

Заключение диссертационного совета 24.2.312.05, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.09.2025 г. № 5

О присуждении Дмитриевой Оксане Сергеевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Совершенствование аппаратов вихревого типа для проведения гидромеханических процессов разделения дисперсных сред» по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий принята к защите 20.06.2025 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.2.312.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, приказ Минобрнауки России о создании совета № 246/нк от 03.03.2016 г. (приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03.03.2016 г. диссертационному совету 24.2.312.05 установлены полномочия по защитах диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на срок действия номенклатуры научных специальностей).

Соискатель Дмитриева Оксана Сергеевна, 02.09.1988 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика на тему «Тепломассообмен в градирнях вихревого типа с распылителями» защитила в 2013 году в диссертационном совете Д 212.080.06, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». Работает доцентом кафедры оборудования пищевых производств ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре «Оборудование пищевых производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, Николаев Андрей Николаевич, заведующий кафедрой «Оборудование пищевых производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Официальные оппоненты:

Колобов Михаил Юрьевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», профессор кафедры «Технологические машины и оборудование»;

Сидягин Андрей Ананьевич, доктор технических наук, доцент, Держинский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», профессор кафедры «Технологическое оборудование и транспортные системы»;

Тукмаков Алексей Львович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», профессор кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, в своем положительном отзыве, подписанном Новиковым Андреем Евгеньевичем, доктором технических наук, доцентом, членом-корреспондентом Российской академии наук, заведующим кафедрой «Процессы и аппараты химических и пищевых производств», Голованчиковым Александром Борисовичем, доктором технических наук, профессором, профессором той же кафедры, и утвержденном Навроцким Александром Валентиновичем, исполняющим обязанности ректора, доктором химических наук, профессором, членом-корреспондентом Российской академии наук, указала, что научная новизна работы заключается в том, что впервые обоснована возможность использования множества вихрей малого масштаба в мультивихревых аппаратах для эффективной очистки газов, классификации дисперсных систем и разделения эмульсий, что позволяет повысить эффективность процессов при одновременном снижении энергетических потерь; проведены комплексные экспериментальные и численные исследования гидродинамики мелкомасштабных вихревых потоков в устройствах; получены данные по распределению скоростей, перепадам давления и эффективности функционирования оборудования; установлены эмпирические зависимости, связывающие эффективность процессов сепарации, классификации и очистки с геометрическими характеристиками оборудования и параметрами потока; получены экспериментальные зависимости гидравлического сопротивления для различных типов мультивихревых аппаратов при переменных геометрических и режимных условиях работы; разработан оригинальный алгоритм инженерного расчета с применением методов машинного обучения на платформе Orange Data Mining, позволяющий проводить прогнозирование эффективности и адаптацию параметров работы мультивихревых устройств в зависимости от конкретной задачи и типа

устройства. Диссертация Дмитриевой Оксаны Сергеевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной проблемы совершенствования процессов разделения гетерогенных потоков и разработки научно обоснованных технических и технологических решений по созданию более эффективных мультивихревых устройств для интенсификации процессов сепарации, классификации и очистки многофазных сред, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие химической и смежных отраслей промышленности. Диссертация Дмитриевой О.С. «Совершенствование аппаратов вихревого типа для проведения гидромеханических процессов разделения дисперсных сред», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Дмитриева Оксана Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Соискатель имеет 87 опубликованных работ, общим объемом 520 страниц, все по теме диссертации, из них 22 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 30 статей в изданиях, цитируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science; 15 объектов интеллектуальной собственности; 20 публикаций в других изданиях и материалах конференций. Опубликованные по теме диссертации работы отражают содержание разделов диссертации в части обзора литературных источников, их критического анализа, постановки целей и задач исследований, предложенных методов их решения и полученных результатов, апробированы на международных, научных и научно-практических конференциях.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени, заимствованный материал без ссылки на автора и/или источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных Дмитриевой О.С. в соавторстве, без ссылок на соавторов. Авторский вклад соискателя составляет около 82%.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Madyshev, I. N. Energy saving in distillation by combining vortex contact device and thermal effects / I. N. Madyshev, V. V. Kharkov, **O. S. Dmitrieva**, V. E. Zinurov // Thermal Science and Engineering Progress. – 2022. – V. 34. – P. 101431.

