

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 16 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Евсеева Николая Сергеевича «Исследование гидродинамики и процессов классификации мелкодисперсных порошков в воздушно-центробежных аппаратах» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании присутствовали 21 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы:

1.	Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2.	Пикущак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Бубенчиков Алексей Михайлович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
6.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
8.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
11.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
12.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
13.	Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
14.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
15.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
16.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
17.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
18.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
19.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
20.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
21.	Якутенок Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

В связи с невозможностью присутствия на заседании председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича по его письменному поручению заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Н.С. Евсееву учёную степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.12.2016 г., № 292

О присуждении **Евсееву Николаю Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Исследование гидродинамики и процессов классификации мелкодисперсных порошков в воздушно-центробежных аппаратах»** по специальности **01.02.05** – Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 08.10.2016 г., протокол № 278, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012 г.).

Соискатель **Евсеев Николай Сергеевич**, 1990 года рождения.

В 2013 г. соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2016 г. соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности инженера-исследователя лаборатории высокоэнергетических систем и новых технологий Научно-исследовательского института прикладной математики и механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный

исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре прикладной аэромеханики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Шваб Александр Вениаминович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра прикладной аэромеханики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Ткаченко Алексей Степанович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный педагогический университет», кафедра технических дисциплин и компьютерной графики, профессор

Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра теоретической и промышленной теплотехники, заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук**, г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном **Никулиным Виктором Васильевичем** (доктор физико-математических наук, лаборатория вихревых движений жидкости и газа, заведующий лабораторией) и **Воеводиным Анатолием Федоровичем** (доктор физико-математических наук, профессор, лаборатория прикладной и

вычислительной гидродинамики, главный научный сотрудник), указала, что основная проблема порошковой технологии связана с получением мелкодисперсных порошков с высокой эффективностью разделения их на заданные фракции по размеру. Применение вихревых камер, сепараторов, воздушно-центробежных классификаторов для разделения порошковых материалов на фракции по размеру частиц является наиболее перспективным. Поэтому научная проблема, сформулированная в диссертации, и диссертационная работа в целом, направленная на изучение процессов классификации мелкодисперсных порошков в воздушно-центробежных аппаратах, несомненно, является актуальной. В работе впервые проведено моделирование и получены новые результаты для установившегося закрученного турбулентного течения, а также впервые проведён расчёт двухфазного закрученного турбулентного течения с учётом влияния турбулентных пульсаций несущей среды на движение твёрдых частиц в оригинальной сепарационной зоне ВЦК. На основе полученных численных данных построены кривые разделения Тромпа, характеризующие эффективность процесса классификации частиц по размерам. Показано, что разработанная сепарационная зона позволяет повысить эффективность процесса фракционного разделения, за счёт уменьшения доли крупных частиц в мелкой фракции. Разработана математическая модель нестационарного и периодического закрученного турбулентного течения в вихревой камере, созданной в НИ ТГУ. Представлены новые результаты расчёта динамики мелкодисперсных частиц в зоне сепарации ВЦК с учётом влияния турбулентных пульсаций несущей среды на распределение скоростей и траекторий движения твёрдой фазы. Показано, что периодический режим расхода несущей среды позволяет уменьшить время нахождения частиц граничного размера в сепарационной зоне и увеличить эффективность процесса классификации. Полученные численные результаты двухфазных закрученных потоков могут применяться при исследовании процессов сепарации и классификации частиц порошковых материалов по размеру, при оптимизации геометрических и режимных характеристик существующих ВЦК, и быть полезны при разработке новых способов и конструкций пневматических центробежных аппаратов. Представленные в диссертации результаты могут быть

использованы при моделировании установившегося, нестационарного и периодического режимов течения двухфазных закрученных турбулентных потоков в сепараторах, классификаторах, циклонах и других центробежных аппаратах.

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации – 20 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 5 (из них 1 статья в журнале, индексируемом Scopus, 1 статья в журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science), статья в зарубежном электронном научном журнале, индексируемом Web of Science – 1, в российском научном журнале – 1, в сборниках материалов научного семинара, международных и всероссийских (в том числе с международным участием) научных и научно-практических конференций – 13. Общий объем публикаций автора – 6.45 п.л., личный вклад автора – 2.82 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Shvab A. V. Modeling the process of particle fractionation in a pneumatic centrifugal apparatus / A. V. Shvab, **N. S. Evseev** // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2016. – Vol. 89, is. 4. – P. 829–839. – 1,28 / 0,64 п.л.

2. Шваб А. В. Исследование процесса сепарации частиц в турбулентном закрученном потоке / А. В. Шваб, **Н. С. Евсеев** // Теоретические основы химической технологии. – 2015. – Т. 49, № 2. – С. 197–205. – 0,56 / 0,28 п.л.

в переводной версии журнала:

Shvab A. V. Studying the separation of particles in a turbulent vortex flow / A. V. Shvab, **N. S. Evseev** // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2015. – Vol. 49, is. 2. – P. 191–199.

