

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу  
Шамгулова Романа Юрьевича

«Конструктивно-технологическое совершенствование барабанно-винтового агрегата для агломерирования технического углерода термолизной технологии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы

### ***Актуальность темы исследования***

Гранулирование полидисперсных материалов является широко распространенным технологическим процессом во многих отраслях промышленности при производстве различных материалов и изделий. Существует большое разнообразие аппаратов для гранулирования полидисперсных материалов, выбор и эффективность использования которых зависит от физико-механических характеристики агломерируемых материалов и технологических требований к процессу.

В диссертационной работе, выполненной соискателем ученой степени кандидата технических наук Шамгуловым Р.Ю. научно-технические разработки и проведенные исследования направлены на создание патентозащищенной конструкции барабанно-винтового агрегата (БВА), учитывающие специфические особенности технического углерода (ТУ) – продукта термолизной переработки органических техногенных отходов и вторичных ресурсов. В диссертационной работе приведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, моделирование постадийных процессов агломерирования технического углерода, что является одной из проблемных задач при создании отечественных ресурсосберегающих технологий переработки органических техногенных материалов (ТКО).

Основным объектом исследования является разработанный барабанно-винтовой агрегат для агломерирования ТУ низкотемпературной термолизной технологии. В связи с поставленными задачами автором были проведены комплексные исследования по расчету его конструктивно-технологических и

энергосиловых параметров. Стоит отметить, что опытно-промышленное освоение инновационной ресурсосберегающей технологии является актуальной задачей для современного индустриального производства и переработки техногенных материалов. Выполненные научно-технические разработки и исследования актуальны также для практической деятельности и решения существующих проблемных задач экологии.

**Научная новизна и практическая значимость работы** заключается в:

- разработке механо-реологической модели процесса агломерирования ТУ, определяющей постадийность гранулообразования материала и классификации полифракционного продукта.

- разработке методов расчета патентозащищенной конструкции барабанно-винтового агрегата БВА, а именно её кинематических, конструктивно-технологических, энергосиловых и теплотехнических параметров.

- определении условий образования микрогранулята в спиралевидном устройстве при его объемно-пространственном перемещении, а также влиянии рабочих органов (двухзаходных и однозаходных винтовых лопастей (ДВЛ и ОВЛ)) на процесс окончательного формирования гранулята и его классификации.

**Достоверность и новизна диссертационной работы**, выводов и рекомендаций базируется на использовании современных методов исследований, использовании специализированных средств измерения и воспроизводимости экспериментальных результатов в пределах заданной погрешности измерений. В диссертации использовался комплексный метод, включающий аттестованные методики исследований, математическое и физическое моделирование изучаемых процессов; адекватность полученных результатов теоретических исследований и экспериментальных данных, полученных в лабораториях и производственных условиях.

**Обоснованность научных результатов диссертационной работы.** Степень достоверности полученных выводов и рекомендаций подтверждается

соответствием цели и задач диссертационной работы, обоснованными использованием существующих научных положений, современным математическим аппаратом, необходимым объемом проведенных теоретических и экспериментальных исследований. Новизна научно-технических разработок подтверждается патентозащищенными конструкциями агрегатов (патент РФ №2744225, 2773396, Евразийский патент №043232, 043162), а также их внедрением в реальное производство.

**Теоретическая значимость** результатов диссертационной работы заключается в получении математических выражений, позволяющих определить более точные значения основных конструктивных и технологических параметров барабанно-винтового агрегата, также в выявлении закономерностей изменения значений параметров и режимов процесса агломерирования.

#### ***Практическая значимость работы диссертационной работы***

1. Разработана патентозащищенная конструкция барабанно-винтового агрегата, обеспечивающая получение агломерированного технического углерода термолизной технологии с процентным выходом товарных гранул 80-85%.
2. Получены Российские и Евразийские патенты на специальные агрегаты термолизной технологии и процессов агломерирования технического углерода.
3. Проведена опытно-промышленная апробация технологической линии для переработки органических техногенных отходов на ООО «ТК «Экотранс» и технологического модуля для агломерирования ТУ.
4. Разработана инженерная методика расчета конструктивно-технологических параметров барабанно-винтового агрегата, которая используется при подготовке специалистов по направлению: 23.05.01 Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях; бакалавров, 23.03.02 Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды; магистрантов, 23.04.02

Технологические комплексы для переработки природных и техногенных материалов.

