

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Марценко Анастасии Александровны

«Исследование гидродинамики и процесса смешения высококонцентрированной
гранулированной среды в аппаратах

порошковой технологии»,

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Марценко А.А. посвящена формулировке математической модели движения высококонцентрированной гранулированной среды, численному моделированию процесса смешения гранулированных материалов на основе разработанной модели в пневматических аппаратах порошковой технологии и природных явлениях.

Актуальность исследования связана с широким применением гранулированных материалов в порошковой металлургии, пищевой промышленности, при производстве удобрений, лекарственных средств, пластмасс и т.д. Транспортировка, хранение, сушка и смешение гранулированных материалов являются цепочками сложных технологических процессов в порошковой технологии. Моделирование поведения снежных лавин и движение селевых потоков при извержении вулканов помогает прогнозировать и предотвращать разрушительные последствия стихийных бедствий. В настоящее время численное моделирование является одним из мощных инструментов исследования различных физических процессов. Задачи по созданию математических моделей технологических процессов и природных явлений, которые позволяют проводить численные исследования в широком диапазоне параметров, оптимизировать существующие и создавать новые технические решения, проводить оценку и предотвращать последствия снежных лавин и селевых потоков являются актуальными.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения, список литературы насчитывает 78 наименований. Диссертационная работа изложена логически последовательно, выделенные разделы взаимосвязаны между собой, представленный материал структурирован.

Во введении обосновывается актуальность выбранного направления исследования, формулируются основные цели исследования и положения, выносимые на защиту, представлены научно-практическая ценность работы и изложено краткое описание работы.

В первом разделе представлен краткий исторический обзор развития нового направления в механике гранулированных материалов, получивший название «теория быстрых движений гранулированных сред». Проводится анализ современных работ, посвященных исследованию динамики высококонцентрированных гранулированных сред.

Особое внимание уделяется современным исследованиям динамики гранулированных материалов в бункерах, наклонных каналах со свободной поверхностью с различными вариациями формы стенок. Приводятся результаты современных исследований смещения и разделения сыпучих материалов с различными характеристиками гранул. Уделяется внимание актуальной проблеме моделирования снежных лавин и «расплывания» объема гранулированной среды на наклонной плоскости.

Во втором разделе представлена разработанная соискателем модель динамики гранулированной среды при инерционном режиме течения. Представлена модифицированная модель степенной жидкости, которая используется для верификации результатов, полученных на основе разработанной автором дифференциальной модели. Сформулированы «граничные условия скольжения» на стенке, которые позволяют получать результаты распределения профиля скорости среды, согласованные с экспериментальными данными в вертикальных каналах различной геометрии. Излагается метод численного решения, схема аппроксимации для записи системы уравнений в конечных разностях. Представлены особенности постановки граничных условий при численном решении системы уравнений в переменных «вихрь-функция тока» и «скорость-давление».

В третьем разделе представлены результаты численного моделирования динамики гранулированной среды в прикладных задачах порошковой технологии. Представлено численное решение задачи о течении гранул в вертикальном канале с препятствием. Проведено сопоставление результатов, полученных на основе предложенной математической модели и на основе подхода с использованием модифицированной модели степенной жидкости. Для этой задачи выполнено сравнение профиля скорости с экспериментальными данными по обтеканию препятствия потоком гранул в бункере. Разработанная модель применяется при моделировании установившегося инерционного течения гранул на наклонной плоскости. Полученное распределение профиля продольной скорости согласуется с результатами исследований других авторов. В задаче о течении гранулированной среды в вертикальном смесителе представлено сопоставление решений, полученных на основе двух различных методов «вихрь-функция тока» и «скорость-давление». Проведен анализ картины течения в смесителе на основе баланса слагаемых в уравнении энергии. Представлены новые результаты моделирования трехмерного установившегося движения высококонцентрированной гранулированной среды в пневматическом циркуляционном аппарате с симметрично установленными сегментами. Выполнено сопоставление численных и аналитических решений в модельной задаче динамики вязкой жидкости в коаксиальном канале в осесимметричной и трехмерной постановке. Проведен анализ влияния определяющих критериев модели на гидродинамику высококонцентрированной гранулированной среды в пневматическом циркуляционном аппарате. Выполнена проверка достоверности разработанной модели при моделировании установившегося течения зернистой среды в вертикальной цилиндрической трубе. Выполнен расчет времени пребывания меченой частицы в

пневматическом циркуляционном аппарате, который позволяет оценить влияние установленных сегментов на гидродинамику потока и процесс смешения гранулированных сред.

