

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Евсеева Николая Сергеевича

«Исследование гидродинамики и процессов классификации мелкодисперсных порошков в воздушно-центробежных аппаратах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Н. С. Евсеева посвящена созданию математических моделей, описывающих динамику установившегося, нестационарного и периодического двухфазного закрученного турбулентного течения и процессов фракционного разделения частиц в воздушно-центробежном классификаторе.

В различных отраслях промышленности, таких как химическая, атомная, строительная, энергетическая и др. используются мелкодисперсные порошковые материалы с заданным фракционным составом по размеру частиц. Получение мелкодисперсных частиц заданного размера наиболее эффективно осуществляется на основе пневматических классификаторов. К настоящему времени дальнейшее совершенствование пневматических классификаторов и сепараторов сдерживается недостаточной изученностью в области фундаментальных исследований двухфазных закрученных течений при турбулентном режиме течения, когда центробежная и аэродинамическая сила сопротивления частиц направлены в противоположные стороны или находятся под углом друг к другу. Представленные в диссертационной работе математические модели установившегося и периодического движения двухфазного закрученного турбулентного течения в сепарационных камерах центробежного классификатора, несомненно, помогут более подробно изучить сложный физический процесс фракционного разделения твёрдых частиц по размерам и будут способствовать совершенствованию пневматических аппаратов порошковой технологии. На основании сказанного можно утверждать об актуальности выполненной диссертационной работы.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа представлена на 139 страницах машинописного текста, включает в себя введение, четыре раздела, список литературы из 111 наименований и приложение.

Во введении представлена актуальность темы диссертационного исследования, отражены цели исследования, новизна, теоретическая и практическая значимость

полученных результатов, методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, раскрыта структура диссертационной работы.

Первый раздел носит обзорный характер. В ней представлен обзор научно-технической литературы, посвященной исследованию аэродинамики одно- и двухфазных закрученных турбулентных потоков, нестационарных и периодических течений газовых сред, и литературы, посвященной вопросам сепарации и фракционной классификации частиц по размерам в пневматических центробежных аппаратах. Показано, что на данный момент с точки зрения процессов сепарации и фракционной классификации частиц по размерам проведено недостаточно фундаментальных исследований в области двухфазных закрученных потоков.

Во втором разделе отражена физическая и математическая постановки задач осесимметричных закрученных турбулентных течений несущей среды в сепарационных элементах ВЦК. В разделе представлена новая постановка задачи для закрученного турбулентного течения в предложенной модифицированной сепарационной зоне воздушно-центробежного классификатора, геометрия которой позволила повысить эффективность процесса фракционного разделения частиц по размерам и получить дополнительный рабочий параметр для изменения граничного размера частиц и остроты процесса сепарации.

В разделе представлены новые исследования аэродинамики закрученного турбулентного течения при нестационарном и периодическом режиме в вихревой камере, разработанной в НИ ТГУ. Периодические колебания расхода несущей среды определенной частоты показали возможности воздействия на граничные размеры частиц, которое позволяет сократить время нахождения частиц граничного размера в сепарационной камере центробежного аппарата и вследствие этого уменьшить вероятность появления областей с повышенной концентрацией частиц и, тем самым, повысить эффективность процесса разделения порошка по размерам частиц.

Численное исследование закрученного турбулентного течения в рассматриваемых сепарационных камерах проводилось на основе решения системы уравнений Рейнольдса, представленных в цилиндрической системе координат и ортогональной криволинейной системе координат вращения. Замыкание уравнений Рейнольдса проводилось при помощи « $k - \omega$ » модели турбулентности Уилкокса. Решение полученной системы уравнений, проводилось в переменных «скорость-давление» на основе метода физического расщепления полей скорости и давления. Уравнения переноса импульса, кинетической энергии турбулентности и ее удельной скорости диссипации решались с применением известного обобщенного неявного метода переменных направлений. Конвективные и

диффузионные слагаемые уравнений переноса расписываются с помощью известной экспоненциальной схемы.

В третьем разделе представлены новые численные результаты исследования однофазного закрученного турбулентного течения в рассматриваемых сепарационных зонах воздушно-центробежного классификатора. Приведены исследования влияния геометрических и режимных параметров на распределение составляющих вектора скорости газа в рабочей области вихревых камер. В результате исследований получены распределения осредненных скоростей несущего газового потока и характеристики турбулентности. Показано влияние амплитуды и периода колебаний радиальной и окружной составляющих вектора скорости во входном сечении аппарата на картину периодического турбулентного закрученного течения в сепарационной камере. Для предложенной модифицированной зоны сепарации приведено исследование распределение поля температуры несущей среды. В разделе также приводятся исследования по достоверности численного решения закрученного турбулентного течения в вихревых камерах на основе тестовых исследований, сравнения расчетных данных с известными опытными и численными результатами других авторов.