2. Zinurov, V. E. Effect of the Design of a Multi-Vortex Classifier–Separator on the Separation Efficiency of Powder Based on Silica Gel / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, **O. S. Dmitrieva** // Chemical and Petroleum Engineering. – 2023. – V. 58. – № 9-10. – P. 757-765.

3. Zinurov, V. E. The Influence of the Design of a Static Multi-Vortex Classifier on the Efficiency Fractionation of Silica Gel Particles / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, **O. S. Dmitrieva**, A. M. Muginov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2024. – V. 58. – P. 645-650.

4. **Дмитриева, О. С.** Особенности применения вихревых аппаратов различных конструкций в промышленности / О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев, А. Н. Николаев, Г. Р. Бадретдинова // Вестник технологического университета. – 2024. – Т. 27. – № 10. – С. 79-84.

5. **Дмитриева, О. С.** Прогнозирование параметров работы мультивихревого классификатора с использованием машинного обучения в среде Orange Data Mining / О. С. Дмитриева, Г. Р. Бадретдинова, А. В. Дмитриев // Вестник технологического университета. – 2024. – Т. 27. – № 12. – С. 141-146.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Промтова М.А.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; **Коротковой Т.Г.**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; **Войнова Н.А.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»; **Попова И.А.**, доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента Академии наук Республики Татарстан, профессора кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»; **Федяева В.Л.**, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Института механики и машиностроения – структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» и **Моренко И.В.**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника того же института; **Жукова В.П.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»; **Салахова И.И.**, доктора химических наук, исполнительного директора общества с ограниченной ответственностью «Сибур Центр Пилотирования Технологий»; **Пахомова М.А.**, доктора физико-математических наук, профессора Российской академии наук, главного научного сотрудника федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечено, что диссертационная работа выполнена на актуальную тему, направлена на решение важной научно-практической задачи разработки методологии комплексной оценки и

проектирования гидродинамических процессов в мультивихревых устройствах с различными конструктивными решениями.

Имеются замечания и вопросы: соискатель не привел сравнительные данные по экономической и технической эффективности оборудования, спроектированного по разработанным методикам, и существующего оборудования разделения гетерогенных систем (**Промтов М.А.**); мультивихревые течения создают локальные зоны с высокой интенсивностью вращения, в том числе и около стенок аппарата. Как это влияет на износостойкость корпуса аппарата, если известно, что повышение скорости движения частиц усиливает эрозионный износ? (**Короткова Т.Г.**); 1. Следовало бы представить данные сравнения характеристик мультивихревого сепарационного устройства и циклона при одинаковой производительности и показать область преимущественного применения разработанных аппаратов. 2. Так как проводилось моделирование полей скорости и давления, в этой связи, какой вклад в общее гидравлическое сопротивление дают вихри, генерируемые отверстиями устройства? (**Войнов Н.А.**); 1. Из автореферата не ясно, существуют ли альтернативы для повышения эффективности процесса классификации использованию трех последовательно соединенных мультивихревых классификаторов (рис. 34 б)? 2. В автореферате полезно было бы указать количественные результаты показателей работы новых внедренных мультивихревых аппаратов (например, сокращения выбросов в тоннах в год, экономии энергии в кВт·ч), что послужило бы доказательством их эффективности (**Попов И.А.**); 1. представленные в автореферате принципиальные схемы модернизированных установок процессов разделения недостаточно детализированы, что затрудняет понимание их; 2. в автореферате отсутствует обоснование выбора модели турбулентности, тогда как она может существенно повлиять на характеристики потоков и поля концентрации примесей (**Федяев В.Л., Моренко И.В.**); 1. В описании экспериментальных установок (рис. 2, 12, 23 автореферата) не хватает подробностей о