3. Шваб А. В. Моделирование нестационарного и периодического закрученного турбулентного потока с частицами между профилированными дисками / А. В. Шваб, В. Ю. Хайруллина, Е. В. Журавлев, **Н. С. Евсеев** // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2015. – № 4 (36). – С. 101–112. – 0,75 / 0,19 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На автореферат поступило 4 положительных отзыва. Отзывы представили:

1. **В. Н. Брендаков**, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Высшая математика и информационные технологии» Северского технологического института (филиала) Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, *без замечаний*.
2. **Д. Ю. Палеев**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией аэрологии и систем безопасности угольных шахт, и **А. Е. Баганина** канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории аэрологии и систем безопасности угольных шахт Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, *с замечаниями*: в автореферате мелко представлены рисунки 1, 4, 9, не позволяющие увидеть нижние индексы при параметрах, цифры на рисунках и при осях координат соответственно; на рис. 4 цифры на изолиниях представлены в перевернутом зеркально виде; для замыкания постановки задачи второй главы диссертационного исследования не представлена модель турбулентности Уилкокса в ортогональной криволинейной системе координат.
3. **Ш. Р. Садретдинов**, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник отдела моделирования ОАО «ТомскНИПИнефть», г. Томск, *без замечаний*.
4. **Б. О. Лебедев**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Термодинамика и судовые энергетические установки», и **О. В. Рослякова**, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности Сибирского государственного университета водного транспорта, г. Новосибирск, *с замечаниями*: в автореферате не указаны размеры предлагаемой камеры в результате ее модернизации и усовершенствования; в автореферате не поставлены задачи для выполнения поставленной цели в диссертационной работе; из автореферата не видно практического применения данного исследования.

В отзывах отмечается, что актуальность работы связана с постоянным совершенствованием и развитием пневматических методов переработки дисперсных сред. Проведенные в данной работе фундаментальные исследования в области аэродинамики однофазных и многофазных сред являются актуальными и

востребованными для развития технологии и аппаратов разделения мелкодисперсных порошков на заданные фракции. Автором получены новые научные результаты для одно- и двухфазного установившегося и периодического закрученного турбулентного течения в вихревых камерах; новые результаты исследования процессов фракционного разделения частиц в воздушно-центробежном классификаторе; новые результаты по аэродинамике установившегося и периодического закрученного турбулентного течения, которые можно квалифицировать как решение научной задачи, имеющей существенное значение для теории закрученных гетерогенных потоков. Полученные результаты вносят вклад в развитие аэромеханики, так как в работе содержится решение научной задачи, касающейся динамики нестационарного и периодического двухфазного закрученного турбулентного течения и процессов фракционного разделения частиц в воздушно-центробежном классификаторе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **А. С. Ткаченко** является известным специалистом в области численного исследования задач гидродинамики, в частности, экспериментального и численного исследования процессов движения частиц дисперсной фазы в закрученном потоке вязкой жидкости; **Г. В. Кузнецов** является известным специалистом в области численного исследования задач механики жидкости и газа и тепломассопереноса, в частности, численного исследования процессов тепломассопереноса и фазовых превращений при движении совокупности капель воды через высокотемпературные газы; сложного теплообмена на границе «жидкость-газ»; исследования турбулентного теплопереноса в условиях лучистого нагрева; **Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН** известен своими достижениями в области механики жидкости и газа. Институтом проводятся фундаментальные исследования по научным направлениям в области механики жидкости и газа, математическим проблемам механики сплошных сред, физики и механики высокоэнергетических процессов, в частности, исследуются нестационарные гидродинамические и магнитогидродинамические течения гетерогенных и многофазных сред с концентрированными вихрями в природных и технологических процессах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель установившегося закрученного турбулентного течения в оригинальной сепарационной камере воздушно-центробежного классификатора. На основе данной модели получены новые результаты аэродинамики в предложенной вихревой камере ВЦК;

проведён расчёт двухфазного закрученного турбулентного течения в оригинальной сепарационной камере ВЦК с учётом влияния инерционных, аэродинамических, центробежных и гравитационных сил с оценкой турбулентных пульсаций несущей среды на движение дисперсной фазы;

построены кривые разделения Тромпа на основе расчета процесса фракционного разделения частиц, которые характеризуют эффективность процесса классификации;

установлено, что предложенная сепарационная камера позволяет существенно снизить содержание крупных частиц в выделяемой мелком фракции, что способствует повышению эффективности процесса разделения на 10-20 % в зависимости от режимных параметров;

создана модель нестационарного и периодического закрученного турбулентного течения в сепарационных камерах центробежного аппарата, разработанного в Национальном исследовательском Томском государственном университете;

представлены результаты по влиянию амплитуды и частоты колебаний на аэродинамику нестационарного закрученного турбулентного течения в вихревых камерах ВЦК. Анализ проведённых численных исследований показал, что периодическое изменение радиальной или окружной составляющих вектора скорости несущего потока газа позволяет уменьшить время нахождения частиц по размеру, близких к граничному, что приводит к повышению эффективности процесса классификации;

