УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, доктор химических наук, член-корреспондент РАН
_____ К.Ю. Жижин
«18» сентября 2025 г.

Заключение заседания лаборатории теоретических основ химической технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук

Диссертация «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» выполнена в Лаборатории теоретических основ химической технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН).

В период подготовки диссертации в 2021-2025 гг. соискатель Кисель Алексей Владимирович, 21.03.1997 г. рождения, окончил аспирантуру в 2025 г. в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук по специальности «1.4.4. Физическая химия» и работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника с 2022 года.

Научные руководители – доктор технических наук, член-корреспондент РАН Вошкин Андрей Алексеевич, заместитель директора по научной работе ИОНХ РАН, заведующий лабораторией теоретических основ химической технологии и кандидат химических наук Лупачев Егор Владимирович, научный сотрудник лаборатории теоретических основ химической технологии. Наличие двух руководителей обусловлено междисциплинарностью исследования, включающего как изучение физико-химических свойств исследуемых веществ и их систем, так и разработку теоретических основ методов их разделения.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Цель настоящей работы заключалась в разработке физико-химических основ нового метода разделения промышленной смеси близкокипящих перфторциклоалканов, позволяющего выделить из смеси отдельные компоненты чистотой не менее 99% мас. и увеличить выход продукта. Для достижения поставленной цели, были решены следующие **задачи:**

— 1. Разработать теоретические основы новой технологии разделения промышленной смеси близкокипящих перфторциклоалканов. Реализовать последовательность процессов разделения на типовом оборудовании.

— 2. Разработать физико-химические основы процессов выделения из смеси компонентов чистотой не менее 99% мас.

— 3. Получить в чистом виде и идентифицировать основные перфторированные компоненты смеси продуктов реакции фторирования нафталина.

— 4. Исследовать физико-химические, термофизические и спектральные свойства компонентов смеси и их систем, а также их зависимости от различных параметров.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Кисель А.В. принимал личное участие в планировании и проведении экспериментов. Киселем А.В. были, обработаны и обобщены полученные результаты и литературные данные, подготовлены публикации, на основе результатов исследований. Кисель А.В. также лично проводил подготовку научных работ к публикации и выступал с докладами на научных конференциях. Кисель А.В. сформулировал положения и выводы, выносимые на защиту.

Методология и методы исследования

Методология исследования включает экспериментальные исследования фазовых равновесий близкокипящих перфторированных циклоалканов, а также их кристаллизационного и ректификационного разделения и методов интенсификации последнего.

Для определения качественного и количественного состава смесей использовали методы рефрактометрии, денсиметрии, газовой хроматографии, а также ЯМР- и ИК-спектроскопии.

Степень достоверности результатов проведенных соискателем исследований, их апробация

Достоверность результатов проведенных исследований и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием высокоточных аналитических методов, соблюдением материальных балансов, согласованием экспериментальных и расчётных данных с литературными, а также воспроизводимостью результатов экспериментов. Основные результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и материалах конференций.

Основные результаты работы были представлены на следующих конференциях: XIV и XV Конференции молодых ученых по общей и неорганической химии (Москва, 2024 и 2025 г.); III Всероссийской конференции им. академика В.И. Овчаренко «Органические радикалы и органическая электрохимия: фундаментальные и прикладные аспекты», (Москва, 2023 г.); Международном научно-техническом симпозиуме (МНТС) «Повышение энергоресурсоэффективности, экологической и технологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» (2023 г., Москва); XXII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (2024 г., Федеральная территория «Сириус»).

Научная новизна результатов проведенных исследований

Разработаны физико-химические основы нового метода разделения, позволяющего выделять из промышленных смесей продуктов фторирования нафталина цис- и транс изомеры перфтордекалина, перфтор(бутилциклогексан) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан чистотой более 99,5% мас.

Получены новые физико-химические, термофизические и спектральные данные об исследуемых перфторциклоалканах и их смесях. Полученные данные имеют особую актуальность ввиду возможности использования этих данных при количественном анализе смесей при том, что теоретические исследования свойств фторированных соединений затруднены.

