

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 кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 12.04.2024 № 5

О присуждении Салаховой Эльмире Ильгизьярвне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Улавливание катализатора сепарационным устройством с дугообразными элементами в реакторах с псевдооживленным слоем» по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий принята к защите 02.02.2024 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 Салахова Эльмира Ильгизьяровна, 17.01.1985 года рождения, в 2008 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный технологический университет». С 2008 по 2011 год обучалась в очной аспирантуре государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский

государственный технологический университет». Работает старшим преподавателем на кафедре «Процессы и аппараты химических технологий» Нижнекамского химико-технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Оборудование пищевых производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Дмитриев Андрей Владимирович, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Официальные оппоненты:

Пахомов Максим Александрович, доктор физико-математических наук, профессор Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории «Термогазодинамика» федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук;

Меренцов Николай Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново, в своем

положительном отзыве, подписанным и.о. заведующего кафедрой «Технологические машины и оборудование», к.т.н., доцентом Мироновым Евгением Викторовичем, доцентом той же кафедры, к.т.н., доцентом, Чагиным Олегом Вячеславовичем, указала, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и посвящена решению задачи в области совершенствования аппаратного оформления процессов улавливания катализатора в реакторах с псевдооживленным слоем. В рамках исследования получены значимые результаты, имеющие значение для развития химической технологии. Поставленные перед исследованием задачи решены, а цель исследований достигнута. Личный вклад автора в получении результатов работы не вызывает сомнений. Диссертационная работа Салаховой Эльмиры Ильгизяровны соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в актуальной редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Салахова Эльмира Ильгизяровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, общим объемом 88 страниц, все по теме диссертации, из них: 2 статьи – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 5 статей – в изданиях, цитируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, 7 публикаций – в материалах научных семинаров и конференций, 1 патент на полезную модель. 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. Недостоверные сведения об

опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад соискателя составляет 70%.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. **Салахова, Э. И.** Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, И. Р. Набиуллин, И. И. Салахов // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22. – № 2. – С. 57–64.

2. **Салахова, Э. И.** Влияние сепарационной решетки на эффективность улавливания твердых частиц в устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев, А. А. Абдуллина // Вестник технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 8. – С. 41–46.

3. **Salakhova, E. I.** Modeling of erosion in a cyclone and a novel separator with arc-shaped elements / E. I. Salakhova, V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, I. I. Salakhov // Processes. – 2023. – V. 11. – № 1. – P. 156.

4. Zinurov, V. E. Separating device for capturing fine particles formed during operation of fluidized bed reactors / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, A. A. Abdullina, **E. I. Salakhova**, O. S. Dmitrieva // Chemical and Petroleum Engineering. – 2023. – Vol. 59. – № 3-4. – P. 288–295.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Флисюка О.М.**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Процессы и аппараты» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»; **Мракина А.Н.**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Промышленная теплотехника» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»; **Кузеева И.Р.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; **Гильмуллина Р.Р.**, кандидата технических наук, руководителя направления управления по разработке и внедрению

собственных технологий ООО «ИНКО-ТЭК»; **Шарифуллина Р.Р.**, кандидата технических наук, заместителя генерального директора по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе ООО «Тольяттикаучук»; **Войнова Н.А.**, доктора технических наук, профессора кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»; **Шахова С.В.**, доктора технических наук, профессора кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; **Любова В.К.**, доктора технических наук, профессора, и.о. заведующего кафедрой «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечено, что диссертационная работа выполнена на актуальную тему, направлена на решение важной научно-практической задачи в области совершенствования систем улавливания катализатора в реакторах с псевдооживленным слоем.

Имеются замечания и вопросы: 1. не приведено сравнение значений степени улавливания предлагаемого устройства и циклонных элементов, 2. не представлено сопоставление результатов численного моделирования эрозионного износа с экспериментальными или характерными для промышленности данными (**Флисюк О.М.**); 1. в автореферате отсутствует объяснение поведения зависимости эффективности улавливания твердых частиц сепарационным устройством с дугообразными элементами от диаметра частиц для сотовой сепарационной решетки из продольных и поперечных пластин (рис. 3), 2. в качестве модели турбулентности была выбрана модель рейнольдсовых напряжений Reynolds Stress Model. Однако не указана ее предпочтительность по сравнению с другими моделями, представленными в ANSYS Fluent, 3. на рис. 7 и в формуле (1) в качестве определяющего параметра выбрана скорость воздуха на входе в расходомер на базе сопла Вентури w_{inst} . Чем это обосновано? При расчете аппаратов для

сепарации газодисперсных потоков более предпочтительно и наглядно использовать скорость потока на входе в аппарат. В последующих своих исследованиях автор использует именно ее (**Мракин А.Н.**); 1. автор не прокомментировал причины появления экстремумов на графиках рисунка 8, 2. на экспериментальных зависимостях нет признаков статистической обработки результатов, 3. из текста автореферата не ясно, как получены уравнения 2, 3, 4, 5 (**Кузеев И.Р.**); 1. автор не приводит сравнительную оценку эффективности работы разработанной конструкции сепарационного устройства со стандартными циклонами, используемыми в настоящее время на установках дегидрирования (марка ЦН-15), на основе данных математического моделирования, 2. также отсутствуют результаты по оценке эффективности улавливания частиц в диапазоне размерности частиц, характерной для фракционного состава равновесного (циркулирующего) катализатора (20 мкм-80 мкм) при соответствующих для установок дегидрирования линейных скоростях газового потока, 3. не приведена предлагаемая 3D модель размещения новой конструкции сепарационного устройства внутри реактора и регенератора, с оценкой влияния на гидродинамику потока газа и кипения катализатора, что является важным моментом при расстановке новых узлов в существующую концепцию внутренних устройств оборудования (**Гильмуллин Р.Р.**); 1. Следует пояснить, каким образом осуществлялось численное исследование по эрозионному износу стенок устройства (**Войнов Н.А.**); 1. Почему не исследовались другие формы сепарационных элементов, 2. При проведении численного моделирования не указано, проводился ли поиск сеточно-независимого решения для данной задачи, а также проводилось ли сравнение различных моделей турбулентностей (**Любов В.К.**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, общепризнанными достижениями, 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 пылеулавливания в аппаратах с различными типами контактных устройств, математического описания процесса смешения, истирания зернистых материалов в псевдооживленном слое. Результаты исследований опубликованы в российских и международных изданиях, таких как «Российский химический журнал», «Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение», «Russian Journal of General Chemistry», «Solid Fuel Chemistry» и др.

