

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"National Research Tomsk Polytechnic University" (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. (3822) 60 63 33, (3822) 70 17 79,
Fax (3822) 56 38 65, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО (National Classification of Enterprises and Organizations):
02069303,
Company Number: 1027000890168,
VAT / KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.: (3822) 60 63 33, (3822) 70 17 79,
факс: (3822) 56 38 65, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по ИР и И
Дьяченко А.Н.

«26» ноября 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Марценко Анастасии Александровны «Исследование гидродинамики и процесса смешения высококонцентрированной гранулированной среды в аппаратах порошковой технологии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы выполненного исследования.

Сыпучие материалы используются в порошковой металлургии, пищевой промышленности, производстве лекарственных средств, изготовлении и производстве пластмасс и многих других отраслях промышленности. Производство порошков с заданным гранулометрическим составом и прогнозируемыми физическими свойствами ведется, в основном, с использованием механических или пневматических аппаратов, в которых осуществляются процессы измельчения, дозирования, смешения, усреднения, сушки и гранулирования зернистых сред. Как известно, наиболее эффективными и экологически чистыми являются пневматические методы переработки порошковых материалов. Но практическое применение этих методов сопряжено со сложными процедурами выбора технологических параметров процессов пневматической переработки порошков.

Экспериментальное изучение основных закономерностей движения дисперсных сред в рабочих трактах пневматических аппаратов возможно, но сопряжено с большими затратами времени и материальных ресурсов. При этом не всегда результаты даже достаточно представительных экспериментов гарантируют выбор оптимальных параметров в связи с тем, что гетерогенные

потоки представляют собой очень сложные среды (особенно в условиях высокой концентрации дисперсной фазы). Соответственно эксперименты по их изучению являются многофакторными. Моделей же, связывающих основные функции цели с наиболее значимыми факторами, до настоящего времени не разработаны. По этой причине нет оснований для использования современной математической теории планирования эксперимента в исследования гетерогенных потоков, соответственно, экспериментальные исследования таких потоков можно проводить только в рамках планов классических многофакторных экспериментов с большими затратами времени и материальных ресурсов.

В настоящее время процессы гидродинамики и тепломассопереноса высококонцентрированных гранулированных и зернистых материалов в пневматических аппаратах порошковой технологии недостаточно изучены: методы их расчета базируются, в основном, на эмпирических и статистических моделях. В диссертационной работе предложен новый подход к моделированию процессов гидродинамики и процессов смешения высококонцентрированных зернистых материалов в рамках современной «теории быстрого движения гранулированных сред». Проведенное в работе исследование по моделированию динамики высококонцентрированной гранулированной среды на наклонных поверхностях отражает также основные характерные особенности движения селевых потоков, снежных лавин и других аналогичных природных явлений. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что проведенные в диссертации А.А. Марценко исследования по математическому моделированию гидродинамики и процессов смешения, усреднения и дозирования высококонцентрированных зернистых сред в пневматических аппаратах порошковой технологии являются актуальными.

Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы из 78 наименований, изложена на 121 странице машинописного текста, включает 55 рисунков.

Структура работы логична и последовательна, соответствует заявленным целям исследования, выводы обоснованы. По объему, структуре и стилю изложения диссертации замечаний нет.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, степень ее разработанности, поставлены цели и сформулированы положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и практическая ценность диссертации.

В первом разделе приводится краткий обзор состояния «теории быстрых движений гранулированной среды». Выполнен анализ результатов современных численных и экспериментальных исследований динамики сыпучей среды в аппаратах порошковой технологии. В диссертационном обзоре освещены результаты опытов по смешению и усреднению гранулированных сред в смесителях оригинальных конструкций. Показана перспективность применения пневматических аппаратов порошковой

технологии для процессов дозирования, смешения, усреднения и транспортирования гранулированных сред.

Во втором разделе представлена разработанная автором диссертации новая математическая модель динамики высококонцентрированной гранулированной среды. Основой математической модели являются современные экспериментальные данные о хаотических пульсациях в движущемся высококонцентрированном потоке гранулированной среды в условиях ее скольжения на твердых поверхностях. Сформулированная автором система уравнений переноса импульса основана на гипотезе о движении вязкой несжимаемой жидкости с учетом дополнительного переноса импульса за счет хаотических колебаний гранул, для описания которого использовалась модель мелкомасштабной турбулентности. Для замыкания математической модели разработаны оригинальные условия частичного скольжения среды на твердых, непроницаемых стенках. В этом разделе также приведено описание методов численного решения сформулированной системы дифференциальных уравнений в частных производных, решение которой проводилось как с использованием естественных переменных «скорость-давление», так и в переменных «вихрь-функция тока». Также автором разработаны разностные схемы для реализации условий скольжения плотного слоя зернистой среды на твердых стенках.

В третьем разделе диссертации приведены полученные автором результаты моделирования гидродинамики высококонцентрированной гранулированной среды в плоском бункере с препятствием; на наклонной плоскости; в плоском смесителе с горизонтальными полками; в пневматическом циркуляционном аппарате в осесимметричной и пространственной постановках задач. Проведено сравнение результатов численного моделирования с использованием разработанной математической модели и модифицированной реологической модели «степенной жидкости». Также проведено сравнение результатов вычислений основных характеристик процессов на основе предложенной модели с результатами теоретических исследований и экспериментальными данными других авторов. Для обоснования адекватности принятой численной схемы проведено сравнение полученных результатов с известными аналитическими решениями. Автором проведен анализ влияния параметров разработанной модели на динамику гранулированного материала при инерционном режиме течения в исследуемых условиях. Выполнен расчет траектории и времени пребывания конкретной частицы в пневматическом циркуляционном аппарате в случае пространственной постановки задачи. Важное прикладное значение имеют результаты численного анализа гидродинамики гранулированной среды на наклонной плоскости, часто применяемой в порошковой технологии для транспортировки гранул, и в экспериментальных установках при моделировании схода снежных лавин, извержения вулканов и других природных явлений.

