Оригинальная статья

УДК: 67.05: 66.040.287

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
420015, г. Казань, Россия
✉ e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

Original Paper

UDC 67.05: 66.040.287

Kazan National Research Technological University,
Kazan, 420015, Russian Federation
✉ e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

Безотходная технология получения гранулированного активированного угля из каменноугольной мелкодисперсной пыли и отходов органического происхождения*

Zero-waste technology to produce granular activated carbon from fine coal dust and organic waste

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-11-20-23

СОТНИКОВ В.Г.
Канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
420015, г. Казань, Россия,
e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

На сегодняшний день все более популярной становится переработка отходов агропромышленного комплекса и твердых бытовых отходов. Промышленностью разрабатываются перспективные аппараты для переработки отходов с последующим получением полезных продуктов для хозяйственной деятельности, одним из наиболее ценных продуктов является активированный уголь. В данной работе представлен способ получения гранулированного активированного угля из смеси каменноугольной пыли и органической муки, которая была получена из растительных отходов агропромышленного комплекса и твердых бытовых отходов, связующим веществом являлась смола, полученная при пиролизе органического сырья. Рассмотренный способ получения гранулированного активированного угля позволяет перерабатывать отходы органического происхождения, при этом за счет каменноугольной основы он имеет высокие значения прочностных и адсорбционных параметров, удовлетворяющие характеристикам стандартизированного активированного угля АГ-3.

Ключевые слова: *угольная пыль, органические отходы, термическая переработка, пиролиз, водопаровая активация, активированный уголь, пиролизная смола.*

Для цитирования: Сотников В.Г. Безотходная технология получения гранулированного активированного угля из каменноугольной мелкодисперсной пыли и отходов органического происхождения // Уголь. 2025;(11):20-23. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-20-23.

Abstract

Today, recycling of agricultural waste and municipal solid waste is becoming increasingly popular. The industry is developing promising devices for recycling waste with subsequent production of useful products for economic activity, one of the most valuable products is activated carbon. This paper presents a method for produc-

** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00043, https://rscf.ru/project/25-26-00043/.*

ing granulated activated carbon from a mixture of coal dust and organic flour, which was obtained from plant waste of the agricultural complex and municipal solid waste, the binder was resin obtained during the pyrolysis of organic raw materials. The considered method for producing granulated activated carbon allows recycling organic waste, while due to the coal base, it has high values of strength and adsorption parameters that satisfy the characteristics of standardized activated carbon AG-3.

Keywords

Coal dust, organic waste, thermal processing, pyrolysis, steam activation, activated carbon, pyrolysis resin.

Acknowledgements

The research was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 25-26-00043, https://rscf.ru/project/25-26-00043/.

For citation

Sotnikov V.G. Zero-waste technology to produce granular activated carbon from fine coal dust and organic waste. *Ugol'*. 2025;(11):20-23. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-20-23.

ВВЕДЕНИЕ

Активированный уголь – традиционный и эффективный адсорбент, применимый в промышленности для очистки газов и жидкостей от загрязнителей. Активированный уголь представляет собой органический материал с развитой структурой пор. Основным сырьем для получения активированного угля являются каменный уголь и плотные породы древесины [1, 2, 3, 4]. В последнее время в России также стало востребовано получение активированного угля из отходов растительного происхождения агропромышленного комплекса (АПК) [5, 6, 7].

Получение активированного угля протекает в две стадии [8]. На первой стадии исходное сырье подвергают сухой перегонке – пиролизу. На данной стадии доступ кислорода к сырью ограничен, а под воздействием высокой температуры происходит разложение сложных органических соединений на более простые летучие компоненты – пиролизные газы, которые отводятся из герметичной емкости и конденсируются. Жидкие компоненты выделяют ректификационным способом и затем очищают различными методами. Температура проведения процесса карбонизации находится в диапазоне 400-1000°С, скорость прогрева слоя сырья при этом должна быть незначительной, наиболее часто встречающийся режим в литературе – 5°С/мин [9]. Продолжительность процесса зависит от вида сырья, его фракционного состава и конструкции реторты, как правило, в крупных ретортах процесс карбонизации достигает 12 часов.

