

В диссертационный совет 24.2.312.05 при
ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический университет»
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Салаховой Эльмиры Ильгизяровны
«Улавливание катализатора сепарационным устройством с дугообразными
элементами в реакторах с псевдоожженным слоем»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Диссертационная работа Э.И. Салаховой посвящена решению актуальной задачи по улавливаю катализатора в реакторах с псевдоожженным слоем, которая направлена на снижение истирания частиц и их последующего уноса, эрозионного износа и гидравлического сопротивления пылеулавливающего оборудования, путем разработки и исследования сепарационного устройства с дугообразными элементами.

Актуальность работы определяется необходимостью создания нового эффективного аппарата с низким гидравлическим сопротивлением для улавливания катализатора в реакторах с псевдоожженным слоем. Разрабатываемый аппарат должен эффективно работать при невысоких скоростях газа, что позволит уменьшить истирание частиц катализатора и эрозионный износ стенок. При этом аппарат должен быть конкурентоспособным относительно аналогов по стоимости, массогабаритным характеристикам и простоте использования. В диссертационной работе представлена модель нового сепарационного устройства с дугообразными элементами. Описан процесс улавливания катализатора из газа за счет создания волнообразной структуры потока.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения, содержащего справку по использованию результатов данной работы на территории ПАО «Нижнекамскнефтехим». Общий объем работы 149 страниц машинописного текста, 72 рисунка и 11 таблиц. Список литературы состоит из 149 источников.

Во **введении** показана актуальность темы, степень научной разработанности проблемы, определены объект и предмет исследования, поставлена цель работы, приводятся задачи, требующие решения; их научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены методы исследования, определена достоверность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, описывается апробация результатов работы и обосновывается соответствие диссертационной темы работы научной специальности.

Обзор современных подходов к сепарации катализатора в реакторах с псевдоожженным слоем представлен в **первой главе**. Показано актуальность эффективного улавливания катализатора из газа в реакторах с псевдоожженным слоем является высокой. На основе выявленных достоинств и недостатков существующих методов сепарации катализатора поставлены цель и задачи исследования.

Во **Второй главе** приведены экспериментальные и численные исследования по улавливанию частиц в сепарационном устройстве с дугообразными элементами. Представлена трехмерная модель устройства и описан принцип его действия. Приведено подробное объяснение значимости каждого конструктивного элемента в устройстве. Проведение физического эксперимента выполнялось на экспериментальной установке с сертифицированным и проверенным измерительным оборудованием. Описано проведение экспериментальных исследований. В ходе физического эксперимента определялись эффективность и гидравлическое сопротивление сепарационного устройства с дугообразными элементами. Для проведения компьютерного моделирования коммерческий CFD пакет ANSYS Fluent. Для замыкания системы трехмерных RANS уравнений использовалась модель переноса компонент рэйнольдсовых напряжений (RSM).

Сравнение результатов численных и экспериментальных исследований по потери давления и эффективности в сепарационном устройстве с дугообразными элементами показало, что отличие между ними составляет не более 6 и 15,5 % соответственно. Получены зависимости эффективности сепарационного устройства от количества рядов, диаметра дугообразных элементов, размера частиц при различных входных скоростях газа; зависимости гидравлического сопротивления сепарационного устройства при различных входных скоростях газа и конструктивных параметров. Показано, что максимальная эффективность при минимальном гидравлическом сопротивлении сепарационного устройства достигается при скоростях газа менее 1 м/с.

Эрозионное исследование сепарационного устройства выполнено в **третьей главе**. Визуально показано образование дыр в стенках циклонных сепараторов, приводящих к снижению эффективности улавливания катализатора, что наглядно демонстрирует значимость проблемы. Проведено компьютерное моделирование эрозионного износа циклона ЦН-15 и разработанного сепарационного устройства с дугообразными элементами. Сравнение результатов показало, что разработанное сепарационное устройство при близких производственных режимах и параметрах позволяет снизить эрозионный износ в несколько раз относительно циклонного сепаратора. Получены зависимости скорости эрозионного износа сепарационного устройства с дугообразными элементами и циклонного сепаратора от размера частиц. Показано, что скорость эрозионного износа стенок сепарационного устройства составляет не более 2,3 мм в год, тогда как для циклонного сепаратора эта величина равняется более 15 мм в год.

В **четвертой главе** представлены результаты технико-экономического обоснования применения сепарационного устройства с дугообразными элементами. Разработана инженерная методика и представлен алгоритм расчета

сепарационного устройства, позволяющая рассчитать конструктивные параметры нескольких устройств в реакторе с псевдоожиженным слоем и определить их расположение относительно друг друга в зависимости от требуемой скорости газа на входе в устройство. Получены числовые диапазоны основных конструктивных параметров (диаметр дугообразных элементов, количество рядов элементов), позволяющих получить максимальную эффективность сепарационного устройства. Проведено технико-экономическое сравнение применения в реакторе с псевдоожиженным слоем 6 сепарационных устройств с дугообразными элементами и 12 циклонных сепараторов. Рассчитан индекс доходности и дисконтированный срок окупаемости при реализации проекта по внедрению 6 сепарационных устройств с дугообразными элементами в реактор с псевдоожиженным слоем равные 2,5 и 2,5 годам для обоих показателей.

