

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 662.749.33

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-59-64

БРИКЕТИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНОГО ОСТАТКА ПИРОЛИЗА АВТОШИН С КАМЕННОУГОЛЬНЫМ ПЕКОМ**Папин Андрей Владимирович, Неведров Александр Викторович,
Макаревич Евгения Анатольевна, Боброва Ирина Витальевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: pav.httt@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

17 июня 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2025 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2025 г.

Опубликована:

22 декабря 2025 г.

Ключевые слова:

углеродный остаток пиролиза автошин, каменноугольная смола, каменноугольный пек, брикетирование, связующее, брикет

Аннотация.

В статье представлены данные по исследованию возможности брикетирования углеродного остатка пиролиза автошин с использованием в качестве связующего каменноугольного пека, полученного перегонкой каменноугольной смолы в технологии производства мезофазного пека. Благоприятное сочетание физико-химических свойств – коксообразующей способности и низкой вязкости в расплавленном состоянии – выгодно отличает каменноугольный пек от других видов связующих, благодаря ему получается широкий спектр товарной топливной продукции. Способ заключается в брикетировании углеродного остатка пиролиза автошин, включающий его смешивание со связующим и брикетирование смеси под давлением. В качестве измельченного углеродного остатка пиролиза автошин используют предварительно обогащенный методом масляной агломерации до зольности 5,8,0-6,5 мас.% и сернистости до 1,8 мас.% углеродный остаток с исходной зольностью 8,9-20,8 мас.%, также выхода летучих веществ (7,50–16,55%), содержания серы (3–5 %). также выхода летучих веществ (7,50–16,55%), содержания серы (3–5 %), с размерами частиц менее 1 мм, в качестве связующего используют каменноугольный пек в количестве 4,0-6,0% к массе исходного концентрата, причем пек перед введением в исходный концентрат разогревают до 60-80°C, а брикетирование смеси под давлением производят ступенчато, для чего сначала устанавливают нагрузку 5-6 атм, с выдержкой 3-5 мин и далее до 15 атм. с выдержкой при максимальной нагрузке 3-5 мин. Определены качественные характеристики полученных брикетов, проведен анализ данных, а также сделано соответствие показателей качества согласно с требованиями ГОСТ. Полученные брикеты обладают техническими характеристиками, которые предъявляют к брикетному топливу согласно ГОСТ 21289-2018 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности» и могут быть использованы в качестве топлива для сжигания в бытовых и промышленных топках, а также в быту.

Для цитирования: Папин А.В., Неведров А.В., Макаревич Е.А., Боброва И.В. Брикетирование углеродного остатка пиролиза автошин с каменноугольным пеком // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 6 (172). С. 59-64. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-59-64, EDN: BPRVEB

Брикетирование представляет собой процесс механической переработки мелких, сыпучих, тонкодисперсных материалов в кусковой

композит – брикеты (пилеты), имеющие определенные характеристики: форму, размеры и массу [1].

Известно множество способов брикетирования тех или иных материалов, чаще всего брикетированию подвергают коксовую и угольную мелочь и пыль, мелочи других материалов, которые могут использоваться как топливо (опилки, бумага и т. д.), а также отходы производства – шламы, кеки и т. п. [2].

Наиболее эффективными являются технологии получения брикетов с добавлением связующего вещества. В результате добавления связующего улучшаются прочностные, тепло-физические, технико-экономические характеристики брикета, но стоит помнить о необходимости детально изучить свойства связующего вещества, для того чтобы знать воздействия продуктов горения связующего, аппаратное обеспечение и экологичность в целом. В качестве связующего могут применяться как органические, так и неорганические связующие материалы. Наилучшим связующим материалом для топливных брикетов является применение органических связующих, зачастую повышающих их калорийность и другие энергетические показатели [3].

В данной работе исследовалась возможность приготовления топливных брикетов на основе углеродного остатка пиролиза автошин [4], в качестве связующего использовался каменноугольный пек, образующийся как побочный продукт при получении мезофазного каменноугольного пека из каменноугольной смолы коксования каменных углей.