Вторая стадия получения активированного угля – активация предполагает раскрытие микропор в карбонизате, полученном после пиролиза. Существуют два основных метода активаци – физический и химический. Суть физической активации заключается в воздействии горячего газа или перегретого водяного пара на уголь, в результате чего происходит частичное разрушение структуры угля с образованием микропор. Химическая активации протекает чаще всего при воздействии на уголь химических веществ KOH – гидроксид калия и NaOH – гидроксид натрия [10,11].

Преимуществами химической активации перед физической являются более высокий удельный выход активированного угля, меньшая температура активации – 200-400°С против 600-900°С. Из преимуществ вытекают и недостатки химической активации, к которым относятся более сложная организация производства, дорогостоящая промывка активированного угля и дорогие активирующие агенты [12]. В целом способ химической активации подходит для крупных производств, в свою очередь способ физической активации может быть использован для создания малых установок получения углеродного адсорбента.

В данной работе представлен способ получения гранулированного активированного угля из угольной пыли, растительной муки и пиролизных смол. При этом данный способ частично решает свойственные недостатки физической активации.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Суть способа состоит в следующем: к угольной пыли, которая находится в перемешивающем устройстве-накопителе, подают отходы природных полимеров измельченные до фракции 0,1-0,5 мм и тяжелые смолы пиролиза с пластификатором гидроксидом калия, разогретые до температуры 80°С в соотношениях (6-10):(0-4):1 и перемешивают при прогреве до 80°С. Смесь подают в накопитель, затем прессуют при температуре 160°С в цилиндрические гранулы диаметром 5 мм и длиной 5-8 мм, гранулы имеют высокую плотность – 900-1500 кг/м^3 и статическую прочность – 1,1 МПа. Пиролиз гранул протекает при постоянном перемешивании сыпучего слоя для снижения скорости его прогрева до 4-10°С/мин. Конечная температура гранулы при термическом разложении достигает 680°С. Высокая плотность гранул позволяет сформировать прочную углеродистую гранулу из-за спекания лигнина, содержащегося в растительных полимерах. Содержание углерода в грануле после стадии карбонизации составляет 72-80% при удельном выходе угля 48-56%.

После пиролиза гранулированный уголь подают на стадию водопаровой активации. Температура реактора активации достигает 400°С, слой сырья постоянно перемешивают, водяной пар подают в реактор под высоким давлением, где он продувает слой гранулированного угля. Высокая плотность гранулы позволяет лучше переносить высокотемпературное физическое воздействие водяного пара. Степень обгара гранулы угля при физической активации составляет 30-37%.

На *рисунке* представлен вариант реализации способа получения активированного угля.

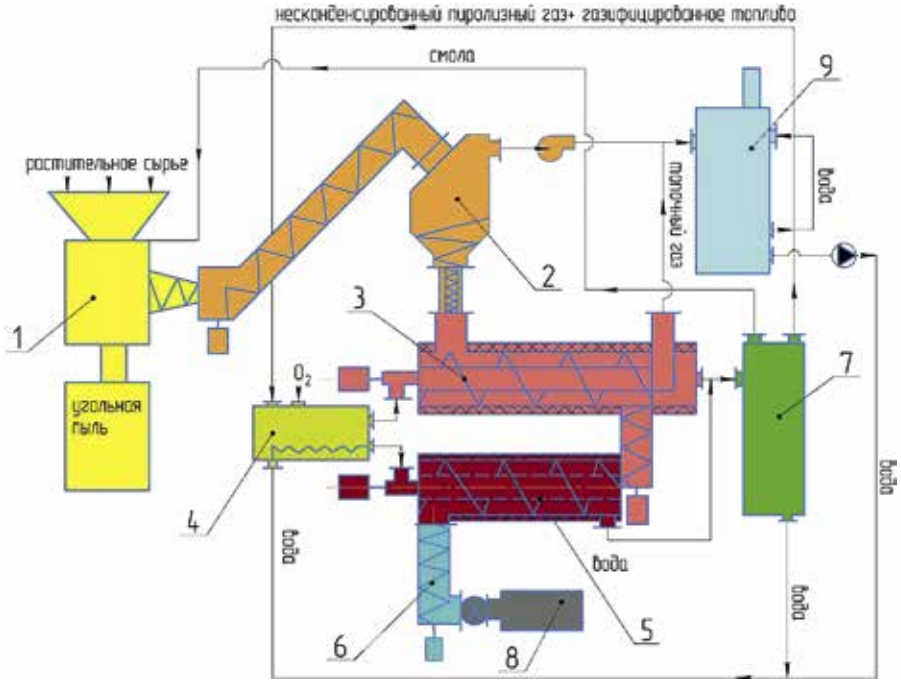
Данная установка позволяет экономить значительное количество энергии, требуемое для поддержания процесса термического разложения гранул. Горючие газы и жидкое биотопливо сжигают в устройстве теплообмена, при этом в данном устройстве также происходит перегрев водяного пара до температуры 400°С, который затем подают на активацию. Для снижения температуры активации концентрацию пара по отношению к массе активируемого угля регулируют в соотношении 1,2-1,4:1.

