

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу Мавлюдовой Яны Александровны
**«Совершенствование процесса гранулирования биотоплива на основе вторичных
древесных ресурсов и растительных отходов»**,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Актуальность темы диссертации

Диссертационное исследование Мавлюдовой Я.А. направлено на решение научно-технической задачи – разработку научно обоснованных подходов к гранулированию техногенных отходов в виде многокомпонентных полидисперсных смесей (МПС / МП-смесей).

В настоящее время в различных отраслях промышленности постоянно растет объем органических отходов с морфологией разного рода, в том числе древесных и растительных (лузги подсолнечника, пивной дробины и др.). Данные техногенные смеси характеризуются высокими теплофизическими характеристиками и различным гранулометрическим составом. Процессы гранулирования подобных МПС разработаны частично.

Проблема создания комплексной технологии получения топливных гранул из МПС-отходов является актуальной особенно в условиях неэффективности существующих методов гранулирования в роторных грануляторах с кольцевой матрицей. Кроме того, известные технологии не учитывают реологические, структурно-деформационные и прочностные характеристики топливного сырья, а данные по теплофизическим свойствам готовых топливных гранул отсутствуют.

Таким образом, в свете требований техносферной безопасности решение задачи по совершенствованию процесса гранулирования биотоплива на основе вторичных древесных ресурсов и растительных отходов особенно относится к актуальным.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Целью работы является разработка процесса гранулирования в роторном грануляторе с плоской перфорированной матрицей топливных композиций на основе древесных, растительных и техногенных отходов с учётом их реологических и структурно-деформационных характеристик.

Для достижения поставленной цели были поставлены и выполнены **следующие задачи**.

Проведены исследования процесса гранулирования МП-смесей в области: 1) обобщения методов реализации данного процесса и расчета силовых характеристик в роторных грануляторах с плоской матрицей; 2) особенностей реологического поведения МП-отходов на стадиях подготовки и прессования, структурно-деформационных характеристик готовых гранул; 3) теплофизических характеристик твердотопливных композиций различных составов и процесса горения гранул; 4) получения топливных композиций в закрытой матрице, в единичном цилиндрикоконическом канале проходного прессования с нагревом и в опытно-промышленном роторном грануляторе с модернизированной плоской матрицей.

Разработаны: 1) математическое описание распределения давления по длине цилиндрикоконического канала с учетом коэффициента бокового давления и пластической прочности МП-смесей; 2) алгоритм расчета энергосиловых параметров роторного гранулятора с плоской матрицей при учете реологических характеристик МП-отходов.

На основании выполненных работ по изучению процесса гранулирования МП-смесей выполнены: 1) масштабирование технологии гранулирования отходов клубнеплодных культур на производственных мощностях ООО «ВИВА» (Костромская область) для промышленного выпуска топливных гранул, соответствующих установленным нормативам качества; 2) оценка экономической эффективности производства топливных гранул из многокомпонентных полидисперсных смесей в сравнении с традиционными однокомпонентными составами.

Достоверность и новизна полученных результатов исследований, выводов и рекомендаций основана на использовании современных физико-химических методов анализа в испытательных лабораториях, в воспроизводимости экспериментальных данных в пределах заданной точности измерений. Полученные выводы не противоречат научным представлениям о закономерностях теории деформированного состояния тел. В диссертационной работе использовался комплексный метод исследований, включающий элементы системного анализа, моделирования и применение электронно-вычислительной техники.

Обоснованность научных результатов исследования, степень достоверности полученных выводов и рекомендаций обеспечена корректным использованием существующих научных положений, значительным объёмом экспериментальных данных; определением на основе характеристик рабочих материалов с помощью аттестованных метрологических средств измерений; корректном использованием полученных зависимостей в области теории деформированного состояния тел.

Научная, практическая и экономическая значимость диссертационной работы

К научной новизне и наиболее существенным результатам работы можно отнести следующие научные знания:

- зависимости для распределения давления по длине цилиндрикоконического канала с учетом коэффициента бокового давления и пластической прочности МП-смесей;
- уравнения регрессии и номограммы для определения плотности и прочности прессовок из МП-смесей в зависимости от влажности и удельного давления прессования на базе методов многофакторного планирования эксперимента;
- графические зависимости изменения теплотворной способности и зольности от соотношения компонентов МПС и экспериментальное подтверждение применимости четырехстадийной схемы горения для сложных многокомпонентных биотоплив.