Теоретическая и практическая значимость

Получены новые физико-химические, термофизические и спектральные данные для перфторированных близкокипящих компонентов смеси продуктов фторирования нафталина. Исследовано фазовое равновесие жидкость – твердое систем цис-перфтордекалин – транс-перфтордекалин, цис-перфтордекалин – перфтор(бутилциклогексан), и транс-перфтордекалин – перфтор(бутилциклогексан). Показано, что данные системы характеризуются наличием эвтектик, которые

накладывают термодинамическое ограничение на разделение кристаллизацией. Сочетанием методов кристаллизации и ректификации предложен способ обхода данных ограничений.

Исследовано влияние ряда разделяющих гетероазеотропообразующих агентов на фазовое равновесие жидкость–пар смесей цис-перфтордекалина, транс-перфтордекалина, перфтор(бутилциклогексана) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонана). Найдены эффективные гетероазеотропообразующие агенты, которые позволяют значительно интенсифицировать ректификационное разделение исследуемых систем.

Предложен и реализован на типовом оборудовании новый метод разделения промышленной смеси близкокипящих перфторированных циклоалканов на примере промышленной смеси продуктов фторирования нафталина. Данные метод позволяет значительно увеличить выход продукта и получать перфтордекалин перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан) и перфтор(бутилциклогексан) чистотой 99,5%, 99,8% и 99,7 % мас. соответственно, а также для специфических целей разделять цис-перфтордекалин и транс-перфтордекалин, получая фракции чистотой 99,6% и 99,8% мас. соответственно.

Ценность научных работ соискателя

На основании результатов, полученных Киселем А.В. в диссертации, были разработаны физико-химических основы нового метода разделения, позволяющего выделять из промышленных смесей продуктов фторирования нафталина близкокипящие перфторированные циклоалканы в товарном виде. Данный метод впервые позволяет разделять смесь на отдельные компоненты и получать цис-перфтордекалин, транс-перфтордекалин, перфтор(бутилциклогексан) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан) чистотой 99,6%, 99,8%, 99,7% и 99,8% мас. соответственно.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Киселя Алексея Владимировича соответствует паспорту научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (химические науки), в пунктах:

1. Фундаментальные исследования явлений переноса энергии, массы и импульса в химико-технологических процессах и аппаратах. Разработка физико-химических основ химико-технологических процессов.

2. Теория подобия, моделирование и масштабирование химико-технологических процессов и аппаратов, машин и агрегатов.

8. Интеграция и оптимизация химико-технологических процессов и систем.

9. Методы и способы интенсификации химико-технологических процессов, в том числе с помощью физико-химических воздействий на перерабатываемые материалы.

10. Методы изучения, совершенствования и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод, в том числе разработка химико-технологических процессов переработки отходов.

11. Принципы и методы синтеза и совершенствования ресурсосберегающих химико-технологических систем и производств.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы опубликовано 7 статей в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий (РИНЦ, Scopus, Web of Science) и входящих в перечень изданий ВАК РФ, 5 тезисов в сборниках докладов научных конференций.

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., **Kisel' A.V.**, Kvashnin S.Y., Kulov N.N. Perfluoro(7-Methylbicyclo [4.3.0]Nonane) and Perfluoro(Butylcyclohexane): Physicochemical, Thermophysical, and Spectral Data // Journal of Chemical & Engineering Data. 2023. Vol. 68. P 499–517. DOI: 10.1021/acs.jced.2c00588;

2. Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., **Kisel' A.V.**, Kvashnin S.Y., Kulov N.N. Separation of an Industrial Mixture of Decalin or Naphthalene Fluorination Products. Purification of Perfluoro(7-Methylbicyclo[4.3.0]Nonane) from Close-Boiling Impurities by Heteroazeotropic Distillation // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. Vol. 57. № 5. P 779–790. DOI: 10.1134/S0040579523050500;

3. Polkovnichenko A.V., Kulov N.N.; **Kisel' A.V.**; Kuritsyn N.N.; Kvashnin S.Y.; Lupachev E.V. Separation of an Industrial Mixture of Decalin or Naphthalene Fluorination Products. Physicochemical Foundations of Crystallization of Binary Mixtures of Cis- and Trans-Perfluorodecalin and Perfluorobutylcyclohexane // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. Vol. 57. № 6. P. 1268–1275. DOI: 10.1134/S0040579523060179;

4. Lupachev E.V., Voshkin A.A., **Kisel' A.V.**, Kulov N.N., Zakhodyaeva Yu.A., Polkovnichenko A.A. Separation of an Industrial Mixture of Decalin or Naphthalene Fluorination Products: Cis-Perfluorodecalin, Trans-Perfluorodecalin and Perfluoro(butylcyclohexane): Physicochemical, Thermophysical, and Spectral Data // Processes. 2023.Vol. 11. №11. DOI: 10.3390/pr11113208;

5. Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., **Kisel' A.V.**, Kvashnin S.Ya., Kulov N.N. Perfluoro(7-methylbicyclo[4.3.0]nonane) Purification from Close-Boiling Impurities by Heteroazeotropic Distillation Method // Engineering Proceedings. 2023. Vol. 37. № 1. 72. DOI: 10.3390/ECP2023-14621;

6. **Kisel A.V.,** Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., Kuritsyn N.N., Kvashnin S.Ya., Kulov, N.N. The Process of Isolation, Using Crystallization of Cis- and Trans-Isomers, of Perfluorodecalines from an Industrial Mixture of Electrochemical Fluorination of Napthaline // Engineering Proceedings. 2023. Vol. 37, № 1, 85. DOI: 10.3390/ECP2023-14621;

7. Lupachev E.V., **Kisel A.V.**, Kvashnin S.Ya., Privalov V.I., Ksenofontova T.D., Polkovnichenko A.V. Perfluoro(butylcyclohexane)–Cis-Perfluorodecalin Mixture Separation by Heteroazeotropic Distillation // Chemical Engineering & Technology. 2025. Vol. 48. № 7. e70068. DOI: 10.1002/ceat.70068.

Апробация результатов

Результаты были представлены в ходе на ряде профильных научных мероприятий:

1. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Кулов Н.Н. Разделение промышленной смеси продуктов электрохимического фторирования декалина или нафталина // III Всероссийская конференция им. Академика В.И. Овчаренко «Органические радикалы и органическая электрохимия: фундаментальные и прикладные аспекты», 2023 г. Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН. г. Москва с. 47;

2. **Кисель А.В.,** Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Кулов Н.Н. Разделение промышленной смеси продуктов фторирования декалина или нафталина. Технологическая последовательность выделения перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонана), перфтор(бутилциклогексана), цис-перфтордекалина и транс-перфтордекалина // Международный научно-технический симпозиум (МНТС) «Повышение энергоресурсоэффективности, экологической и технологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности». 2023 г. РГУ Косыгина. Москва;

3. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Вошкин А.А. Новая ресурсосберегающая технология разделения и очистки перфторированных циклоалканов // XIV Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии: Тезисы докладов конференции. Москва, 2024;

4. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Вошкин А.А. Разделение промышленной смеси продуктов фторирования декалина или нафталина.

Перфтордекалин – перфторбутилциклогексан // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, 7-12 октября, 2024, Федеральная территория «Сириус». Россия. Сборник тезисов докладов в 7 томах. Том 2;

5. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Вошкин А.А. Новая ресурсосберегающая технология разделения и очистки перфторированных циклоалканов // XV Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии: Тезисы докладов конференции. Москва, 2025.

Таким образом, диссертация Киселя Алексея Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена важная задача химической технологии – разработан метод, позволяющий разделять смеси продуктов фторирования нафталина на отдельные компоненты и получать цис- и транс изомеры перфтордекалина, перфтор(бутилциклогексан) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан чистотой более 99,5% мас.

Диссертационная работа Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в актуальной редакции) и пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 29 марта 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

По результатам рассмотрения диссертации постановили:

1. Утвердить положительное заключение заседания лаборатории теоретических основ химической технологии по диссертации Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.
2. Рекомендовать диссертацию Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» к защите по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (химические науки) на диссертационном совете 02.6.013.95 на базе ИОНХ РАН.

3. Рекомендовать диссертацию Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов к рассмотрению профильной секцией Учёного совета ИОНХ РАН.

Всего присутствовало 9 человек, из них 1 доктор технических наук и 3 кандидата химических наук.

Результаты голосования: «за» - 9 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел.

Решение принято единогласно.

Протокол заседания лаборатории теоретических основ химической технологии № 14 от 18.09.2025 г.

Председатель коллоквиума
заседания лаборатории,
заместитель директора ИОНХ РАН
д.т.н., чл.-корр. РАН А.А. Вошкин

Секретарь коллоквиума
заседания лаборатории,
н.с., к.х.н. Е.В. Лупачев

«УТВЕРЖДАЮ»

директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, д.х.н., академик РАН В.К. Иванов

(подпись)

«08» октября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

секции «Химическая технология»
Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН)

Диссертация «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» выполнена в Лаборатории теоретических основ химической технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН).

