

В диссертационный совет 24.2.312.05 при
федеральном государственном
бюджетном образовательном учреждении
высшего образования «Казанский
национальный исследовательский
технологический университет»
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

ОТЗЫВ

**официального оппонента к.т.н., доцента Меренцова Николая Анатольевича
на диссертационную работу Салаховой Эльмиры Ильгизировны
«Улавливание катализатора сепарационным устройством с дугообразными
элементами в реакторах с псевдоожиженным слоем»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий**

Диссертационная работа Салаховой Э.И. общим объемом 149 страниц посвящена проблеме сепарации катализатора в реакторах с псевдоожиженным слоем. Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 149 наименований, содержит 72 иллюстраций и 11 таблиц. Структура диссертации продумана, работа хорошо проиллюстрирована и оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

В автореферате убедительно изложены актуальность проблемы и практическая значимость проделанных исследований, описаны экспериментальные методы, пристальное внимание уделено обсуждению результатов. Список публикаций по теме диссертации, включающий 15 позиций, представляется солидным и достаточным.

Актуальность диссертационной работы.

В диссертационной работе Салаховой Э.И. рассмотрена область нефтехимической отрасли, связанная с процессом получения парафинов, которая содержит в своём составе сепарационную систему пылеулавливания. Классической аппаратной единицей, помимо реакторов с псевдоожиженным слоем, у подобных систем пылеулавливания являются циклоны. Автором рассмотрен реактор с псевдоожиженным слоем, который снабжен шестью парами (12 шт.) циклонами марки ЦН-15, применяемые для предотвращения уноса катализатора.

Отмечены достоинства реактора – происходит эффективное перемешивание твердой и газообразной фаз, появляется возможность отдельного введения компонентов реакционной смеси в псевдоожиженный

слой катализатора. Из-за высокой теплопроводности псевдоожиженного слоя возможно снизить температуру реакционной смеси, поступающей в контактную зону.

Представлены недостатки реакторов с псевдоожиженным слоем катализатора – это наличие продольного перемешивания реакционной смеси в псевдоожиженном слое, который в последствии приводит к снижению скорости реакции, к уменьшению селективности процесса; возможен проскок газового потока в виде пузырей, вследствие чего, происходит снижение скорости реакции; истирание и разрушение самого катализатора с образованием мелкой фракции, что приводит к уносу катализатора и увеличиваются расходные нормы по реагентам. Анализируя литературные данные, Салахова Э.И. также отметила, что циклоны подобного типа обладают низкой устойчивостью к износу и подвержены эрозии стенок, что приводит к увеличению эксплуатационных и капитальных затрат.

Ввиду всех представленных недостатков, работа Салаховой Э.И., посвященная разработке нового сепарационного устройства в качестве замены циклонных сепараторов в реакторах с псевдоожиженным слоем, является весьма актуальной.

Литературный обзор работ содержит аналитический обзор публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов. Приведен анализ современных подходов к сепарации твердых частиц из газа в реакторах с псевдоожиженным слоем. Представлены различные конструкции аппаратов для сепарации частиц катализатора. Отмечены результаты экспериментальных и теоретических исследований авторов. В работах авторами отмечается влияние скорости на движение частиц и его самовращение, приведены сравнительные характеристики стандартных циклонов с модернизированными аппаратами, например, двойной циклон, с помощью которого сепарация твердых частиц происходит за счет двухступенчатого разделения. Также рассмотрены конструкции с увеличенным количеством входных патрубков у циклона, изменение геометрических параметров циклонного сепаратора при постоянном объемном и массовом расходе потока и разных размерах твердых частиц.

Показано, что существующее технологическое оборудование постоянно совершенствуется, путем изменения конструктивных параметров циклонных аппаратов. Однако ключевые недостатки сохраняются. По результатам исследований аппараты обладают высоким гидравлическим сопротивлением, низкой эффективностью улавливания частиц до 30 мкм, износ стенок циклонов и истирание частиц катализаторов, высокими капитальными и эксплуатационными затратами и громоздкостью.