Теоретическая значимость заключается в установлении зависимости для распределения давления по длине цилиндрикоконического канала с учетом коэффициента бокового давления и пластической прочности МП-смесей, позволяющей прогнозировать их состояние в различных сечениях канала переменного профиля плоской матрицы.

Практическая значимость работы определяется:

- совершенствованием комплексной технологии гранулирования многокомпонентных полидисперсных смесей, отработанной на опытно-промышленном роторном грануляторе и переданной предприятию ООО «ВИВА» (Костромская область) для гранулирования отходов клубнеплодных культур при адаптации к требованиям котельного оборудования малой мощности для фермерских хозяйств, что подтверждено положительной оценкой Ассоциации «Союз органического земледелия»;

- новыми рецептурами топливных гранул с повышенной теплотворной способностью за счет введения высококалорийных компонентов (лузги, пивной дробины, березовых листьев, торфа, инициатора горения в виде пирокарбона) при

экспериментальном определении теплотворной способности топливных гранул из МП-смесей и подтверждении повышения их энергетических показателей;

- рекомендациями по совершенствованию конструкции роторных грануляторов, включающими применение фильер с каналами переменного сечения, методики определения реологических свойств сырья;

- внедрением результатов научно-практических исследований в учебный процесс Московского политехнического университета на кафедрах «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств им. профессора М.Б. Генералова» и «Процессы и аппараты химических технологий» и использованием в исследовательской практике ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», (см. Приложения).

Оценка содержания диссертации, её завершенности

Диссертация общим объемом 148 стр., имеет 15 таблиц, 44 рисунка и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы, включающего 125 источников отечественных и зарубежных авторов, и шести приложений. Работа демонстрирует полноту экспериментальных данных и достоверность полученных результатов. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

Во введении соискателем определены объект и предмет исследования, сформулированы цель, соответствующие ей задачи и основные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе выполнен анализ состояния технологии получения топливных гранул на основе вторичных древесных и растительных отходов, а также методов расчета процессов формования/прессования на гранулирующем оборудовании. Проведено обоснование выбора компонентов топливных гранул по их углеродосодержащему составу и горючим свойствам. Выделены ключевые управляющие факторы данных процессов на примере аппаратурного оформления в форме роторных грануляторов с кольцевой и плоской матрицей. Проанализирован значительный экспериментальный материал по гранулированию древесных отходов, выявлено отсутствие системных данных для смесей разного состава. Однако касательно оборудования/методов получения гранул (гл. 1, п. 1.4) и технологий производства гранулированного биотоплива методами прессования (гл. 1, п. 1.3) основу литературных источников составляют учебные пособия 1991 г. [40. *Классен П.В. Гранулирование: учеб. пособие / П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. – М.: Химия, 1991. – 240 с.*] и 2016 г. [15. *Болдырев В. С. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие / В.С. Болдырев. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова, 2016. – 313 с.*]. Для полноты анализа современного состояния проблемы топливных гранул целесообразно было бы добавить ссылки на соответствующие запатентованные технологии/ конструкции аппаратов-грануляторов последних лет помимо источников авторства научного руководителя, например, [49, 50].

В тексте диссертации (гл. 1, п. 1.6) выделяются основные стадии получения брикетов/гранул при осуществлении процесса прессования сырья, включая смешение фаз, уплотнение дисперсных составляющих, деаэрацию смеси, дальнейшие упругопластические деформации твердого скелета и газовытеснение. Кроме этого, разделяются механизмы прессования и их теории (капиллярная, гуминово кислотная, коллоидная, молекулярная и др.). Соискатель отмечает отсутствие учета коэффициентов бокового давления и пластической прочности в известных математических описаниях силовых характеристик в канале переменного сечения плоской матрицы, однако данные обобщения приведены на базе источников до 2012 г. Особый интерес в вопросе исследования механизма прессования

МПС-отходов может быть проявлен в отношении анализа моделей свойств древесных/растительных композитов методом параметрической идентификации, например, источник 2022 г. [Prosvirnikov, D.B. (2022). *Modeling of the Properties of Wood Composite Materials by Parametric Identification*. In: Radionov, A.A., Gasiyarov, V.R. (eds) *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021)*. ICIE 2021. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_35].

Вторая глава посвящена описанию материально-технической базы испытаний образцов МПС-отходов в зависимости от этапов прессования при определении: пластической прочности смеси (конический пенетромтр S166 KIT, измерения по ГОСТ 30416-2020); её сыпучести (стандартный дозатор с регулируемым зазором, измерения по ГОСТ 25139-93); коэффициента бокового давления в очаге деформации (компрессионная установка с тензометрическими датчиками и нагревательным устройством); теплофизических характеристик гранул, в частности, теплотворной способности (или теплоты сгорания единицы массы), при проходном прессовании с нагревом (калориметр АБК-1В, измерения по ГОСТ 143-2013).