В четвертом разделе изложены физические основы и методы моделирования процесса смешения гранулированных сред, методы оценки качества смеси. Представлена модель процесса смешивания на основе уравнения переноса концентрации основного и ключевого компонента смеси, с учетом взаимного действия конвективного и диффузионного смешивания при инерционном режиме движения гранул в пневматических смесителях. Получены новые результаты моделирования трехмерного нестационарного процесса смешивания двухкомпонентной смеси в пневматическом циркуляционном аппарате с симметрично расположенными тарелками. Проведена оценка влияния тарелок на процесс смешения гранулированного материала в аппарате.

В заключении отражены основные результаты проведенных исследований, указаны рекомендации по применению разработанной модели.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов исследования подтверждается согласованными результатами численного расчета с имеющимися опытными данными других авторов, непротиворечивостью полученных результатов при изменении параметров модели, сравнением численного и аналитического решения в модельных задачах.

Научную новизну исследования составляют разработанная автором математическая модель движения высококонцентрированной гранулированной среды, а также новая формулировка граничных условий скольжения среды на стенке. Новые результаты численного исследования динамики гранулированной среды при инерционном режиме течения: в вертикальном канале с препятствием; течение по наклонной плоскости; в смесителе с горизонтальными полками; пространственное течение в пневматическом циркуляционном аппарате с симметрично расположенными сегментами. Новые результаты численного моделирования пространственного нестационарного процесса смешения высококонцентрированной гранулированной среды в пневматическом циркуляционном аппарате.

Теоретическая значимость исследования заключается в формулировке новой модели динамики высококонцентрированной гранулированной среды и новых результатах, полученных на основе этой модели, которые вносят вклад в развитие «теории быстрых движений гранулированных сред». Значимость выбранной темы диссертации подтверждается поддержкой исследований Российским фондом фундаментальных исследований с 2013-2015 гг.

Практическая значимость состоит в применении разработанного подхода для моделирования пространственной картины течения гранулированной среды в аппаратах порошковой технологии, численного исследования процессов смешения и усреднения несвязанных гранулированных сред в пневматических смесителях. Разработанная

методика может применяться при совершенствовании существующих пневматических смесителей, питателей и дозаторов гранулированных сред в порошковой технологии. В приложении к диссертации имеется акт внедрения разработанной методики, что подтверждает прикладную значимость исследования.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и позволяет составить достаточно полное представление о ней.

Апробация основных результатов исследования проводилась на всероссийских научных конференциях. Материалы диссертации изложены в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования науки РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций. Основное содержание диссертации опубликовано в сборниках материалов и докладах всероссийских конференций.

По работе имеются следующие **замечания**:

1. Автор четко не формулирует границы применимости разработанной модели движения гранулированной среды.

2. В диссертации не обсуждается методика выбора численных значений эмпирических констант созданной математической модели.

3. В четвертом разделе при моделировании процесса смешивания гранулированного материала нет сравнения результатов с экспериментальными данными, хотя для определения эффективного диффузионного числа Прандтля такое сопоставление необходимо.

3. Имеются некоторые неточности в оформлении диссертации. В разделе 4 верхний индекс «0» при обозначении концентрации основного компонента смеси изменяется на нижний (стр. 107). Система координат на рис. 3.16 отличается от той, что использована при формулировке задачи на следующей странице.

Эти замечания не меняют общего положительного впечатления о выполненной работе.

Заключение

Основываясь на проведенном анализе представленных материалов, можно считать, что диссертация Марценко Анастасии Александровны является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены задачи численного моделирования гидродинамики и процесса смешения гранулированных сред в аппаратах порошковой технологии, соответствует паспорту специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы по физико-математическим наукам. Автором диссертации разработаны научно обоснованные подходы решения поставленных задач, которые вносят существенный вклад в развитие численного моделирования процессов порошковой технологии и природных явлений.

Считаю, 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,

24.09.2013). Автор диссертации Марценко Анастасия Александровна 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


подпись Ткаченко
Алексей Степанович

«18» 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.