В период подготовки диссертации в 2021-2025 гг. соискатель Кисель Алексей Владимирович, 21.03.1997 г. рождения, окончил аспирантуру в 2025 г. в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова по специальности «1.4.4. Физическая химия» и работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника с 2022 года.

Научные руководители – доктор технических наук, член-корреспондент РАН Вошкин Андрей Алексеевич, заместитель директора по научной работе ИОНХ РАН, заведующий лабораторией теоретических основ химической технологии и кандидат химических наук Лупачев Егор Владимирович, научный сотрудник лаборатории теоретических основ химической технологии. Наличие двух руководителей обусловлено

междисциплинарностью исследования, включающего как изучение физико-химических свойств исследуемых веществ и их систем, так и разработку теоретических основ методов их разделения.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы

Цель настоящей работы заключалась в разработке физико-химических основ нового метода разделения промышленной смеси близкокипящих перфторциклоалканов, позволяющего выделить из смеси отдельные компоненты чистотой не менее 99% мас. и увеличить выход продукта. Для достижения поставленной цели, были решены следующие **задачи:**

1. Разработать теоретические основы новой технологии разделения промышленной смеси близкокипящих перфторциклоалканов. Реализовать последовательность процессов разделения на типовом оборудовании.
2. Разработать физико-химические основы процессов выделения из смеси компонентов чистотой не менее 99% мас.
3. Получить в чистом виде и идентифицировать основные перфторированные компоненты смеси продуктов реакции фторирования нафталина.
4. Исследовать физико-химические, термофизические и спектральные свойства компонентов смеси и их систем, а также их зависимости от различных параметров.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Кисель А.В. принимал личное участие в планировании и проведении экспериментов. Киселем А.В. были обработаны и обобщены полученные результаты и литературные данные, подготовлены публикации, на основе результатов исследований. Кисель А.В. также лично проводил подготовку научных работ к публикации и выступал с докладами на научных конференциях. Кисель А.В. сформулировал положения и выводы, выносимые на защиту.

Степень достоверности и апробации результатов исследований, проведенных соискателем

Достоверность результатов проведенных исследований и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием высокоточных аналитических методов, соблюдением материальных балансов, согласованием экспериментальных и расчетных данных с литературными, а

также воспроизводимостью результатов экспериментов. Основные результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и материалах конференций.

Методологической основой работы стали экспериментальные исследования фазовых равновесий близкокипящих перфторированных циклоалканов, а также их кристаллизационного и ректификационного разделения и методов интенсификации последнего. Для определения качественного и количественного состава смесей использовали методы рефрактометрии, денсиметрии, газовой хроматографии, а также ЯМР- и ИК-спектроскопии. Для описания зависимостей показателей процессов от различных параметров использовались методы математического моделирования.

Новизна, теоретическая и практическая значимость работы

Исследовано влияние ряда разделяющих гетероазеотропообразующих агентов на фазовое равновесие жидкость–пар смесей цис-перфтордекалина, транс-перфтордекалина, перфтор(бутилциклогексана) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонана). Найдены эффективные гетероазеотропообразующие агенты, которые позволяют значительно интенсифицировать ректификационное разделение исследуемых систем.

Исследовано фазовое равновесие жидкость – твердое систем цис-перфтордекалин – транс-перфтордекалин, цис-перфтордекалин – перфтор(бутилциклогексан), и транс-перфтордекалин – перфтор(бутилциклогексан). Показано, что данные системы характеризуются наличием эвтектик, которые накладывают термодинамическое ограничение на разделение кристаллизацией. Сочетанием метода кристаллизации и ректификации предложен способ обхода данных ограничений.

Получены новые физико-химические, термофизические и спектральные данные для перфторированных близкокипящих компонентов смеси продуктов фторирования нафталина. Полученные данные имеют особую актуальность ввиду ограничений на теоретическое исследование свойств фторированных соединений, накладываемых невозможностью применения теории функционала плотности.

Предложен и реализован на типовом оборудовании новый метод разделения промышленной смеси близкокипящих перфторированных циклоалканов ряда С10 на примере промышленной смеси продуктов фторирования нафталина, позволяющий значительно увеличить выход продукта и получать перфтордекалин перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан) и перфтор(бутилциклогексан) чистотой 99,5%, 99,8% и 99,7% мас. соответственно, а также для специфических целей разделять цис-перфтордекалин и транс-перфтордекалин, получая фракции чистотой 99,6% и 99,8% мас. соответственно.