Пиролизные газы попадают в систему очистки жидких фракций.

Параметры лабораторных образцов активированного угля

Parameters of laboratory samples of activated carbon

Параметр АГ-3	Основа для активированного угля		
	Угольная пыль	Угольная пыль и отходы АПК	Угольная пыль и ТБО
Массовая доля влаги, не более 5%	4,0	4,0	4,0
Суммарный объем пор по воде, не менее 0,8 см^3/г	1,2	1,0	0,9
Динамическая активность по бензолу, не менее 40 мин	46	42	41
Прочность гранул на истирание, не менее 75%	89	76	70



Установка получения активированного угля:
1 – перемешивающее устройство;
2 – устройство прессования;
3 – реактор пиролиза;
4 – устройство теплообмена;
5 – реактор физической активации;
6 – система охлаждения;
7 – система очистки жидких фракций;
8 – накопитель активированного угля;
9 – система очистки отработанных газов

A unit for activated carbon production:
1 – mixing device;
2 – pressing device;
3 – pyrolysis reactor;
4 – heat exchange device;
5 – physical activation reactor;
6 – cooling system;
7 – treatment system for liquid fractions;
8 – activated carbon storage tank;
9 – waste gas cleaning system

Учитывая различные продукты, получаемые от растительного сырья и каменного угля, возможна многоступенчатая сепарация таких продуктов, как кислоты, бензол, нафталин и др., общее число соединений значительно и может достигать нескольких тысяч. Однако при малых производственных мощностях возможно добавление всей фракции смолы к массе прессуемого сырья. Кислая вода проходит стадию очистки и используется в качестве хладогента для системы охлаждения установки получения активированного угля. Охлаждение активированного угля может быть осуществлено через отстаивание с перемешиванием. Дополнительно в систему охлаждения может быть внедрена рубашка с циркулирующем хладогентом – водой.

По описанному выше способу были получены образцы гранулированного активированного угля. Учитывая крупный размер гранул, данные образцы следует использовать для очистки газов. Наиболее близким аналогом является уголь активированный АГ-3 ГОСТ 56357-2015. В *таблице* приведены сравнительные параметры лабораторных образцов активированного угля с гостовским аналогом.

В *таблице* представлены данные для трех видов лабораторных образцов, полученных по вышеописанному способу, при этом связующее вещество – пластифицированная пиролизная смола оставалась единым для всех образцов с соотношением 10:1, соотношение смеси сырья составляло 60% масс. угольной пыли к 40% масс. к отходам АПК и ТБО. Лабораторные образцы соответствуют адсорбционным показателям ГОСТ 56357-2015. Механические параметры образцов с содержанием отходов АПК и ТБО требуют дополнительных исследований при промышленной реализации способа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный способ позволяет перерабатывать неликвидное сырье, такое как отходы АПК и ТБО в ценный продукт – активированный уголь, при этом отходы при переработке сведены к минимуму благодаря использованию всех имеющихся продуктов термической переработки. Смешение измельченных отходов с угольной пылью позволяет получать качественный активированный уголь, соответствующий адсорбционным показателям ГОСТ 56357-2015.

Список литературы • References

1. Yusufu M.I., Ariahu C.C., Igbabul B.D. Production and characterization of activated carbon from selected local raw materials. *African journal of pure and applied chemistry*. 2012;6(9):123-131.
2. Сафин Р.Г., Сотников В.Г. Энергосберегающая установка переработки органических отходов в топливо и адсорбенты // Российский химический журнал. 2023. Т. 67. № 3. С. 17-24. DOI: 10.6060/rcj.2023673.3.

