

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.513.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от **31.03.2026** № **3**

**О присуждении Смирнову Павлу Михайловичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Исследование и расчет процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно-винтовом ступенчатом аппарате»** по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки) принята к защите 13 января 2026 года, протокол заседания № 2, диссертационным советом 24.2.513.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 150023, г. Ярославль, Московский проспект, д. 88, приказ № 897/нк от 25 сентября 2025 года.

**Соискатель Смирнов Павел Михайлович**, 07 августа 1997 года рождения, в 2021 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет» с присвоением квалификации «магистр» по направлению подготовки 13.04.03. Энергетическое машиностроение.

**В 2025 году** окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет» по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

**Работает** лаборантом на кафедре «Теоретическая и прикладная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** на кафедре «Теоретическая и прикладная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, доцент **Таршис Михаил Юльевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», кафедра «Теоретическая и прикладная механика», профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Лозовая Светлана Юрьевна**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», кафедра «Механическое оборудование», профессор;

**Беляков Антон Николаевич**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», кафедра «Прикладная математика», заведующий кафедрой

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов **в своем положительном отзыве**, подписанном Гатаповой Натальей Цибиковной, доктором технических наук (специальность 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий), профессором, заведующим кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; Муромцевым Дмитрием Юрьевичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе, **указала, что** диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержатся новые научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию процессов и оборудования для смешения сыпучих сред и соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой

степени кандидата наук, а её автор, Смирнов Павел Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 23 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ или индексируемых в международных базах данных – 6 статей, 2 патента на изобретение РФ, 15 тезисов докладов на научных конференциях, в том числе 7 международных.

Общий объем работ – 11,89 печ. л., личный вклад – 6,98 печ. л. Общий объем работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4,16 печ. л., личный вклад – 1,18 печ. л.

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

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

*В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ или индексируемых в международных базах данных:*

1. Моделирование процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно-винтовом ступенчатом смесителе / **П. М. Смирнов**, Л. В. Королев, М. Ю. Таршис, Е. Ф. Скурыгин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2024. – № 6. – С. 72–78.

2. Modeling the Mixing of Bulk Materials in a Drum-Screw Step Mixer / **P. M. Smirnov**, L. V. Korolev, M. Y. Tarshis [et al.] // Theor. Found. Chem. Eng. – 2025. – V. 59. – P. 646-651.

3. Исследование процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно-винтовом ступенчатом устройстве / **П. М. Смирнов**, М. Г. Костенко, М. Ю. Таршис, Л. В. Королев, А. Б. Капранова // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2025. – Т. 31, № 3. – С. 467-473.

4. Исследование процесса смешивания сыпучих материалов в устройстве барабанного типа с дополнительными рабочими элементами / **П. М. Смирнов**, С. Н. Черпицкий, М. Ю. Таршис, Л. В. Королев, А. Б. Капранова // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2024. – Т. 30, № 2. – С. 285-291.

5. Parameters of the Model of Mixing of Polymer Particles in Crossing Flows for the CyberPhysical Platform / А. В. Капранова, D. V. Stenko, D. D. Bahaeva, D. V. Fedorova, **P. M. Smirnov**, M. Y. Tarshis // Cyber-Physical Systems. Studies in Systems, Decision and Control / A. G. Kravets, A. A. Bolshakov (eds). – Springer, Cham., 2024. – Vol. 560. – P. 153-166.

6. Analysis of Rarefied Flows Formation Process in Chemical Technology Apparatuses for Cyber-Physical Systems / A. B. Kapranova, D. D. Bahaeva, D. V. Fedorova, **P. M. Smirnov**, M. Y. Tarshis // Cyber-Physical Systems: Engineering in Digital Era. Studies in Systems, Decision and Control / A. G. Kravets, A. A. Bolshakov (eds). – Springer, Cham, 2025. – Vol. 624. – P. 93-107.

**Патенты на изобретения РФ:**

1. Патент № 2812190 Российская Федерация, МПК В01F 9/02, МПК В01F 3/18. Смеситель сыпучих материалов / М. Ю. Таршис, **П. М. Смирнов**, Л. В. Королев, А. Б. Капранова; опубл. 24.01.2024, Бюл. № 3.