Ценность научных работ соискателя заключается в разработке физико-химических основ нового метода разделения, позволяющего разделять промышленные смеси продуктов фторирования нафталина на отдельные компоненты и получать цис-перфтордекалин, транс-перфтордекалин, перфтор(бутилциклогексан) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан) чистотой более 99,5% мас. Получены новые физико-химические, термофизические и спектральные данные об исследуемых перфторциклоалканах и их смесях. Полученные данные имеют особую актуальность ввиду невозможности математического предсказания свойств фторированных соединений.

Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Киселя Алексея Владимировича соответствует паспорту научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий, в пунктах: 1. Фундаментальные исследования явлений переноса энергии, массы и импульса в химико-технологических процессах и аппаратах. Разработка физико-химических основ химико-технологических процессов. 2. Теория подобия, моделирование и масштабирование химико-технологических процессов и аппаратов, машин и агрегатов. 8. Интеграция и оптимизация химико-технологических процессов и систем. 9. Методы и способы интенсификации химико-технологических процессов, в том числе с помощью физико-химических воздействий на перерабатываемые материалы. 10. Методы изучения, совершенствования и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод, в том числе разработка химико-технологических процессов переработки отходов. 11. Принципы и методы синтеза и совершенствования ресурсосберегающих химико-технологических систем и производств.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы опубликовано 7 статей в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий (РИНЦ, Scopus, Web of Science) и входящих в перечень изданий ВАК РФ, 5 тезисов в сборниках докладов научных конференций.

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., **Kisel' A.V.**, Kvashnin S.Y., Kulov N.N. Perfluoro(7-Methylbicyclo [4.3.0]Nonane) and Perfluoro(Butylcyclohexane):

Physicochemical, Thermophysical, and Spectral Data // Journal of Chemical & Engineering Data. 2023. Vol. 68. P 499–517. DOI: 10.1021/acs.jced.2c00588 23;

2. Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., **Kisel' A.V**., Kvashnin S.Y., Kulov N.N. Separation of an Industrial Mixture of Decalin or Naphthalene Fluorination Products. Purification of Perfluoro(7-Methylbicyclo[4.3.0]Nonane) from Close-Boiling Impurities by Heteroazeotropic Distillation // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. Vol. 57. № 5. P 779–790. DOI: 10.1134/S0040579523050500;

3. Polkovnichenko A.V., Kulov N.N., **Kisel' A.V.**, Kuritsyn N.N., Kvashnin S.Y., Lupachev E.V. Separation of an Industrial Mixture of Decalin or Naphthalene Fluorination Products. Physicochemical Foundations of Crystallization of Binary Mixtures of Cis- and Trans-Perfluorodecalin and Perfluorobutylcyclohexane // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. Vol. 57. № 6. P. 1268–1275. DOI: 10.1134/S0040579523060179;

4. Lupachev E.V., Voshkin A.A., **Kisel' A.V.**, Kulov N.N., Zakhodyaeva Yu.A., Polkovnichenko A.A. Separation of an Industrial Mixture of Decalin or Naphthalene Fluorination Products: Cis-Perfluorodecalin, Trans-Perfluorodecalin and Perfluoro(butylcyclohexane): Physicochemical, Thermophysical, and Spectral Data // Processes. 2023.Vol. 11. №11. DOI: 10.3390/pr11113208;

5. Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., **Kisel' A.V.**, Kvashnin S.Ya., Kulov N.N. Perfluoro(7-methylbicyclo[4.3.0]nonane) Purification from Close-Boiling Impurities by Heteroazeotropic Distillation Method // Engineering Proceedings. 2023. Vol. 37. № 1. 72. DOI: 10.3390/ECP2023-14621;

6. **Kisel A.V.,** Polkovnichenko A.V., Lupachev E.V., Kuritsyn N.N., Kvashnin S.Ya., Kulov, N.N. The Process of Isolation, Using Crystallization of Cis- and Trans-Isomers, of Perfluorodecalines from an Industrial Mixture of Electrochemical Fluorination of Napthaline // Engineering Proceedings. 2023. Vol. 37, № 1, 85. DOI: 10.3390/ECP2023-14621;

7. Lupachev E.V., **Kisel A.V.**, Kvashnin S.Ya., Privalov V.I., Ksenofontova T.D., Polkovnichenko A.V. Perfluoro(butylcyclohexane)–Cis-Perfluorodecalin Mixture Separation by Heteroazeotropic Distillation // Chemical Engineering & Technology. 2025. Vol. 48. № 7. e70068. DOI: 10.1002/ceat.70068.