Четвертый раздел включает в себя новые результаты численного расчета динамики мелкодисперсных частиц в исследуемых сепарационных зонах при установившемся, нестационарном и периодическом режимах течения и результаты расчета процесса фракционного разделения частиц. В разделе представлено влияние пульсаций газовой фазы на траекторию движения твёрдых частиц в области сепарации, которое оказывает существенное влияние на остроту процесса классификации частиц по размерам. На основе численных расчетов для модифицированной зоны сепарации построены кривые разделения Тромпа, позволяющие определить эффективность процесса классификации частиц данного аппарата. Показано, что предложенная геометрия сепарационной зоны, позволяет повысить эффективность процесса разделения за счет уменьшения доли крупной фракции в мелком продукте разделения. В этом же разделе приведены траектории движения твёрдых частиц в зависимости от местоположения на входе в зону сепарации с учетом турбулентной диффузии при стационарном режиме течения для сепарационного элемента в виде плоскопараллельных дисков и элемента с профилированным верхним диском. Показано, что применение периодического режима движения сокращает время пребывания частиц граничного размера в вихревой камере, что повышает эффективность процесса фракционного разделения частиц.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные выводы по проведенному исследованию.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Работоспособность разработанных в диссертации моделей и достоверность полученных результатов подтверждается применением апробированных вычислительных методов, проведением тестовых расчетов, сравнением результатов расчетов с аналитическим решением, известными экспериментальными данными и численными результатами других исследователей.

Научная новизна работы заключается в следующем.

Предложена новая модифицированная геометрия сепарационной камеры воздушно-центробежного классификатора (ВЦК). Проведено моделирование динамики установившегося закрученного турбулентного течения в модифицированной сепарационной области ВЦК. Впервые выполнен расчёт двухфазного закрученного турбулентного течения с учётом влияния турбулентных пульсаций несущего потока на траекторию движения твёрдых частиц в предложенной модифицированной камере ВЦК. В результате численных расчетов впервые получены распределения компонент скорости несущей среды, кинетической энергии турбулентности, температуры несущего потока в предложенной сепарационной камере, рассчитаны кривые разделения Тромпа, характеризующие эффективность процесса фракционного разделения частиц по размерам. Показано, что предложенная сепарационная зона способствует повышению эффективности процесса классификации частиц, благодаря уменьшению доли крупного продукта в мелкой фракции.

Разработана математическая модель, описывающая нестационарное и периодическое закрученное турбулентное течение в сепарационной камере. Данная модель позволила получить новые результаты по влиянию амплитуды и частоты колебаний на движение твёрдых частиц в сепарационной камере ВЦК, а также новые результаты расчёта движения мелкодисперсных частиц в зоне сепарации ВЦК с оценкой влияния турбулентных пульсаций несущего потока газа на распределение скоростей и траекторий движения дисперсной фазы. В работе показано, что применение колебательного режима течения несущего потока способствует уменьшению времени нахождения частиц граничного размера в области сепарации, и за счет этого устранения областей с повышенной концентрацией частиц, что приводит к повышению остроты процесса классификации порошков.

Значимость результатов диссертационного исследования

Численные результаты, полученные в диссертации, могут быть применены при исследовании процессов сепарации и фракционной классификации частиц, при

оптимизации геометрических и режимных параметров имеющихся центробежных классификаторов, при создании новых конструкций центробежных аппаратов.

Результаты исследования могут использоваться при моделировании установившихся, нестационарных и периодических режимов течения двухфазных закрученных турбулентных потоков в сепараторах, классификаторах и иных центробежных аппаратах.

Представленные в работе результаты были использованы при выполнении гранта РФФИ №13-08-00367 - А «Моделирование нестационарного двухфазного закрученного турбулентного потока в пневматических центробежных аппаратах», а также при разработке аппаратов воздушно-центробежного типа в ООО «НПО Мипор» (г. Томск), и в рамках договора между физико-техническим факультетом НИ ТГУ (г. Томск) и НИИПММ ТГУ (г. Томск), что отражено в актах внедрения приложенных к диссертации.

На основе результатов численных исследований закрученного двухфазного турбулентного потока была подана заявка на изобретение № 2015131388. Получено положительное решение о выдаче патента РФ от 30.05.2016.

Следует отметить, что работы выполнены на высоком научном уровне, хорошо и грамотно оформлена.

Содержание **автореферата** полностью отражает содержание диссертации, а сам автореферат отвечает всем предъявляемым требованиям.

Основные результаты диссертационного исследования апробированы на всероссийских и международных конференциях. Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 20 работах. Из них 5 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (из них 1 статья в журнале, индексируемом Scopus, 1 статья в журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science).

Замечания к диссертационной работе

1. Не показано влияние на картину течения уровня турбулентной вязкости и кинетической энергии турбулентности на входе в сепарационную камеру.
2. В построенной математической модели движения твердых частиц в сепарационной камере не учитывается обратное силовое влияние частиц на несущий поток.
3. На рисунке 14 отсутствуют обозначения а), б), в).
4. В работе на стр. 114 приведена ссылка [9], которая не соответствует содержанию.

Указанные замечания не снижают ценности полученных в диссертации результатов и высокий уровень оценки представленной соискателем работы.

Заключение

Диссертационная работа Н. С. Евсеева «Исследование гидродинамики и процессов классификации мелкодисперсных порошков в воздушно-центробежных аппаратах» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком квалификационном уровне, и отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении Ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Николай Сергеевич Евсеев, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры технических дисциплин и компьютерной графики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный педагогический университет», доктор физико-математических наук (01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы), старший научный сотрудник

«28» ноября 2016 г.

Служебный адрес:

634061, г. Томск, ул. Киевская, 60,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Томский государственный
педагогический университет
e-mail: rector@tspu.edu.ru; сайт организации:
<http://www.tspu.edu.ru>; тел.: +7 (3822)31-14-64.



подпись

Ткаченко

Алексей Степанович