В четвертом разделе приводятся краткие сведения о физических особенностях смешивания гранулированных материалов, методах

моделирования процесса смешения и оценки качества смеси. Представлены новые результаты моделирования нестационарного процесса смешивания гранулированной смеси в пневматическом циркуляционном аппарате. Получены поля концентраций в случае пространственного движения ключевого компонента смеси в пневматическом циркуляционном смесителе в зависимости от времени и координат. Полученные результаты позволяют оценивать эффективность смешения в виде зависимости от времени и геометрии аппарата. Проведено исследование влияния параметров модели на состояние полученной смеси.

Научная новизна.

Разработана оригинальная математическая модель динамики высококонцентрированной гранулированной среды в рамках хорошо известного научного направления механики – «теория быстрых движений гранулированных сред». Реологические особенности поведения гранулированного материала при инерционном режиме течения учитываются в модели на основе теории мелкомасштабной турбулентности. Достоверность предложенной сформулированной автором диссертации модели динамики гранулированной среды подтверждается хорошим соответствием численных результатов и известных опытных данных.

Предложена новая формулировка граничных условий скольжения гранулированной среды на стенке. Такой подход обосновывает учет эффектов частичного скольжения плотного слоя на непроницаемой поверхности, а также возможность моделировать застойных областей зернистой среды при обтекании ею препятствий.

Получены новые решения задачи пространственного течения гранулированного материала в пневматическом циркуляционном аппарате при инерционном режиме движения. Впервые проведен анализ баланса слагаемых в уравнении переноса хаотической энергии при исследовании динамики зернистой среды. Выполнен анализ распределения времени пребывания «меченой» частицы при пространственном течении плотного слоя гранулированной среды в пневматическом циркуляционном аппарате с симметрично расположенными препятствиями в рабочей области аппарата.

На основе сформулированной автором диссертации модели получены новые решения задачи нестационарного пространственного смешения ключевого и основного компонентов смеси в пневматическом циркуляционном аппарате. Установлено изменение коэффициента неоднородности смеси зернистых материалов в зависимости от времени и других характерных параметров.

Обоснованность и достоверность сформулированных положений диссертации.

Обоснованность и достоверность сформулированных положений диссертации обеспечивается корректностью постановок задач и применяемых методов моделирования, базирующихся на научных подходах и исследованиях

отечественных и зарубежных ученых; сходимостью полученных результатов с экспериментальными и расчетными данными, полученными другими авторами.

Теоретическая и практическая ценность результатов диссертации.

Разработанная автором диссертации математическая модель движения высококонцентрированной гранулированной среды вносит дополнительный вклад в развитие теории движения такой среды и процесса смешения зернистых сред применительно к пневматически аппаратам порошковой технологии и природным явлениям. Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности применения разработанного подхода при совершенствовании использующихся в настоящее время пневматических смесителей, питателей и дозаторов гранулированных материалов, а также при создании новых более эффективных установок порошковой технологии.

Автореферат полностью соответствует основным положениям и выводам, представленным в диссертационной работе. Основные результаты исследований А.А. Марценко опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикаций материалов кандидатских диссертаций.

Замечания

1. В диссертационной работе не достаточно полно сформулированы границы применимости разработанной автором математической модели движения высококонцентрированной гранулированной среды.

2. Не описано конкретно модификация реологической модели степенной жидкости. Таких моделей разработано достаточно много, и уместным было бы обоснование преимуществ сформулированной автором диссертации модификации.

3. Весомым обоснованием практической значимости основных результатов диссертационного исследования А.А. Марценко и защищаемых положений могли бы быть свидетельства о регистрации программ автора диссертации в Государственном фонде или патент на полезную модель. Такая форма обоснования практической значимости диссертаций, выполненных на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, достаточно широко распространена. К сожалению, автор такую работу не провела.

Заключение

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертации. Исследования А.А. Марценко проведены на высоком научном уровне, положения, выносимые на защиту и выводы диссертации обоснованы.

Тема диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Диссертация А.А. Марценко является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено новое решение задачи

смешения высококонцентрированной гранулированной среды применительно к пневматическим аппаратам порошковой технологии.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации, а также выступления А.А. Марценко на расширенном семинаре кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института ТПУ можно сделать обоснованное заключение, что диссертация Марценко А.А. «Исследование гидродинамики и процесса смешения высококонцентрированной гранулированной среды в аппаратах порошковой технологии» является законченным научным исследованием и соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.). Автор диссертации Марценко Анастасия Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа и автореферат обсуждены на расширенном семинаре кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» «24» ноября 2016 г, протокол № 4.

Председатель семинара,
заведующий кафедрой теоретической
и промышленной теплотехники
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
доктор физико-математических наук,
профессор
Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина,
д.30, ФГАОУ ВО НИ ТПУ
E-mail: marisha@tpu.ru
тел.: 8(3822)606-248

Кузнецов Гений Владимирович

Секретарь семинара
к.т.н., доцент кафедры
теоретической
и промышленной теплотехники

Нагорнова Татьяна Александровна