Во второй главе Салаховой Э.И. приведены исследования по улавливанию частиц в разработанном новом сепарационном устройстве с дугообразными элементами, описание механизма улавливания частиц из газа в сепарационном устройстве с дугообразными элементами, определены конструктивные параметры сепарационного устройства – предложено использовать сепаратор с V-образными пластинами, описаны методики проведения экспериментальных исследований, результаты численных исследований, сравнение численного моделирования и экспериментальных исследований. Приведены аргументированные выводы для использования в исследованиях конструкции сепарационного устройства с V-образными пластинами. Они обеспечивают более эффективное ссыпание уловленных частиц катализатора в бункер относительно других рассмотренных сепарационных решеток. В этом случае практически исключаются застойные зоны, в которых может накапливаться отсепарированный материал. Представлены результаты эксперимента и численного исследования сепарационного устройства с дугообразными элементами. Получены зависимости эффективности сепарационного устройства от количества рядов, диаметра дугообразных элементов при различных входных скоростях; зависимости фракционной эффективности сепарационного устройства от размера частиц при различных входных скоростях газа, количестве рядов, диаметре дугообразных элементов.

В третьей главе представлены сравнительные результаты по эрозионному износу разработанного сепарационного устройства с дугообразными элементами и циклона марки ЦН-15. Установлено, что скорость эрозионного износа циклона с увеличением диаметра частиц от 10 до 170 мкм наиболее точно описывается линейной функцией со средним квадратичным отклонением 0,98. Скорость эрозионного износа сепарационного устройства с дугообразными элементами наиболее точно описывается степенной функцией со средним квадратичным отклонением 0,93. По результатам моделирования установлено, что предлагаемое пылеулавливающее устройство при близких производственных режимах и параметрах (температура, давление, скорость, размер частиц и т.д.) позволяет снизить эрозионный износ в ~ 6,5 раз.

В четвертой главе представлена разработанная инженерная методика, позволяющая рассчитать конструктивные параметры сепарационных устройств и определить их расположение относительно друг друга в реакторе в зависимости от требуемой скорости газа на входе в устройство и диаметра. При этом учтено влияние конструктивных и технологических параметров на эффективность и гидравлическое сопротивление сепарационных устройств.

Получены числовые диапазоны основных конструктивных параметров: $100 < h_{in}, \text{мм} < 300$, $20 < d, \text{мм} < 60$, $8 < n_1 < 12$, при которых достигается требуемая скорость на входе в сепарационные устройства, составляющая менее 2 м/с, получения высокой эффективности улавливания частиц катализатора при минимальном гидравлическом сопротивлении. Показано, что на изменение входной скорости в большей мере влияет диаметр дугообразных элементов и высота входного отверстия относительно количества рядов.

В заключении приведены основные результаты по работе.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Экспериментально получены обобщенные зависимости по гидравлическому сопротивлению и эффективности сепарационного устройства с дугообразными элементами в лабораторном модуле от скорости газа на входе в установку. Установлена зависимость эффективности сепарационного устройства с дугообразными элементами от размера частиц 10-208 мкм и скорости газа от 0,87 до 2,43 м/с.

2. В результате численных исследований получены зависимости эффективности сепарационного устройства от количества рядов и диаметра дугообразных элементов при различной скорости газа на входе.

3. Проведенные численные исследования позволили получить зависимости для определения эрозионного износа сепарационного устройства с дугообразными элементами от размера частиц.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в разработке конструкции сепарационного устройства с дугообразными элементами для улавливания катализатора в реакторах с псевдоожиженным слоем, позволяющая работать при низких скоростях;

- в разработке инженерной методики расчета конструктивных параметров сепарационного устройства для улавливания частиц катализатора из газов в реакторах с псевдоожиженным слоем;

- в доказательстве того, что целесообразно использование сепарационного устройства с дугообразными элементами в качестве замены циклонам в реакторах с псевдоожиженным слоем, которая подтверждена исследованиями по эрозионному износу стенок.

- в расчете технико-экономического обоснования использования разработанного сепарационного устройства с дугообразными элементами в реакторах с псевдоожиженным слоем в качестве замены циклонных сепараторов.