получены новые результаты расчёта динамики мелкодисперсных частиц в профилированном междисковом пространстве сепарационной зоны с учётом

влияния турбулентных пульсаций несущего газового потока на распределение скоростей и траекторий движения твёрдых частиц.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

в работе получены результаты, которые вносят вклад в развитие аэромеханики, а именно:

разработаны математические модели установившегося по времени, а также нестационарного и периодического закрученного турбулентного течения в сепарационных камерах центробежных аппаратов;

создана новая математическая модель, описывающая процесс движения двухфазного потока в вихревых камерах с учётом влияния турбулентных пульсаций газа на сепарируемые твёрдые частицы;

получены новые численные результаты, которые могут быть использованы при моделировании установившегося, нестационарного и периодического режимов течения закрученных турбулентных потоков в сепараторах, классификаторах, циклонах и других центробежных аппаратах;

разработана оригинальная сепарационная зона вихревой камеры, которая позволила повысить эффективность процесса фракционного разделения за счёт существенного уменьшения доли крупных частиц в мелкой фракции;

установлено, что использование периодического режима расхода несущей среды позволяет повысить эффективность процесса классификации;

получены новые результаты расчётов двухфазных закрученных потоков, которые могут быть использованы при исследовании процессов сепарации и классификации частиц порошковых материалов по размеру, при оптимизации геометрических и режимных характеристик реальных ВЦК, а также могут быть полезны при разработке новых способов и конструкций пневматических центробежных аппаратов.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики:

получены новые результаты, в процессе выполнения соискателем гранта РФФИ № 13-08-00367 – А «Моделирование нестационарного двухфазного закрученного турбулентного потока в пневматических центробежных аппаратах»;

разработана и внедрена методика расчёта нестационарного двухфазного закрученного турбулентного течения при разработке аппаратов воздушно-центробежного типа и систем пылеулавливания;

разработана и внедрена методика расчёта граничного размера частиц и эффективности процесса классификации порошков на основе двухфазного закрученного турбулентного течения применительно к центробежным аппаратам;

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.

Полученные автором численные результаты расчётов двухфазных закрученных потоков могут быть использованы при исследовании процессов сепарации и фракционной классификации частиц в технологиях производства порошков многих отраслей промышленности, таких как химическая промышленность, порошковая металлургия, машиностроение, и др.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы для расширенного использования в учреждениях и академических институтах, которые занимаются исследованием двухфазных закрученных турбулентных установившихся и нестационарных течений и исследованием процессов сепарации и классификации мелкодисперсных частиц, таких как Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск), АО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск), Ивановский государственный энергетический университет (г. Иваново), Северский технологический институт НИЯУ МИФИ (г. Северск) и других образовательных и академических организациях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для решения задачи использованы апробированные численные методы;

проведены серии тестовых расчетов на сеточную и итерационную сходимости;

проведено сравнение результатов численного моделирования с известными теоретическими решениями, известными экспериментальными данными, а также

сравнением полученных результатов с результатами других исследователей и установлено хорошее согласие сравниваемых результатов;

получены результаты расчётов, которые не противоречат физике рассматриваемых явлений.

Новизна результатов диссертационного исследования заключается в развитии численного решения задач аэродинамики закрученных турбулентных течений, а также процессов сепарации и классификации частиц по размерам в воздушно-центробежных классификаторах.

Получены новые результаты для установившегося закрученного турбулентного течения в оригинальной сепарационной камере ВЦК.

Проведено численное исследование нестационарного и периодического закрученного турбулентного течения в оригинальных сепарационных камерах центробежных аппаратов, разработанных в Национальном исследовательском Томском государственном университете. Представлены новые результаты по влиянию амплитуды и частоты колебаний и других параметров на динамику твёрдой примеси в вихревых камерах ВЦК.

Впервые проведён расчёт двухфазного закрученного турбулентного течения в оригинальной сепарационной камере ВЦК с учётом влияния турбулентных пульсаций несущей среды на траектории движения твёрдых частиц. На основе полученных численных данных построены кривые разделения Тромпа, характеризующие эффективность процесса классификации частиц по размерам.

Получены новые результаты расчёта движения твёрдых мелкодисперсных частиц в зоне сепарации ВЦК с учётом влияния турбулентных пульсаций несущего газового потока на распределение скоростей и траекторий движения твёрдых частиц. Показано применение колебательного режима расхода несущей среды для повышения эффективности процесса фракционного разделения частиц.

Личный вклад автора заключается в: выполнении всех исследований, отраженных в работе. Совместно с научным руководителем выполнены постановки задач, обсуждения результатов исследований и подготовка публикаций по теме диссертации.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, согласно пункту 9, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, касающейся динамики установившегося, нестационарного и периодического двухфазного закрученного турбулентного течения, и процессов фракционного разделения частиц в воздушно-центробежных классификаторах, имеющей значение для развития аэромеханики.

На заседании 16.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Евсееву Н. С.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

16 декабря 2016 г.



Христенко Юрий Федорович

Пикущак Елизавета Владимировна