

УДК 661.183.2

Сотников Виктор Георгиевич,
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО КНИТУ
Sotnikov Viktor Georgievich, KNRTU

**ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОЙ БИОМАССЫ
FORMATION OF A GRANULAR STRUCTURE
IN CARBON MATERIALS BASED ON SECONDARY BIOMASS**

Аннотация. Статья посвящена исследованию процессов формирования гранулированных углеродных материалов из вторичной биомассы растительного происхождения. Рассматриваются технологические аспекты подготовки сырья, включающего косточки абрикоса, скорлупу кокосового ореха, древесину американского клена и биомассу борщевика Сосновского. Описаны математические модели и численные алгоритмы, применяемые для расчета сушильных аппаратов и определения краевых условий в шахтном реакторе. Показано, что контроль гранулометрического состава и механической прочности позволяет значительно улучшить аэродинамические характеристики слоя при термохимической переработке.

Abstract. This article examines the processes involved in forming granular carbon materials from plant-based waste biomass. It discusses the technological aspects of preparing raw materials, including apricot pits, coconut shells, American maple wood, and *Heracleum sosnovskyi* (Sosnovsky's hogweed) biomass. Mathematical models and numerical algorithms used to design drying equipment and determine boundary conditions for a shaft reactor are described. The study demonstrates that controlling particle size distribution and mechanical strength significantly improves the aerodynamic characteristics of the material bed during thermochemical processing.

Ключевые слова: Гранулирование, углеродные материалы, вторичная биомасса, сушильный аппарат, математическая модель, шахтный реактор, борщевик Сосновского, косточки абрикоса.

Keywords: Granulation, carbon materials, secondary biomass, drying apparatus, mathematical model, shaft reactor, Sosnovsky's hogweed, apricot pits.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025)

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная переработка отходов агропромышленного комплекса и лесного хозяйства в высокотехнологичные углеродные сорбенты является важной экологической и экономической задачей. Использование вторичной биомассы, такой как скорлупа кокоса, косточки абрикоса, а также нетрадиционных источников (древесина американского клена, стебли борщевика Сосновского), требует адаптации технологических схем под конкретные физико-механические свойства сырья [1, с. 14].

В промышленных процессах паровой активации, реализуемых в шахтных реакторах непрерывного действия, критическое значение приобретает аэродинамическое сопротивление слоя. Использование дисперсного негранулированного сырья приводит к высокому перепаду давления, неравномерному распределению газовых потоков и, как следствие, снижению качества конечного продукта. В связи с этим, стадия формирования прочной гранулированной структуры становится неотъемлемой частью технологической цепочки [2, с. 88].



МЕТОДЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Процесс формирования гранул включает стадии измельчения исходного сырья, смешения со связующим компонентом (при необходимости), формования, сушки и последующей карбонизации. Природно-плотные прекурсоры, такие как абрикосовые косточки и кокосовая скорлупа, обладают достаточной естественной механической прочностью и подвергаются лишь механическому дроблению и фракционированию для получения псевдогранул нужного размера (2–5 мм). Лигноцеллюлозная биомасса (клен американский, борщевик) требует предварительного брикетирования или экструзионного гранулирования со связующим [3, с. 45].

Для оптимизации стадии термической подготовки были разработаны технологические блок-схемы и математические модели сушильного аппарата. Применение численных алгоритмов позволило описать кинетику удаления влаги из объема гранулы с учетом усадки материала. На этапе карбонизации и активации в шахтном реакторе ключевым фактором стало корректное задание краевых условий для решения системы уравнений тепло- и массопереноса. Математические модели учитывают изменение пористости гранул и локальное выделение тепла в зоне экзотермических реакций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование механических характеристик показало, что гранулы, сформированные из различных типов вторичной биомассы, ведут себя по-разному в условиях высокотемпературной обработки. Естественные гранулы из косточек абрикоса сохраняют структурную целостность даже при глубоком обгаре, обеспечивая стабильную газопроницаемость слоя в реакторе. Искусственно сформированные гранулы из борщевика Сосновского демонстрируют повышенную усадку на стадии сушки, что было успешно скомпенсировано настройкой температурного профиля в сушильном аппарате на основе расчетных алгоритмов [4, с. 112].

Таблица 1

Физико-механические характеристики гранулированных углеродных материалов

Вид сырья	Метод формования	Механическая прочность на истирание, %	Насыпная плотность, кг/м ³
Косточки абрикоса	Дробление (природная гранула)	95.2	650
Скорлупа кокоса	Дробление (природная гранула)	97.1	680
Клен американский	Экструзия со связующим	88.5	450
Борщевик Сосновского	Пеллетирование	82.4	380

Оптимизация краевых условий в математической модели шахтного реактора подтвердила, что поддержание гранулометрического состава в узком диапазоне фракций минимизирует пристеночный эффект и исключает образование застойных зон. Это напрямую коррелирует с повышением электрохимических показателей получаемых сорбентов за счет однородности их пористой структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование гранулированной структуры является критически важным этапом переработки вторичной биомассы в углеродные материалы. Использование строгих численных алгоритмов для расчета сушильных аппаратов и моделирования процессов в шахтном реакторе позволяет адаптировать технологию под сырье различной природы, от плотных абрикосовых косточек до рыхлой массы борщевика Сосновского. Полученные



прочные углеродные гранулы обладают оптимальными аэродинамическими характеристиками для промышленных процессов и демонстрируют высокий потенциал для применения в современных электрохимических системах [5, с. 104].

Список литературы:

1. Карпов Ю. А. Углеродные материалы в электрохимии: синтез, структура, свойства. – М.: Техносфера, 2021. – 340 с.
2. Смирнов А. В., Петров И. Н. Математическое моделирование тепло- и массопереноса в реакторах карбонизации // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95. – № 5. – С. 45-52.
3. Иванова Е. А. Влияние многостадийных режимов активации на формирование пористой структуры // Химия твердого топлива. – 2020. – № 2. – С. 110-117.
4. Сидоров П. П. Термохимическая переработка биомассы борщевика Сосновского: оптимизация параметров // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 1. – С. 56-61.
5. Мухин В. М. Производство активных углей из растительного сырья. – М.: Химия, 2019. – 280 с