Safin R.G., Sotnikov V.G. Energy-saving plant for processing organic waste into fuels and adsorbents. *Rossijskij himicheskij zurnal.* 2023;67(3):17-24. (In Russ.). DOI: 10.6060/rcj.2023673.3.
3. Gayathiri M., Pulingam T., Lee K.T. et al. Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. *Chemosphere*. 2022;(294):133764.
4. Medhat A., El-Maghrabi H.H., Abdelghany A. et al. Efficiently activated carbons from corn cob for methylene blue adsorption. *Applied Surface Science Advances*. 2021;(3):100037.
5. Wang B., Lan J., Bo Ch. et al. Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon. *RSC advances*. 2023;13(7):4275-4302.
6. Prakash M.O., Raghavendra G., Ojha S. et al. Characterization of porous activated carbon prepared from arhar stalks by single step chemical activation method. *Materials Today: Proceedings*. 2021;(39):1476-1481.
7. Sonmez Baghirzade B., Zhang Y., Reuther J.F. et al. Thermal regeneration of spent granular activated carbon presents an opportunity to break the forever PFAS cycle. *Environmental science & technology.* 2021;55(9):5608-5619.
8. Dujearic-Stephane K., Gupta M., Kumar A. et al. The effect of modifications of activated carbon materials on the capacitive performance: surface, microstructure, and wettability. *Journal of Composites Science.* 2021;5(3):66.
9. Hu B., Wang K., Wu L. et al. Engineering carbon materials from the hydrothermal carbonization process of biomass. *Advanced materials*. 2010;22(7):813-828.
10. Sevilla M., Díez N., Fuertes A.B. More sustainable chemical activation strategies for the production of porous carbons. *ChemSusChem*. 2021;14(1):94-117.
11. Maciá-Agulló J.A., Moore B.C., Cazorla-Amoros D. et al. Activation of coal tar pitch carbon fibres: Physical activation vs. chemical activation. *Carbon*. 2004;42(7):1367-1370.
12. Zuo L., Ai J., Fu H. et al. Enhanced removal of sulfonamide antibiotics by KOH-activated anthracite coal: batch and fixed-bed studies. *Environmental Pollution*. 2016;(211):425-434.

Authors Information
Sotnikov V.G. – PhD (Engineering), Associate Professor,
Kazan National Research Technological University,
Kazan, 420015, Russian Federation,
e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

Информация о статье
Поступила в редакцию: 26.05.2025
Поступила после рецензирования: 18.10.2025
Принята к публикации: 30.10.2025

Paper info
Received May 26, 2025
Reviewed October 18, 2025
Accepted October 30, 2025

Природоохранные проекты Распадской угольной компании получили высшие награды Всероссийского экофорума

Гран-при и две золотые медали завоевала Распадская угольная компания (РУК) на VIII Всероссийском индустриальном экологическом форуме.

Гран-при форума получила система автоматического контроля сбросов, установленная на шахте «Алардинская». Она используется для непрерывного измерения и учета показателей промышленных сбросов в водный объект. На основании этой информации предприятие контролирует эффективность технологии, используемой на очистных сооружениях. После регистрации системы в Росприроднадзоре данные будут фиксироваться и передаваться в государственный реестр.

Золотой медалью эксперты отметили инновационный программный комплекс «Дашборд: экологические показатели». Он отражает такие данные, как парниковые газы, выбросы в атмосферу, водные ресурсы, рекультивация и обращение с отходами – всего более 7 000 параметров ежегодно. Цифровая система помогает отслеживать динамику экологических показателей по кварталам и годам и принимать оперативные и управленческие решения.

Также золотой медали удостоен комплекс инновационного моделирования высокоэффективного процесса пылеподавления на технологических дорогах угольных предприятий РУК. Применение реагентов позволяет сократить выброс пыли в атмосферу на 98%, срок полезного действия связующих веществ составляет до 14 дней. Представленный на выставке 3D-макет в дальнейшем планируется использовать в профориентационных мероприятиях для студентов и школьников.

Кроме того, благодарственные письма за организацию и проведение экологических мероприятий на территории Новокузнецка получили отдельные предприятия Распадской угольной компании – Кузнецкпогрузтранс, ЮжКузбассГРУ, ЦОФ «Абашевская» и «Кузнецкая».

Пресс-служба Распадской угольной компании