Отметим, что, на наш взгляд, соискатель в п. 2.3 (стр. 52, 53 текста диссертации; стр. 19 текста автореферата) вводит неоднозначный термин «*термонагрев*» (при описании проходного прессования в компрессионной установке) и в дальнейшем активно его использует в п. 4.2 (стр. 78, 80), выводах по главе 4 (стр. 108), заключении (стр.120). Примером применения термина «*нагрев*» для образцов типа «*термо-упругие среды*» может служить работа, опубликованная в журнале «Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова» Уфимского научного центра РАН [Ильясов У.Р. *Особенности нагрева термоупругих сред / У. Р. Ильясов «Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова»*. – 2016. – Т. 11. – № 12. – С. 226-232. DOI: 10.21662/uim20 16.2. 033]. Касательно структуры текста диссертации, представляется целесообразным исключить из основной части работы главу 2 с переносом в Приложения, т.к. данные описания методик опытных испытаний являются стандартными, соответствуют указанным выше ГОСТ и имеют в основном реферативный характер. Дополнительным аргументом в пользу данного предложения служит суммарный объем введения, глав 1 и 2 (55 страниц), который сравним с объемом глав 3-5 (61 страница).

Третья глава представляет результаты теоретико-экспериментального исследования процесса гранулирования МПС в роторном грануляторе с плоской матрицей с математическим описанием процессов, протекающих в каналах переменного сечения. Соискатель кратко анализирует особенности напряжённо-деформационного состояния материала при его прессовании в канале плоской матрицы заданного профиля с чередованием цилиндрических и конических частей. При этом выбор данного профиля объясняется результатами проведенных экспериментальных исследований, имеются соответствующие ссылки на публикации соискателя, в частности [49, 55]. В п. 3.1 текста диссертации приводятся зависимости (26) и (27) для контактного напряжения на поверхности вала от текущего угла поворота вала соответственно в зонах уплотнения и формования с учетом реологических свойств МПС-отходов со ссылками [17, 50] на авторство других исследователей. К сожалению, соискатель не поясняет какие именно преобразования коснулись исходных выражений для записи зависимостей (26) и (27) или выражений (1) и (2) из текста автореферата. Динамика изменения давления при перемещении МПС-смеси по каналу указанного переменного профиля плоской матрицы обсуждается в п. 3.2 в рамках допущений о разбиении расчётной области на конечные элементы с возможностью получения кусочно-аналитического решения для рабочего давления соответствующих уравнений, в том числе (34), (39), (40).

Заметим, что в следующей главе 4 (п. 4.3) с заявкой на системный подход приводится анализ результатов математического описания на примере ряда МПС-смесей № 1, 2, 5, 6, 9 (рис. 34, стр. 89 текста диссертации или рис. 12, стр. 15 текста автореферата) и отдельно смеси № 2 (рис. 35, стр. 90 или рис. 13, стр. 15 текста автореферата). Видимо, это

объясняется использованием в расчетах экспериментальных данных о реологических свойствах МПС-отходов (коэффициента бокового давления и пластической прочности), представленных в главе 4, п. 4.1-4.2. Кроме того, целесообразно было бы сразу в п. 3.2 сделать акцент на том, каким образом результаты, представленные в п. 3.2 и 4.3, интегрированы в последующие этапы исследования. В частности, данные из раздела 4.3, касающиеся анализа полученных зависимостей, возможно применяются при формировании гипотез с последующей проверкой или при построении алгоритма расчета энергосиловых параметров роторного гранулятора в главе 5.

Четвертая глава имеет название «*Результаты экспериментального определения реологических свойств гранулируемых МПС и деформационно-прочностных характеристик гранул*», однако не полностью отражает содержание включаемых пунктов 4.1-4.5. Здесь п. 4.3, как уже было отмечено выше, посвящен фактически теоретическому исследованию распределения давления по длине канала переменного сечения при гранулировании топливных композиций различного состава с анализом кусочно-аналитических решений для рабочего давления соответствующих уравнений, в том числе (34), (39), (40) из п. 3.2 главы 3. При этом использован язык программирования Python в среде разработки IDE PyCharm (рис. 34, стр. 89 и рис. 35, стр. 90 текста диссертации или рис. 12, 13, стр. 15 текста автореферата). Таким образом, построены эпюры распределения давления по длине цилиндрикоконического канала (рис. 34, стр. 89) и для МПС-смеси № 2 выполнена оценка влияния угла конусности (2α) на характер распределения давлений (рис. 35, стр. 90). В частности, установлено, что увеличение угла конусности приводит к более равномерному распределению давлений и снижению энергозатрат на трение.