2. Патент № 2819489 Российская Федерация, МПК В01F 23/60. Способ исследования качества смеси компонентов, различающихся по цвету / М. Ю. Таршис, **П. М. Смирнов**, Л. В. Королев, А. Б. Капранова; опубл. 21.05.2024, Бюл. № 15.

На диссертацию и автореферат поступили **положительные отзывы**, в которых отмечается научная новизна и практическая ценность работы. Отзывы были получены от:

**I. Липина Александра Геннадьевича, доктора технических наук (специальность 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий), профессора, профессора кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» с замечаниями:**

1. В заключении отсутствуют числовые характеристики полученных результатов.

2. Оправдано ли снижение коэффициента неоднородности смеси на 2,5 % усложнением конструкции при переходе от одноступенчатого к трехступенчатому аппарату?

**II. Панова Сергея Юрьевича, доктора технических наук (специальность 05.17.08. Процессы и аппараты химических технологий), доцента, профессора кафедры «Прикладная математика и механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» с замечаниями:**

1. Для математического описания процесса в смесителе используется одно из уравнений движения несжимаемой жидкости (уравнение непрерывности), которое желательно дополнить моделью динамического слоя.

2. В автореферате не приведено исследование или выбор реологической модели сыпучих материалов.

3. Пункт 7 заключения (основных выводов), по нашему мнению, указан некорректно. Написано «...предлагается использовать...», а фактически – принят к внедрению, что подтверждено соответствующим актом.

**III. Огурцова Валерия Альбертовича, доктора технических наук (специальность 05.02.13. Машины, агрегаты и процессы (строительство), профессора, профессора кафедры строительства и инженерных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» с замечанием:**

1. Отсутствие исследований по влиянию на качество получаемых смесей физико-механических свойств смешиваемых компонентов, таких как форма частиц, углы внутреннего трения.

**IV. Шахова Сергея Васильевича, доктора технических наук (специальность 05.18.12. Процессы и аппараты пищевых производств), доцента, профессора кафедры машин и аппаратов пищевых производств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» с замечанием:**

1. В автореферате приведены результаты экспериментальных исследований и математического моделирования процесса смешивания, однако было бы полезно более подробно представить сопоставительный анализ расчетных и экспериментальных данных, а также показать степень влияния отдельных параметров модели на точность прогноза коэффициента неоднородности смеси.

**V. Тумановского Анатолия Григорьевича, доктора технических наук, Вице-президента Акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» (АО «ВТИ»), старшего научного сотрудника с замечаниями:**

1. Согласно сформулированной в автореферате цели исследования и его практической ценности барабанно - винтовой ступенчатый смеситель сыпучих материалов должен позволить получение однородных качественных смесей компонентов в соотношении до 1:7-1:11. Однако, в пункте 2 основных выводов и результатов работы отмечено, что соискателем разработана новая конструкция барабанно - винтового ступенчатого смесителя, защищенная патентом РФ. К сожалению, возможность получения требуемого соотношения не отражена. К тому же, судя по тексту автореферата, это соотношение также

не нашло должное отражение и не упоминается, как результат достижения цели.

2. В главе 2 отмечено, что экспериментальные исследования процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно - винтовом ступенчатом смесителе проведены в зависимости от ряда влияющих факторов, и в главе 3 представлены результаты теоретических исследований, но не приведены сведения о том, что результаты исследований могут быть основой для оформления более эффективной конструкции смесителя как результата интеллектуальной деятельности.

**VI. Размолодина Льва Петровича, доктора технических наук, (специальность 05.17.08. Процессы и аппараты химических технологий), профессора, председателя Ярославской областной организации «Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов» с замечаниями:**

из автореферата не вытекают темы:

1. Технологии, где возможно применение разработанного аппарата.
2. Не показаны сравнительные экономические и энергетические характеристики устройства.
3. Отсутствие условных обозначений в автореферате затрудняет восприятие представленного материала.