Апробация результатов исследований была проведена на 7 научных международных конференциях (г. Красноярск, г. Казань, г. Москва, г. Ульяновск, г. Санкт-Петербург). Также по материалам диссертации

опубликовано 2 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 5 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных цитирования Scopus.

Нельзя не отметить положительные качества диссертационной работы:

- во-первых, это литературный обзор с подробным анализом теоретических, экспериментальных и опытных данных отечественных и зарубежных авторов;

- во-вторых, экспериментальную установку, разработанную автором, результаты исследований на которой во многом устраняют приведенные недостатки существующих сепарационных устройств.

- в-третьих, разработанная инженерная методика, позволяющая рассчитать конструктивные параметры сепарационного устройства для ректоров различных размеров.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов математического моделирования подтверждается использованием фундаментальных уравнений сохранения переноса массы и импульса, а также удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных данных. Достоверность опытных данных подтверждается их воспроизводимостью в однотипных сериях экспериментов, а также использованием для их получения современного, сертифицированного и поверенного оборудования.

В результате проведенного оппонентом анализа текста диссертации, автореферата и публикаций Салаховой Э.И. можно заявить, что поставленные задачи выполнены, а цель работы достигнута. Представленные в работе научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, являются обоснованными. Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации.

При прочтении диссертации и автореферата возникли следующие вопросы, и замечания:

1. Следовало рассчитать и указать в виде таблиц и графических иллюстраций локальную степень улавливания частиц каждой фракции. Особенно на фоне того, что в работе был приведен дисперсионный анализ улавливаемых частиц (кривая распределения частиц по размерам использованного катализатора ИМ-2201).

2. По какой причине в рамках исследований в качестве модели турбулентности была выбрана модель Рейнольдсовых напряжений Reynolds Stress Model (RSM)? Насколько корректно она способна описать протекающую в сепарационных устройствах газодинамику?

3. Каким образом неустойчивость режимов работы реакторов (аппаратов) кипящего слоя способна повлиять на показатели степеней улавливания предлагаемых новых конструкций сепарационных устройств с дугообразными элементами?

4. В работе были проанализированы ключевые недостатки реакторов с псевдооживленным слоем катализатора, важнейшим из которых является продольное перемешивание реакционной смеси. Продольное перемешивание нарушает концентрационный фон в рабочем объеме реактора (аппарата), а также приводит к целому ряду негативных технологических последствий. При помощи каких «инструментов» предполагается регистрировать параметры модели и учитывать продольное перемешивание в кипящем слое?

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности проведенных исследований и не влияют на общую положительную оценку работы, выполненной на высоком научном уровне. Таким образом, диссертация Салаховой Эльмиры Ильгизяровны «Улавливание катализатора сепарационным устройством с дугообразными элементами в реакторах с псевдооживленным слоем» обладает научной новизной, практической значимостью, является самостоятельной и завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена поставленная задача - разработка новой конструкции сепарационного устройства, позволяющую снизить энергетические затраты, увеличить общую эффективность, повысить эрозионную стойкость и обеспечить удобство его эксплуатации и ремонта.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Салаховой Эльмиры Ильгизяровны «Улавливание катализатора сепарационным устройством с дугообразными элементами в реакторах с псевдооживленным слоем» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, отличающейся научной новизной и практической значимостью; совокупность результатов диссертации Салаховой Э.И. можно квалифицировать как решение научно и практически значимых задач химической, нефтехимической технологии. Диссертационная работа Салаховой Э.И. полностью соответствует требованиям по объему и значимости полученных результатов, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий.

Таким образом, считаю, что по научному уровню и объему проведенных исследований соискатель Салахова Эльмира Ильгизяровна достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Официальный оппонент:

Доцент кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», кандидат технических наук (05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»), доцент



Меренцов Николай Анатольевич
26.02.2024г.

Контактные данные:

тел. +7 (8442) 23-00-76, e-mail pahp@vstu.ru

Адрес места работы: 400005, г. Волгоград, ул. пр. им. Ленина, д. 28.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Подпись Меренцова Н.А. заверяю
Начальник общего отдела ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»



Антонова В.А.
26.02.2024г.

Вход. № 03-7913.7
«26» 03 2024г.
подпись 