метрологическом обеспечении (класс точности датчиков, погрешность измерений); 2. На рис. 1, 2, 6 показаны входные и выходные потоки газа и не показаны потоки эвакуации выделенных в сепараторе частиц, что затрудняет понимание принципов организации работы установки (**Жуков В.П.**); 1. Число Стокса используется для связи эффективности сепарации с параметрами потока. Стоит уточнить, почему выбрана именно такая модификация формулы (с. 17 автореферата); 2. Упущением автора является отсутствие детального сравнения разработанных мультивихревых аппаратов с существующими промышленными аналогами (например, циклонами, электрофилтрами, центробежными сепараторами) (**Салахов И.И.**); 1. В автореферате не описаны методика проведения измерений для вихревого аппарата и их неопределенности, тип частиц, их размер на рис. 1 и 2 и области применения эмпирической зависимости в Главе 3 (рис. 6); 2. Диссертантом использовались изотропные модели двухпараметрические турбулентности (k - ϵ и k - ω SST). Не указано в автореферате о применении поправок для учета искривления линий тока и закрутки потока (например, учет влияния числа Ричардсона) для двухфазного течения; 3. Диссертант не учитывает влияние дисперсной фазы на процессы переноса в несущей среде, обосновывая это тем, что величина массовой концентрации мала ($\leq 1\%$) и только несущая фазы оказывает влияние на дисперсную. Не очень четко указан диапазон изменения концентрации, что затрудняет проведение более точной оценки. Однако, по известной карте режимов S.E. Elghobashi (Flow, Turbulence and Combustion, 1994; IUTAM Symposium on Computational Approaches to Multiphase Flow, 2006), указанные выше диапазон изменения массовых концентраций, в целом, уже соответствует области влияния частиц на процессы переноса в несущей фазе (two-way coupling); 4. В автореферате не приведены данные для различных типов математических моделей методика численной реализации, использованные в работе численные сетки и проверка независимости решения от количества вычислительных узлов (grid independence test); 5. В автореферате приведены данные сравнений с

собственными экспериментальными результатами только для одного типа вихревого аппарата (см. рис. 33). Не ясно как проводилась верификация и валидация численной модели для большого круга других задач, приведенных в автореферате (Пахомов М.А.).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью по проблематике диссертации, широкой известностью и авторитетом в научном сообществе, опытом работы и публикационной активностью в области процессов и аппаратов химической технологии, в частности, исследований процессов очистки газовых потоков от частиц, аэродинамики, моделирования технологических процессов, что определяет их способность дать профессиональную оценку новизне и научно-практической значимости диссертации.

Ведущая организация широко известна своими исследованиями в области улавливания и нейтрализации вредных газовых выбросов, разработки эффективных методов очистки промышленных газов, снижения выбросов парниковых газов, повышения энергоэффективности систем очистки, анализа полей скоростей фильтрационных течений, создания алгоритмов и программ расчетов на ЭВМ химико-технологических и экологических процессов. Труды сотрудников ведущей организации опубликованы в ведущих российских научных журналах, а также в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science.

Диссертационный совет 24.2.312.05 отмечает, что наиболее существенные результаты, полученные лично соискателем, и их научная новизна заключается в следующем:

- *разработана* методология совершенствования мультивихревых аппаратов, основанная на создании течений с множественными вихрями малого масштаба для интенсификации гидромеханических процессов;
- *предложены* условия формирования сонаправленных вихревых структур малого масштаба, обеспечивающие снижение гидравлического сопротивления при сохранении высокой эффективности разделения

дисперсных сред, и методики расчета мультивихревых аппаратов, основанные на эмпирических зависимостях гидравлического сопротивления и эффективности процессов;

– *доказана* эффективность применения разработанных процессов сепарации двухфазных сред, классификации материалов по размерам, очистки газов в технологическом оборудовании мультивихревого типа в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности;

– *введены* критерии оценки эффективности разработанных мультивихревых аппаратов с учетом размера дисперсных частиц.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– *доказана* применимость методов расчета конструктивных параметров мультивихревых устройств путем установления количественных закономерностей между геометрией вихревых структур, динамикой переноса импульса и эффективностью разделения дисперсных сред;

– *применительно к проблематике диссертации результативно использованы* методы вычислительной гидродинамики для моделирования сложных двухфазных течений и анализа траекторий дисперсных частиц в сочетании с физическим экспериментом по изучению гидромеханических процессов разделения дисперсных сред;

– *изложены* подходы к увеличению эффективности улавливания частиц в мультивихревых сепараторах за счет повышения центробежных сил, возникающих в вихревой структуре потока в сепарационном пространстве аппарата;

– *раскрыты* механизмы формирования самоподдерживающихся вихревых структур малого масштаба, объясняющие снижение энергозатрат за счет сонаправленности вихрей и роста центробежной силы;

– *изучены* гидродинамические характеристики потоков, включая поведение липких частиц и эмульсий с близкими плотностями фаз, что расширяет теоретические основы разделения гетерогенных систем;

– *проведена модернизация* методов постобработки результатов численного моделирования процессов в мультивихревых классификаторах за счет интеграции машинного обучения для прогнозирования недостающих данных и повышения точности их расчетов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– *разработаны и внедрены* патентованные конструкции мультивихревых сепараторов и классификаторов на предприятиях ООО «Скатз», ООО «Каматек» для очистки газов и разделения дисперсных систем;