### **Оценка содержания работы и ее завершенности**

По материалам диссертационной работы опубликовано 28 основных статей, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 6 в журналах, индексируемых базой данных Scopus. Получено 3 патента РФ на изобретения, 3 Евразийских патента на изобретения, 2 свидетельства ноу-хау.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 163 наименований и 15 приложений. Каждая глава заканчивается сформулированными выводами, которые соотносятся с задачами проводимых исследований.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, научная и практическая значимость, получена общая структура работы и изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проанализированы отечественные и зарубежные результаты научно-технических разработок и исследований в области совершенствования оборудования для гранулирования техногенных материалов. Определены недостатки существующих конструкций, а также перспективные направления развития оборудования для гранулирования полидисперсных материалов. Освещен вклад и обобщены результаты научных исследований известных ученых в области совершенствования процессов гранулирования полидисперсных материалов. Сформулирована цель научных исследований и поставлены задачи для её достижения.

**Во второй главе** представлена разработанная механо-реологическая модель постадийного процесса агломерирования полидисперсных материалов, учитывающая их физико-механические характеристики, включая специфические особенности технического углерода термолизной технологии. Получены и представлены аналитические выражения постадийных процессов агломерирования ТУ в БВА: уравнения деформационного воздействия

двухзаходных винтовых устройств на микрогранулят при его упрочнении, однозаходных винтовых устройств однонаправленного действия при агломерировании микрогранулята ТУ; классификации полифракционного гранулята однозаходными устройствами в режиме внутреннего рециклинга.

Представленные аналитические зависимости постадийного гранулообразования ТУ термолизной технологии отражают основополагающие закономерности исследуемого процесса с учетом специфических особенностей материала.

Получены аналитические выражения, определяющие основные конструктивно-технологические параметры рабочих органов барабанно-винтового агрегата, которые зависят от физико-механических характеристик агломерируемых материалов и режимов его работы.

В третьей главе приведено описание стендовой установки барабанно-винтового агрегата и используемого измерительного оборудования, применяемого при проведении лабораторных исследований. Также представлены результаты исследований физико-механических характеристик и физико-химических свойств технического углерода, получаемого из различных органических техногенных отходов. Для проведения регрессионного анализа изучаемых процессов описаны методики полного факторного эксперимента по ЦКОП-2<sup>3</sup> при исследовании функциональных зависимостей выходных показателей от варьируемых параметров, методы обработки результатов исследований.

В четвертой главе выбраны и обоснованы основные факторы, характеризующие процесс агломерирования в экспериментальной установке; проведено планирование физического эксперимента, в частности, описание функций отклика, изменяемых параметров и уровни их варьирования при исследовании процесса гранулообразования с получением товарных гранул. Экспериментально установлены рациональные значения варьируемых параметров; тип и процентное содержание связующего,  $C_{св} = (17 \div 19)\%$ ; коэффициент заполнения камер агрегата,  $\varphi_{зап} = (0,18 \div 0,2)$  и частота вращения

вала винтовых лопастей,  $n_{\text{овл}} = (30 \div 50)$  об/мин, а также угол поворота лопастей относительно продольной оси вала,  $\xi_{\text{овл}} = (19 \div 21)$  градус). Угол поворота однозаходных винтовых лопастей относительно друг друга вокруг продольной оси вала составлял  $\psi_{\text{овл}} = (110 \div 130)$  градус).

Установлены закономерности изменения прочности  $\sigma_{\text{сл}} = (220 \div 250)$  КПа и плотности слоя  $\rho_{\text{сл}} = (630 \div 670)$  кг/см<sup>2</sup> гранул, их процентного выхода  $Q_{\text{тг}} = 83\%$  и относительного сопротивления истиранию  $\varepsilon_{\text{ист}} = 60\%$ . Определены области рациональных значений этих параметров. По полученным адекватным уравнениям регрессии построены графические зависимости и проведен их анализ.