Долевое содержание компонентов исследуемых МП-смесей № 1, 2, 5, 6, 9, включающих опилки, лузгу, пивную дробину, торф, пирокарбон, листья и связующее, приведено в табл. 2, стр. 74 с анализом уровня воспламеняющихся свойств (табл. 10, стр. 97). При этом вызывает вопросы содержание МП-смесей № 6г, 9г, указанных в табл. 8, стр. 93 текста диссертации.

Другие пункты главы 4 отражают результаты экспериментальных исследований по определению пластической прочности, сыпучести (п. 4.1) и теплофизических свойств топливных гранул с различной морфологией (п. 4.4); компрессионных испытаний процесса уплотнения МПС в канале переменного сечения и в закрытой матрице (п. 4.2); удельной энергоемкости и производительности гранулятора в зависимости от влажности МП-смесей и высоты зазора при прокатке вала (п. 4.5).

Приведем основные результаты выполненных испытаний.

На коническом пенетрометре S166 KIT (измерения по ГОСТ 30416-2020) получены зависимости изменения пластической прочности смесей от влажности, и выявлен их экстремальный характер. Максимальные значения достигаются при влажности (12–18) % (рис. 22, стр. 76 текста диссертации или рис. 4, стр. 12 текста автореферата), что определяет рациональные условия увлажнения сырья на этапе подготовки сырья и позволяет прогнозировать поведение материала при дозировании и уплотнении. Обоснование проектирования загрузочных устройств для подачи материала в зону гранулирования может быть выполнена на базе исследования влияния влажности и геометрических параметров (величины зазора) на сыпучесть МПС (рис. 23 и 24, стр. 78 текста диссертации или рис. 5 и 6, стр. 12 текста автореферата).

На установке, моделирующей проходное прессование с нагревом, получены зависимости предела прочности гранул от температуры нагрева матрицы (рис. 25, стр. 79 и рис. 26, стр. 80 текста диссертации). В частности, для смеси № 9 экспериментально установлен рациональный диапазон изменения конусности канала (2–3 градуса), обеспечивающий максимальную прочность при рабочих температурах.

Кроме того, для пяти видов МП-смесей № 1, 2, 5, 6, 9 получены опытные значения коэффициента бокового давления в пределах $\xi = (0,3 - 0,56)$ (рис. 27, рис. 81 текста

диссертации или рис. 10, стр. 14 текста автореферата). Заметим, что данные значения реологических характеристик (ξ) для композиций, содержащих пивную дробину, торф, лузгу подсолнечника и технический углерод получены впервые. Эти параметры использованы в расчете напряженно-деформированного состояния материала в каналах матрицы (п. 4.3). Предпосылкой обоснованного выбора значения давления прессования для достижения регламентной плотности гранул являются полученные компрессионные кривые для МП-смесей № 9, 10, 11, 12 в виде зависимостей плотности получаемых брикетов от удельного давления прессования (рис. 28, стр. 82 текста диссертации).

Методами многофакторного планирования эксперимента получены расчетные зависимости и номограммы (рис. 32, рис. 86 текста диссертации или рис. 9, стр. 15 текста автореферата), позволяющие определять плотность и прочность гранул в зависимости от давления прессования и влажности исходного сырья. Этот результат позволяет оперативно выбирать рецептуры смесей и режимы гранулирования.

Важной частью данной работы является исследование теплофизических характеристик полученных гранул (п. 4.4). Выявлена четырехстадийная схема процесса горения рабочей среды (прогрев, сушка, выгорание летучих веществ, выгорание углеродного остатка), которая аналогична процессу сжигания углей. Соискатель претендует на то, что установленный механизм впервые получен для сложных многокомпонентных биотоплив. Получены зависимости теплотворной способности и зольности от состава смеси (рис. 36, 37, стр. 94 текста диссертации или рис. 14, 15, стр. 16 текста автореферата). Установлено, что время до воспламенения гранул составляет от 40 до 87 секунд и зависит от их плотности и состава (рис. 38, стр. 96 текста диссертации или рис. 16, стр. 18 текста автореферата). Эти данные существенно дополняют имеющиеся сведения о термохимических характеристиках топлива из техногенных отходов.