**VII. Беренгартена Михаила Георгиевича, кандидата химических наук, профессора, профессора кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» с замечанием:**

1. В качестве замечания следует указать, что из автореферата не ясен винтовой профиль предлагаемого нового аппарата.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в соответствующей отрасли науки и имеющих публикации в соответствующей сфере исследования, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обосновывается известностью своими достижениями в соответствующей отрасли науки и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана:**

- математическая модель процесса смешивания сыпучего материала в барабанно-винтовом ступенчатом аппарате, позволившая определить поле

скоростей и концентраций частиц и получить зависимости коэффициента неоднородности смеси в произвольном сечении аппарата;

- инженерная методика расчета конструктивных, технологических и энергетических параметров барабанно-винтового ступенчатого смесителя сыпучих материалов;

- программа расчета коэффициента неоднородности смеси, получаемой в барабанно-винтовом ступенчатом аппарате;

**предложено** представление механизма сегрегации в результате нарушения равновесия сыпучей смеси, вследствие совместного действия на контрольную частицу силы тяжести и сил выталкивания со стороны окружающих частиц;

**доказана:**

- эффективность применения математического моделирования процесса смешивания в барабанно-винтовом ступенчатом смесителе непрерывного действия с использованием уравнения непрерывности для определения поля концентраций условной двухкомпонентной смеси с учетом процесса сегрегации смеси;

- перспективность предложенного технического решения (в барабанно-винтовом ступенчатом аппарате непрерывного действия при использовании метода разбавления, за счёт дозагрузки транспортирующего (условного) компонента на ступенях) для получения качественных сыпучих смесей с соотношением компонентов от 1:1 до 1:11.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** прогностические возможности разработанной математической модели процесса смешивания по определению однородности смеси в различных сечениях барабанно-винтового ступенчатого аппарата, которые могут быть использованы при разработке методов расчета новых устройств;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы механики сплошных сред для определения поля концентраций ключевого компонента условной двухкомпонентной смеси с учётом процессов сегрегации, а также современные экспериментальные методы определения качества получаемой смеси, включая полуконтактные и бесконтактные способы;

**изложены** методы исследования качества сыпучей смеси в барабанно-винтовом смесителе непрерывного действия с дополнительными рабочими лопастями, а также условия повышения качества (однородности) получаемых сыпучих смесей с малыми (порядка 0,1) концентрациями целевого компонента в аппарате ступенчатой конструкции;

**раскрыты** особенности процесса сегрегации и повышения однородности сыпучей смеси с малой (порядка 0,1) концентрацией ключевого компонента в барабанно-винтовом ступенчатом аппарате;

**изучена** зависимость коэффициента неоднородности сыпучей смеси, получаемой в барабанно-винтовом устройстве от его параметров (числа ступеней, их длин, шага и высоты винтового желоба, концентрации ключевого компонента).

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработаны:**

- новая конструкция барабанно-винтового ступенчатого смесителя сыпучих материалов, позволяющего получать однородные смеси с соотношением компонентов 1:1-1:11, в том числе, смеси компонентов, склонных к сегрегации, защищенная патентом РФ (патент РФ № 2812190, опубл. 24.01.2024, Бюл. № 3);

- алгоритмическое обеспечение для расчета, движения и смешивания частиц, вычисления коэффициента неоднородности смеси, предложенное на основе теоретических и экспериментальных исследований процесса смешивания сыпучих материалов, результатов его численного моделирования. Разработанный смеситель и алгоритмическое обеспечение для расчета коэффициента неоднородности смеси принят к внедрению в агрегате для десульфуризации дымовых газов в АО «Кондор-Эко» (Ярославская область);

**созданы:**

- эффективный способ экспериментального исследования процесса смешивания, защищенный патентом РФ (патент РФ № 2819489, опубл. 21.05.2024, Бюл. № 15), позволяющий определить критерий качества в поперечных сечениях смеси в аппарате с дополнительными перемешивающими элементами любого типа;

- методика инженерного расчета основных параметров нового барабанно-винтового ступенчатого смесителя сыпучих материалов: конструктивных, технологических и энергетических;

**представлены** рекомендации для разработки тематики исследования. Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для модернизации существующих конструкций смесителей сыпучих материалов гравитационно-пересыпного действия, предназначенных для приготовления однородных смесей с небольшими (до 0,083) концентрациями ключевого компонента.

