Кабанова В.С.** Интенсификация процесса жидкофазного аэробного окисления *втор*-бутилбензола до гидропероксида / В.С. Кабанова, Е.Р. Швайковская, Е.И. Баёв // Проблемы и достижения химии кислород- и азотсодержащих биологически активных соединений: сборник тезисов VII Всероссийской молодежной конференции. 23-24 ноября 2023 г., Уфа. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2023. – С. 38-39.

5. **Кабанова В.С.** Модернизация гидропероксидного способа получения фенола / В.С. Кабанова, Е.Р. Швайковская, Д.М. Немиров, Е.А. Курганова, А.С. Фролов // XXVII Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов. 16-18 апреля 2024 г., Нижний Новгород. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2024. – С. 636.

6. **Kabanova V.S.** Kinetics and Mechanism of Liquid-Phase Aerobic Oxidation *sec*-Butylbenzene in the Presence of *N*-Hydroxyphthalimide / V.S. Kabanova, D.M. Nemirov, A.A. Smurova, E.I. Baev, E.A. Kurganova, A.S. Frolov, G.N. Koshel // Mechanisms of

Catalytic Reactions. XII International Conference: Abstracts. June 17-21, 2024, Vladimir, Russia. – P. 256-257.

7. **Кабанова В.С.** Высокоэффективная технология получения метилэтилкетона – ценного продукта нефтехимического синтеза / В.С. Кабанова, В.О. Шелия, Е.А. Курганова, А.С. Фролов // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Сборник тезисов докладов в 7 томах. Том 1. 7-12 октября 2024 г., Федеральная территория «Сириус», Россия. – М.: ООО «Адмирал Принт», 2024. – С. 405.

8. **Кабанова В.С.** Аэробное жидкофазное окисление *втор*-бутилбензола до гидропероксида / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов, Г.Н. Кошель // XXVIII Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов. 15-17 апреля 2025 г., Нижний Новгород. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2025. – С. 634.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.10 – Технология органических веществ в части:

п. 2 «Разработка физико-химических и технологических основ, а также аппаратного оформления химических технологий производства органических веществ, позволяющих решать проблемы энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности»;

п. 4 «Разработка технологий получения мономеров и иных органических полупродуктов для получения полимерных продуктов»;

п. 5 «Разработка, исследование и создание новых каталитических систем и технологий производства органических продуктов на их основе. Исследование механизмов, кинетики и термодинамики химических процессов для разработки новых технологий. Разработка сопряженных химических технологий получения органических веществ»;

п. 6 «Математическое моделирование и оптимизация процессов химической технологии органических веществ, протекающих в отдельных аппаратах, технологических подсистемах и технологии в целом».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Кабановой Виктории Сергеевны является завершённой 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 Кабановой В.С.;

они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Совместный синтез метилэтилкетона и фенола на основе окислительных превращений *втор*-бутилбензола» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.10 – Технология органических веществ.

Диссертация рассмотрена на расширенном заседании кафедры «Общая и физическая химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет», состоявшемся 28 мая 2025 года, протокол № 6а. В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой «Общая и физическая химия», д.х.н., профессор Абрамов И.Г.; директор Центра трансфера фармацевтических технологий им. М.В. Дорогова, д.х.н., профессор Корсаков М.К.; д.х.н., профессор Кошель Г.Н.; д.х.н., профессор Плахтинский В.В.; к.т.н., доцент Соловьев В.В.; д.х.н., профессор Тарасов А.В.; д.х.н., профессор Филимонов С.И.

Принимало участие в голосовании 17 человек.

Результаты голосования: «За» – 17 человек, «Против» – 0 человек, «Воздержались» – 0 человек, протокол № 6а от 28 мая 2025 г.

Заведующий кафедрой
«Общая и физическая химия»
д.х.н., профессор

И.Г. Абрамов

Секретарь заседания
доцент кафедры «Общая и физическая
химия»
к.х.н.

Е.С. Макарова