Кроме того, в п. 4.5 проведен анализ конструкции опытно-промышленного роторного гранулятора с плоской матрицей, выявлены его особенности и определены направления для модернизации. В ходе испытаний получены зависимости производительности, потребляемой мощности и удельной энергоемкости процесса от влажности смеси и содержания целевого компонента – опилок (рис. 39 – 41, стр. 102-103 текста диссертации или рис. 17-20, стр. 19 текста автореферата).

В пятой главе приведён алгоритм расчета энергосиловых параметров роторного гранулятора, представленный в виде схемы (рис. 44, стр. 112), называемой соискателем блок-схемой, что вряд ли согласуется с ее классическим определением в отношении входных/выходных параметров, цепочки выполнения блоков и переходов от одного к другому в рамках инженерного расчета. Метод учитывает реологические характеристики сырья, геометрию каналов матрицы (включая переменное сечение) и толщину прокатываемого слоя. Это позволяет адаптировать режимы работы оборудования под конкретный вид отходов без проведения длительных экспериментальных исследований.

Технология передана и апробирована на производственных мощностях ООО «ВИВА» (Костромская область) для гранулирования отходов клубнеплодных культур, что подтверждает ее практическую реализуемость.

Экономическая оценка выполнена корректно и доказывает целесообразность предлагаемого подхода: сравнение себестоимости производства гранул из МПС (рентабельность 6 %) и из чистых опилок (нерентабельно) показывает снижение себестоимости на 21 % для многокомпонентного сырья. Данный факт открывает перспективы для вовлечения в топливный цикл отходов перерабатывающей промышленности.

Заключение содержит основные результаты диссертационной работы.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 15 печатных работах, которые включают 2 статьи в рецензируемых журналах из Перечня ВАК и 6 статей в журналах, индексируемых базами данных SCOPUS и GeoRef. Научные положения апробированы на 7 международных и всероссийских конференциях в период 2012-2025 гг.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта

Теоретическая значимость работы заключается в разработке математического описания распределения давления по длине цилиндрикоконического канала с учетом коэффициента бокового давления и пластической прочности МП-смесей, позволяющем прогнозировать их состояние в различных сечениях канала переменного профиля.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработке: усовершенствованной комплексной технологии гранулирования многокомпонентных полидисперсных смесей, отработанной на опытно-промышленном роторном грануляторе и переданной предприятию ООО «ВИВА» (Костромская область); новых рецептур топливных гранул с повышенной теплотворной способностью за счет введения высококалорийных компонентов; рекомендаций по совершенствованию конструкции роторных грануляторов, включающих применение фильер с каналами переменного сечения; методики определения реологических свойств сырья;

- внедрении результатов научно-практических исследований в учебный процесс Московского политехнического университета на кафедрах «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств им. профессора М.Б. Генералова» и «Процессы и аппараты химических технологий» и использовании в исследовательской практике ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», (см. Приложения).

Замечания по диссертационной работе

1. В работе подробно исследованы реологические свойства смесей, но не уделено должного внимания влиянию степени измельчения компонентов на процесс гранулирования (стр. 19 – 20 текста диссертации). Практический интерес связан с рекомендациями по рациональному фракционному составу исходных МПС-отходов (соотношение крупной и мелкой фракции) при подготовке к гранулированию.

2. На стр. 13 и 39 текста диссертации упоминается, что хранение в неблагоприятных условиях приводит к потере теплотворной способности, и приводится описание этапа стабилизации структуры гранул при охлаждении после прессования. Однако рекомендуемые условия хранения готовых топливных брикетов (влажность воздуха, температура, допустимые сроки) до их использования в работе отсутствуют.

3. В работе исследовано влияние температуры нагрева матрицы на прочность гранул (рис. 25, стр. 79 и рис. 26, стр. 80 текста диссертации) до 130°C. Однако для некоторых компонентов (пивная дробина, листья) возможно изменение структуры при более высоких температурах. Требуется обосновать выбор именно этого температурного диапазона и оценить поведение смесей при кратковременном перегреве, возможно реализуемом в реальных производственных условиях.

4. Соискателем исследована прочность гранул на раскалывание сразу после прессования (стр. 101 текста диссертации). Однако для биотоплива важна также сохраняемость свойств при длительном хранении, особенно в условиях повышенной влажности. Акцент на изучении изменения прочностных характеристик и водопоглощения гранул в процессе хранения обогатил бы содержание работы.