В **заключении** представлены основные результаты и выводы по выполненной работе, которые являются обоснованными и достоверными. В **приложении** представлена справка по использованию результатов диссертационной работы, связанной с разработкой нового сепарационного устройства для реакторов с псевдоожиженным слоем с катализатором ИМ-2201, на предприятии ПАО «Нижнекамскнефтехим».

Научная новизна работы заключается в получении обобщенных экспериментальных зависимостей по гидравлическому сопротивлению и эффективности сепарационного устройства с дугообразными элементами в лабораторном модуле от скорости газа на входе в установку; в получении зависимости эффективности сепарационного устройства от количества рядов и диаметра дугообразных элементов при различной скорости газа на входе; в получении зависимости для определения эрозионного износа сепарационного устройства с дугообразными элементами от размера частиц.

Теоретическая значимость связана с использованием эффекта формирования волнообразной структурой газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами. **Практическая значимость** определяется тем, что разработана конструкция сепарационного устройства с дугообразными элементами для улавливания катализатора в реакторах с псевдоожиженным слоем и разработана инженерная методика расчета сепарационного устройства при различных технологических параметрах его работы.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Научные результаты, полученные в работе, могут быть применены при проектировании оборудования на предприятиях химической промышленности, а также в учебном процессе в Казанском национальном исследовательском технологическом университете. Цель и задачи работы достигнуты, получены экспериментальные и численные результаты, имеющие практическую и научную значимость.

По диссертации имеется ряд вопросов и замечаний

- 1) В расчетной части диссертации задавалось моно- или полидисперсное распределение частиц по размерам? Если в работе был рассмотрен полидисперсный поток, то какое количество фракций частиц было рассмотрено? С какой точностью было измерено распределение частиц по размерам, показанное

на рис. 2.26 диссертации и рис. 5 автореферата? Какое из известных распределений частиц наиболее близко описывает, рассмотренное в диссертации (например, логарифмическое или Розина-Раммлера)?

2) Движение дисперсной фазы в работе описывается лагранжевым методом с использованием известного подхода Discrete Phase Model (детерминированное движение представительного набора частиц по индивидуальным траекториям не менее нескольких тысяч). Как в работе принимается во внимание стохастическое влияние турбулентности газа на движение частицы? В качестве характерной скорости газа в модели используется только осредненная скорость газа (вычисляется непосредственно из RANS уравнений). Это упрощает расчет и вполне может быть использовано в инженерных расчетах. Для турбулентных течений должна использоваться мгновенная (актуальная) скорость газа в точке расположения частицы (в англоязычной литературе – *gas velocity seen by particle*).

3) При проведении численных исследований были ли получены режимы, при которых волнообразная структура при течении запыленной среды в сепарационном устройстве не формируется?

4) Почему при проведении экспериментальных исследований сепарационное устройство с дугообразными элементами содержало только 5 рядов, а не другое количество? Проводилось ли оптимизационное численное или экспериментальное исследование по данному параметру?

5) Почему дугообразные сепарационные элементы имеют геометрическую форму именно полуокружностей? В третьей главе отмечается, что эрозионному износу наиболее подвержены первые 2 ряда дугообразных элементов. Каким образом данная проблема может быть решена на практике или уменьшено это негативное воздействие?

6) С чем связаны пики на рисунках 2.36 a -2.36 g ? По мере увеличения размера частиц эффективность сепарационного устройства сначала возрастает, потом уменьшается и далее снова возрастает? Какова физика процесса?

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации

Автореферат достаточно полно отражает основные положения диссертации. Работа прошла апробацию, докладывалась на всероссийских и международных научных конференциях. По результатам работы получены один патент РФ, справка по использованию результатов диссертационной работы на предприятии ПАО «Нижнекамскнефтехим», опубликовано 2 статьи в журналах из списка ВАК и 5 работ в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования.

Выводы диссертации обоснованно отражают основные результаты, полученные соискателем.

Заключение по работе

В целом, по объему, научному уровню, актуальности, новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа «Улавливание катализатора сепарационным устройством с дугообразными элементами в реакторах с псевдоожженным слоем» полностью соответствует

требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, являясь законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки в области совершенствования устройств аэродинамической сепарации газовзвесей, имеющее существенное значение для развития технологий улавливания частиц из запыленных газовых потоков в химической промышленности.

Автор представленной диссертации, **Салахова Эльмира Ильгизяровна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Официальный оппонент

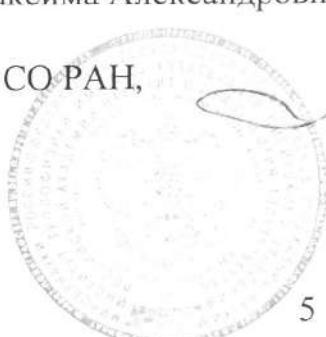
Профессор РАН, главный научный
сотрудник «Лаборатория
термогазодинамики» федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской
академии наук,
доктор физико-математических наук
(01.04.14 – Теплофизика и теоретическая
теплотехника)

Максим
Александрович
Пахомов
07.03.2024 г.


Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект
Академика Лаврентьева, д. 1;
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки Институт
теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской
академии наук
Тел.: +7(383)316-53-36,
e-mail: pma41976@yandex.ru

Подпись Пахомова Максима Александровича
удостоверяю.
Ученый секретарь ИТ СО РАН,
к.ф.-м.н.

М.С. Макаров



Бюл № 01-7914
26.03.2024
подпись 