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

- *разработана* методика расчета конструктивных элементов сепарационного устройства с дугообразными элементами в реакторах с псевдооживленным слоем в зависимости от скорости газового потока на входе в аппарат, обеспечивающая требуемую эффективность разделения мелкодисперсного сыпучего материала;
- *предложены* обобщенные зависимости для расчета гидравлического сопротивления и эффективности сепарационного устройства с дугообразными элементами от скорости газа на входе в установку. Установлена зависимость эффективности сепарационного устройства с дугообразными элементами от размера частиц и скорости газа;
- *доказана* эффективность применения модели турбулентности RSM для численного расчета гидравлического сопротивления сепарационных устройств с дугообразными элементами;
- *получены* зависимости эффективности разделения сыпучего материала (катализатора) от размера мелкодисперсных частиц в сепарационном

устройстве при разных конструктивных исполнениях и скорости потока, уравнения для расчета скорости эрозионного износа для циклона ЦН-15 и сепарационного устройства с дугообразными элементами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- *доказана* применимость метода расчета конструктивных параметров сепарационного устройства с дугообразными элементами, модели турбулентности RSM для численного расчета гидравлического сопротивления сепарационных устройств;
- применительно к проблематике диссертации *результативно использованы* методы экспериментального исследования и численного моделирования явлений переноса импульса, а также уравнения движения частиц в разработанном автором сепарационном устройстве с дугообразными элементами;
- *раскрыто* влияние количества рядов и размеров диаметра дугообразных элементов в сепарационном устройстве на эффективность улавливания частиц;
- *изучены* условия возникновения упорядоченной волнообразной структуры потока в пространстве сепарационного устройства при различных значениях скорости газового потока на входе в аппарат и количестве дугообразных элементов; влияние на эрозионный износ стенок циклона и дугообразных элементов сепарационного устройства дисперсности частиц катализатора.

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

- *разработано* сепарационное устройство с дугообразными элементами, которое имеет практическое использование в нефтехимических производствах РФ;
- *создана* инженерная методика расчета сепарационного устройства с дугообразными элементами в реакторах с псевдоожиженным слоем в зависимости от размеров реактора, скорости газового потока на входе в аппарат;

– *представлены* качественные и количественные результаты эффективности улавливания частиц катализатора в разработанном экспериментальном сепарационном устройстве с дугообразными элементами; сравнительный анализ результатов расчета эрозионного износа сепарационного устройства с дугообразными элементами и циклонного сепаратора.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- *теория* основывается на фундаментальных законах сохранения массы, энергии и импульса, алгоритмах для CFD моделирования и расчета процессов разделения сыпучих материалов в сепараторе;
- *идея базируется* на анализе проблем промышленных процессов сепарации сыпучих мелкодисперсных частиц из газов;
- *установлено* качественное и количественное удовлетворительное соответствие рассчитанных данных с экспериментальными по потери давления в упрощенной модели сепарационного устройства с дугообразными элементами от среднерасходной скорости газового потока на входе в аппарат.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выполнении всех этапов диссертационной работы, включая постановку цели и задач исследований, разработку конструкции устройства, инженерных методик расчета, в проведении экспериментальных и численных исследований, проведении расчетов, анализе и обработке результатов, формулировании выводов, подготовке статей для публикации.

По своему содержанию диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий: п. 2. Теория подобия, моделирование и масштабирование химико-технологических процессов и аппаратов, машин и агрегатов; п. 3. Способы, приемы, методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах; 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. Разработанные в рамках диссертационного исследования математические методы расчета и технические решения целесообразно использовать: 1) в проектных организациях, занимающихся проектированием систем улавливания мелкодисперсных частиц; 2) в исследовательских организациях при проведении изыскательских работ в области газоочистки; 3) в вузах при подготовке специалистов технологических и механических профилей. Научным организациям целесообразно продолжить исследования в данной области в направлении проработки технологических аспектов систем улавливания частиц, на основе разработанного сепарационного устройства с дугообразными элементами.

В ходе защиты диссертации критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было. Соискатель Салахова Эльмира Ильгизяровна аргументировано ответила на замечания и задаваемые ей в ходе заседания вопросы. 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» в действующей редакции.

На заседании 12.04.2024 г. диссертационный совет 24.2.312.05 принял решение присудить Салаховой Эльмире Ильгизяровне ученую степень кандидата технических наук за новые научно-обоснованные технические и технологические решения в области совершенствования устройств аэродинамической сепарации газовзвесей, направленные на повышение эффективности установок очистки газовых выбросов, имеющие существенное значение для развития технологий улавливания частиц из аэрозолей в химической и нефтехимической промышленности.