Апробация результатов

Результаты были представлены в ходе работы ряда профильных научных мероприятий:

1. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Кулов Н.Н. Разделение промышленной смеси продуктов электрохимического фторирования

декалина или нафталина // III Всероссийская конференция им. Академика В.И. Овчаренко «Органические радикалы и органическая электрохимия: фундаментальные и прикладные аспекты», 2023 г. Институт органической химии им. Н. Д.Зелинского РАН. г. Москва;

2. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Кулов Н.Н. Разделение промышленной смеси продуктов фторирования декалина или нафталина. Технологическая последовательность выделения перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонана), перфтор(бутилциклогексана),цис-перфтордекалина и транс-перфтордекалина // Международный научно-технический симпозиум (МНТС) «Повышение энергоресурсоэффективности, экологической и технологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности». 2023 г. РГУ Косыгина. Москва.;

3. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Вошкин А.А. Новая ресурсосберегающая технология разделения и очистки перфторированных циклоалканов // XIV Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии: Тезисы докладов конференции. Москва, 2024;

4. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Вошкин А.А. Разделение промышленной смеси продуктов фторирования декалина или нафталина. Перфтордекалин – перфторбутилциклогексан // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, 7-12 октября, 2024, Федеральная территория «Сириус». Россия. Сборник тезисов докладов в 7 томах. Том 2;

5. **Кисель А.В.**, Лупачев Е.В., Полковниченко А.В., Квашнин С.Я., Вошкин А.А. Новая ресурсосберегающая технология разделения и очистки перфторированных циклоалканов // XV Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии: Тезисы докладов конференции. Москва, 2025.

Таким образом, диссертация Киселя Алексея Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена важная задача химической технологии – разработан метод, позволяющий разделять смеси продуктов фторирования нафталина на отдельные компоненты и получать цис- и транс изомеры перфтордекалина, перфтор(бутилциклогексан) и перфтор(7-метилбицикло[4.3.0]нонан чистотой более 99,5% мас.

Диссертационная работа Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от

24.09.2013 г. № 842 (в актуальной редакции), и пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 29 марта 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

По результатам заседания секции «Химическая технология» Ученого совета ИОНХ РАН постановили:

1. Утвердить положительное заключение секции «Химическая технология» по диссертации Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» на соискание ученой степени кандидата химических наук.

2. Рекомендовать диссертацию Киселя Алексея Владимировича «Новые методы разделения близкокипящих смесей перфторированных циклоалканов» к защите 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (химические науки) на диссертационном совете 02.6.013.95 на базе ИОНХ РАН.

3. Назначить в качестве научных руководителей доктора технических наук, члена-корреспондента РАН Вошкина Андрея Алексеевича, заместителя директора по научной работе ИОНХ РАН, заведующего лабораторией теоретических основ химической технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии наук и кандидата химических наук Лупачева Егора Владимировича, научного сотрудника лаборатории теоретических основ химической технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии наук с их письменного согласия.

4. Рекомендовать в качестве официальных оппонентов:

– доктора технических наук, Анохину Елену Анатольевну, профессора кафедры химии и технологии основного органического синтеза ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет»;

–доктора химических наук, Тойкка Марию Александровну, доцента кафедры химической термодинамики и кинетики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет».

5. Рекомендовать в качестве ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Заключение принято на заседании секции «Химическая технология» Ученого совета ИОНХ РАН 08 октября 2025 г. (протокол № 4). На заседании присутствовало всего 23 человека, в том числе членов секции «Химическая технология» – 13 человек (из 17), из них докторов наук – 6, кандидатов наук – 7.

Результаты голосования: «**за**» – 13 человек, «**против**» – **0** человек, «**воздержалось**» – **0** человек.

Председательствующий,
д.х.н., академик РАН В.М. Бузник

Ученый секретарь секции
«Химическая технология»
Ученого совета ИОНХ РАН,
к.х.н. Ю.А. Заходяева