В пятой главе представлены результаты опытно-промышленных испытаний барабанно-винтового агрегата в составе технологической линии низкотемпературного термолиза по переработке органических техногенных отходов. Разработанный и изготовленный барабанно-винтовой агрегат имел следующие технические характеристики:  $L \times V \times H = 1,5 \times 1,0 \times 1,8$  м; диаметр внешнего барабана—0,67 м, среднего—0,49 м, центрального—0,25 м; частота вращения цилиндрического корпуса агрегата— $(10 \div 15)$  об/мин<sup>-1</sup>; вала винтовых устройств— $(30 \div 60)$  об/мин<sup>-1</sup>; установленная мощность—5,0 кВт; производительность— $(250 \div 300)$  кг/час. Установлены технологические параметры процесса, позволяющие получать технический углерод с заданными физико-механическими характеристиками и физико-химическими свойствами. Представлена инженерная методика расчета механо-теплотехнических параметров барабанно-винтового агрегата и технологический регламент получения агломерированного технического углерода. Исследованы его адсорбционные свойства. Определена технико-экономическая эффективность использования агломерированного ТУ в качестве адсорбента при очистке загрязненных органических жидких сред,  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 1380,5$  тыс.руб.

## **Основные замечания по диссертационной работе:**

1. В описании конструкции барабанно-винтового агрегата и технологических параметров его работы (стр. 161-164 диссертации) недостаточно конкретизирован вопрос – осуществлялась ли сушка полученных гранул непосредственно в составе агрегата либо с использованием внешней установки. Рекомендуется подробнее раскрыть этот аспект технологического процесса.

2. В диссертационной работе не полностью обоснована взаимосвязь между этапом термолизной переработки органических отходов и последующим процессом агломерирования технического углерода. Целесообразно более аргументированно пояснить каким образом интеграция этих технологических этапов повышает эффективность или конкурентоспособность предложенного решения.

3. В разделе с экспериментальными исследованиями (глава 3) отсутствуют указания на погрешности ряда примененных измерительных приборов, что может затруднить объективную оценку доверительных интервалов полученных результатов. Желательно добавить сведения о параметрах точности используемой аппаратуры.

4. В разделе, посвященном исследованию технологических параметров (глава 4), не раскрыта мотивация выбора критериев – процентного выхода товарных гранул и относительного сопротивления истиранию как ключевых выходных характеристик. Рекомендуется кратко обосновать их выбор с позиций требований к качеству конечного продукта.

5. Диссертантом проведен большой объем конструктивно-технологических разработок технических средств – стендовых установок. Однако не указано в каком режиме (периодическом или непрерывном) они использовались в экспериментах.

6. В диссертации не учтено влияние изменения физико-химических свойств исходного технического углерода из разных партий сырья на стабильность параметров агломерирования. Целесообразно было провести

серию испытаний с материалом различных характеристик и отразить результаты в разделе экспериментальных исследований.

7. В диссертации не представлен анализ потенциальных экологических рисков, связанных с утилизацией побочных продуктов термолизной агломерации. Не представлены данные по составу и токсичности выбросов газовой и пылевой фракций, а также по методам очистки и обезвреживания отходов, что ограничивает оценку экологической безопасности.

Представленные замечания и недостатки работы не снижают общей положительной оценки диссертации. Работа изложена грамотным научно-техническим языком на должном уровне, основные результаты диссертации в полной мере освещены в авторитетных научных изданиях.

#### **Квалификационная оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Шамгулова Романа Юрьевича, соответствует требованиям п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842) и паспорту специальности 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы: п. 1. Разработка научных и методологических основ, технических и технологических требований к проектированию и созданию новых машин, агрегатов и технологических процессов. П. 9. Разработка научных и методологических основ проектирования и практической реализации технологических процессов и способов получения и обработки материалов, обеспечивающих экологическую безопасность, экономию материальных и энергетических ресурсов, формирующих комплекс свойств, качество и расширяющих номенклатуру изготавливаемой продукции.

Диссертация Шамгулова Романа Юрьевича «Конструктивно-технологическое совершенствование барабанно-винтового агрегата для агломерирования технического углерода термолизной технологии» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения по

совершенствованию процесса и конструкции барабанно-винтового агрегата для агломерирования технического углерода термолизной технологии. Автор работы Шамгулов Роман Юрьевич заслуживает присвоение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы.

Официальный оппонент:  
доктор технических наук  
(2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей), доцент  
профессор кафедры «Дорожно-строительные материалы и химические технологии»

  
Игнатьев Алексей Александрович

Я, Алексей Александрович Игнатьев, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 16 » 10 2025 г.  
дата

  
А.А. Игнатьев

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись  
Игнатьева Алексея Александровича заверяю:

Ученый секретарь  
ученого совета Университета  Алексеева Марина Юрьевна

« 16 » 10 2025 г.  
дата



Сведения об организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64.

Телефон: +7 (499) 346-01-68 (доб. 1325)

E-mail: info@madi.ru

Сайт: https://madi.ru