Полученные результаты также могут быть использованы в процессе обучения студентов и магистрантов по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование» с соответствующими профилями;

**представлены** предложения по использованию разработанного барабанно-винтового ступенчатого смесителя в агрегате для десульфуризации дымовых газов с обеспечением повышения эффективности процесса за счет формирования развитой поверхности контакта реагирующих фаз.

#### **Результаты работы:**

- метод инженерного расчета барабанно-винтового ступенчатого смесителя сыпучих материалов;

- алгоритм численного расчета процесса смешивания в новом аппарате по предложенной математической модели;

- новый способ экспериментального исследования процесса смешивания в аппаратах периодического и непрерывного действия **могут быть рекомендованы** для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях и в организациях, занимающихся разработкой, изготовлением и эксплуатацией смесительного оборудования: НПО «Агромаш» (г. Ногинск, Московская область); Завод «Строммашина» (г. Самара); Асфальтобетонный завод № 1 (г. Санкт-Петербург), «АБЗ КАПОТНЯ» (г. Дзержинский, Московская область).

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** воспроизводимость результатов экспериментальных исследований на основе применения надежных методов их проведения, а также современных компьютерных методов обработки результатов;

**теория** строится на базе известных научных методов, достоверность результатов определяется адекватностью моделирования процесса смешивания на основе известных законов механики движения и взаимодействия частиц, результаты математического моделирования согласуются с данными, полученными в ходе проведения экспериментальных исследований;

идея базируется на анализе опыта математического описания процессов смешивания сыпучих материалов в аппаратах гравитационно-пересыпного действия, а также на достаточном объеме экспериментальных исследований;

установлено, что результаты теоретических исследований согласуются с экспериментальными данными, полученными в лабораторных условиях;

использованы современные методики сбора и обработки информации, а также известные методы моделирования процесса смешивания сыпучих сред;

использованы общепринятые для технических наук теоретические (идеализация, формализация), экспериментальные (наблюдение, эксперимент, сравнение) и специальные (математическое и физическое моделирование) методы исследований.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследования (под руководством научного руководителя), выполнении всего объема экспериментальной работы, проведении обработки результатов и их анализа. Автор принимал непосредственное участие в подготовке публикаций, разработке нового аппарата и способа его исследования, разработке математической модели процесса смешивания и компьютерных программ для её реализации.

В ходе защиты диссертации принципиальных критических замечаний высказано не было.

Соискатель Смирнов П.М. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию значимости проведенных исследований и полученных результатов.

Диссертация Смирнова Павла Михайловича соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями) и паспорту специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий, а именно областям исследований: пункту 3 «Способы, приемы, методология исследования, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах»; пункту 6 «Способы, приемы, методология исследования механических процессов, совершенствование их аппаратного оформления».

**На заседании 31 марта 2026 года диссертационный совет принял решение** за новые научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию аппаратно-технологического оформления процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно-винтовом ступенчатом смесителе и разработку нового устройства для смешивания сыпучих материалов, позволяющего повысить интенсивность исследуемого процесса и имеющих существенное значение для развития химической и смежных отраслей промышленности, а также учитывая, что результаты исследований, сформулированные положения, выводы и рекомендации соответствуют направлениям исследований паспорта специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий: «Способы, приёмы, методология исследования, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах», «Способы, приемы, методология исследования механических процессов, совершенствование их аппаратного

оформления» и соответствуют требованиям, установленным п.п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в последней редакции),  
присудить Смирнову П.М. ученую степень кандидата технических наук.

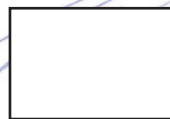
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **9** докторов наук по специальности и отрасли наук защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из **17** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель  
диссертационного совета



Капранова Анна Борисовна

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Гуданов Илья Сергеевич

31 марта 2026 г.

Подписи Капрановой А.Б. и Гуданова И.С. удостоверяю

Первый проректор ФГБОУ ВО «ЯГУ» Наумов Денис Владимирович