5. В работе получены зависимости производительности и удельной энергоемкости от влажности смесей (рис. 39-41, стр. 102-103 текста диссертации или рис. 17-20, стр. 19 текста

автореферата), однако диапазон исследованной влажности ограничен значениями (12 – 18) % (стр. 76, 82, 100 текста диссертации). Для практического использования важно понимать поведение процесса при выходе за границы этого диапазона, например, при переувлажнении сырья в дождливый сезон или при излишне высушенных отходах. Рекомендуется уточнить допустимые пределы колебаний влажности, при которых сохраняется стабильность работы гранулятора и качество готовой продукции.

6. Название главы 4 «*Результаты экспериментального определения реологических свойств гранулируемых МПС и деформационно-прочностных характеристик гранул*» не совсем корректно отражает ее содержание. Здесь п. 4.3 посвящен фактически теоретическому исследованию распределения давления по длине канала переменного сечения при гранулировании топливных композиций различного состава с анализом кусочно-аналитических решений для рабочего давления соответствующих уравнений, из п. 3.2 главы 3. Видимо, это объясняется использованием в расчетах экспериментальных данных о реологических свойствах МПС-отходов (коэффициента бокового давления и пластической прочности), представленных в главе 4, п. 4.1-4.2.

7. На наш взгляд, соискатель в п. 2.3 (стр. 52, 53 текста диссертации; стр. 19 текста автореферата) вводит неоднозначный термин «*термонагрев*» (при описании проходного прессования в компрессионной установке) и в дальнейшем активно его использует в п. 4.2 (стр. 78, 80), выводах по главе 4 (стр. 108), заключении (стр. 120).

8. При описании результатов опытных испытаний в тексте диссертации соискатель часто использует понятие «*оптимальность*»: «*оптимальное усилие сжатия*» (стр. 35, п. 1.5); «*оптимизация технологических режимов*» (стр. 36, п. 1.5); «*это ... оптимизирует гранулирование*» (стр. 60, выводы по гл. 2); «*оптимум прочности*» (стр. 76, п. 4.2); «*параметр оптимизации*» (стр. 86, п. 4.2); «*оптимальная прочность гранул*» (стр. 100, п. 4.5); «*смесь № 9 – как технически оптимальная по совокупности показателей прочности*» (стр. 104, п. 4.5). В тексте автореферата такие рассуждения отсутствуют. Однако по большей части под оптимальным значением параметра в диссертационной работе подразумевается рациональный диапазон его изменения. В том числе построение номограммы не относится к однозначному методу оценки оптимального значения того или иного параметра.

Квалификационная оценка диссертации

Соответствие паспорту специальности. По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертационная работа **Мавлюдовой Яны Александровны** на тему: «Совершенствование процесса гранулирования биотоплива на основе вторичных древесных ресурсов и растительных отходов» соответствует паспорту специальности 2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий в части следующих пунктов:

п. 6. *Способы, приемы, методология исследования механических процессов, совершенствование их аппаратурного оформления;*

п. 10. *Методы изучения, совершенствования и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод, в том числе разработка химико-технологических процессов переработки отходов.*

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Заключение. В целом, несмотря на указанные замечания, диссертационная работа **Мавлюдовой Яны Александровны** на тему: «Совершенствование процесса гранулирования биотоплива на основе вторичных древесных ресурсов и растительных отходов» имеет завершённый характер, решает важную научно-техническую задачу, а

результаты используются для развития процессов переработки многокомпонентных отходов в гранулированное биотопливо.

Диссертационная работа Мавлюдовой Яны Александровны, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а ее автор – Мавлюдова Яна Александровна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Официальный оппонент

Начальник Управления организации
научно-исследовательской и
интеллектуальной деятельности,
заведующий кафедрой
«Теоретическая и прикладная механика»,
доктор физико-математических наук,
профессор (специальность 05.17.08. Процессы
и аппараты химических технологий)

Капранова Анна Борисовна

«4» 05 2026

Согласна на включение персональных данных в документы, связанные с работой
диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Капранова Анна Борисовна

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Ярославский государственный технический университет»
150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88; корпус «А»
<http://www.ystu.ru>;
Телефон: +7 (4852) 44-67-04
E-mail: kapranovaab@ystu.ru

«Подпись доктора физико-математических наук, профессора Капрановой А.Б. заверяю»

И.о. ректора ФГБОУ ВО «Ярославский
государственный технический университет»,
кандидат экономических наук
доцент



Степанова Елена Олеговна

«4» 05 2026