– *определены* рекомендации по проектированию мультивихревых аппаратов для работы с частицами различной дисперсности, плотности и липкости, включая аэрозоли и эмульсии, и факторы, влияющие на эффективность разделения;

– *создана* инженерная методика расчета мультивихревых устройств с учетом изменения технологических режимов работы установок;

– *представлены* дисперсионный и химический анализ уловленных частиц блочным мультивихревым сепаратором и рекомендации по утилизации уловленных частиц в композитных материалах, трансформирующие отходы в ценный ресурс и повышающие экономическую эффективность внедрения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– *теория* построена на основе уравнений сохранения массы и импульса, фундаментальных физических закономерностях гидродинамики двухфазных потоков и согласуется с экспериментальными данными;

– *идея базируется* на анализе проблем промышленных процессов очистки газов, классификации и сепарации частиц, на правильном сочетании теоретического анализа, CFD-моделирования и промышленных испытаний;

– *использованы* данные промышленного обследования действующих промышленных установок, и результаты, полученные с применением поверенного аналитического оборудования, для определения адекватности результатов математического моделирования;

– *установлено* удовлетворительное согласование полученных результатов математического моделирования с результатами проведенных экспериментальных исследований в разработанных мультивихревых устройствах.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследований, разработке конструкций устройств, инженерных методик расчета, в проведении экспериментальных и численных исследований характеристик работы разработанных устройств, выполнении расчетов эффективности процессов и выборе рациональных режимов, анализе и обработке результатов, обобщении результатов, формулировании выводов, создании модели для прогнозирования параметров работы мультивихревого классификатора с применением методов машинного обучения, получении прогностических параметров эффективности работы мультивихревого классификатора, разработке и внедрению научно-технических решений по модернизации оборудования и процессов на промышленных предприятиях, создании схем промышленного применения разработанных устройств, а также разработке способа утилизации уловленных частиц блочным сепаратором, расчете технико-экономических показателей работы разработанных аппаратов вихревого типа, подготовке и написании научных статей, оформлении результатов интеллектуальной деятельности.

По своему содержанию диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий: п. 3. Способы, приемы, методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах; п. 9. Методы и способы интенсификации химико-технологических процессов, в том числе с помощью физико-химических воздействий на перерабатываемые материалы; п. 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.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования. Рекомендуется дальнейшее развитие научного направления, посвященного разработкам и совершенствованию вихревых технологий для разделения частиц и очистки потоков. Результаты работы, модели и методы рекомендуются использовать при проектировании или реконструкции аппаратов для классификации, сепарации, фракционирования и очистки газовых и жидких сред от дисперсных и эмульгированных компонентов, особенно в условиях ограниченного пространства и повышенных требований к эффективности, на предприятиях химии, нефтехимии и нефтеперерабатывающих заводов. Разработанные модели будут полезны для проектных организаций, таких как АО «ВолгоградНИПИнефть», ОАО «Волгограднефтемаш» и другие, занимающихся вопросами проектирования установок, проведения инженерных расчетов конструкций аппаратов с закрученным потоком, включая выбор геометрических параметров вставок и условий эксплуатации, с использованием разработанных алгоритмов и программных средств, а также эксплуатационному персоналу предприятий. Результаты диссертационной работы также могут быть использованы образовательными организациями при подготовке студентов и аспирантов соответствующих специальностей в области процессов и аппаратов химической технологии.

В ходе защиты диссертации критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было. Соискатель Дмитриева Оксана Сергеевна подробно ответила на замечания, а также задаваемые вопросы в ходе заседания. С рядом высказанных замечаний соискатель согласился.

Диссертационным советом сделан вывод, что рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней»,

утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в действующей редакции.

На заседании 26.09.2025 г. диссертационный совет 24.2.312.05 принял решение за новые научно обоснованные технические и технологические решения в области совершенствования аппаратов вихревого типа, направленных на повышение эффективности промышленных химико-технологических процессов очистки, классификации и сепарации газовых и жидкостных потоков, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие ряда современных областей химического и нефтехимического комплекса страны, присудить Дмитриевой Оксане Сергеевне ученую степень доктора технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 14 докторов наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовал: «за» – 14, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Поникаров
Сергей Иванович
Мухаметзянова
Асия Габдулмазитовна

26 сентября 2025 г.