В качестве объекта прессования был взят продукт пиролиза автошин компании ООО «КЭК+» (г. Калтан, Кемеровская область, Россия). Проведен технический и элементный анализы углеродного остатка. В результате технического анализа выяснено, что углеродный остаток имеет высокие значения зольности в широком диапазоне (8,9–20,8%), а также выхода летучих веществ (7,50–16,55%), содержания серы (3–5 %). Это объясняется неоднородным по качественным характеристикам и составу исходным сырьем – автошинами и проведением пиролиза при различных, неодинаковых условиях. Результаты элементного анализа показали, что твердый остаток пиролиза содержит около 80 мас. % C, 1,5 мас. % H.

Углеродный остаток предварительно обогащали методом масляной агломерации на установке для получения глубоко обогащенных

концентратов. Углеродный остаток тонко измельчался до крупности менее 1 мм. По количеству зольности углеродный остаток относится к средnezольным отходам, что препятствует его использованию в прямом сжигании, поэтому первоначальным этапом является его обогащение. К основным достоинствам метода масляной агломерации относят высокую селективность при разделении частиц менее 100 мкм, широкий диапазон зольности обогащаемого сырья, возможность вести процесс при плотности пульпы до 600 г/л, дополнительное обезвоживание концентрата вытеснением воды маслом при образовании углемазляных гранул.

Зольность полученных концентратов не превышала 6,5 мас.%, сернистость – 1,8 мас.%, что говорит о приемлемости полученных концентратов для энергетики; высокий выход продукта (до 84% мас.) и более низкая зольность и сернистость концентратов обусловлены полнотой разделения органической и минеральной частей углеродного остатка в процессе обогащения методом масляной агломерации. На выходе с установки получают концентрат со следующими характеристиками, представленными в Таблице 1.

Каменноугольный пек часто использовался как связующее для брикетирования тонкодисперсного топлива [5-8]. Пеки, используемые как связующее для электродной промышленности, полученные методом перегонки каменноугольной смолы, должны отвечать регламентирующим показателям. К показателям, регламентирующим качество каменноугольного пека для электродного производства, относятся температура размягчения, растворимость в толуоле и хинолине, зольность, выход летучих веществ, которые включены в ГОСТ 10200-2017 «Пек каменноугольный электродный. Технические условия». Каменноугольный пек, используемый как связующее для брикетирования, не имеет точные требуемые значения по качественным характеристикам. Таким образом, определение технологических показателей пека осуществляли в соответствии со следующими ГОСТами: ГОСТ 9950-2020 Пек каменноугольный. Методы определения температуры размягчения; ГОСТ 7847-2020 Пек каменноугольный. Метод определения массовой доли веществ,

Таблица 1. Качество концентрата обогащения углеродного остатка

Table 1. Quality of carbon residue enrichment concentrate

| Характеристика концентрата | | | | |
|--|--|---|--|---|
| A ^d , % мас. (зольность) | W ^a , % мас. (влажность) | V ^{daf} , % мас. (выход летучих веществ) | Q _s ^t , ккал/кг (теплота сгорания) | S ^d _t , % мас. (сернистость) |
| 5,8-6,5 | 8,0-9,5 | 12,5-15,8 | 6500-7000 | 0,5-1,8 |

нерастворимых в толуоле; ГОСТ 10200-2017 Пек каменноугольный электродный. Технические условия; ГОСТ 9951-73 Пек каменноугольный. Метод определения выхода летучих веществ; ГОСТ 7846-73 Пек каменноугольный. Метод определения зольности. Безусловно, количество исследовательских работ в области получения и исследования свойств каменноугольных пеков весьма значительно [9-12]. Однако все исследования опираются на показатели качества пека, определяемые по этим ГОСТ. Соответствующие этому показатели качества используемого каменноугольного пека представлены в Таблице 2.

Далее полученный концентрат и разогретый до 60-80 °С пек в количестве 4,0-6,0% к массе исходного концентрата смешивали в специальной пресс-форме для штемпельного брикетирования. Выбор в качестве связующего пека, выделяемого как побочный продукт при получении мезофазного пека, обусловлен

поиском решений по его применению в различных химических технологиях. Такой пек может быть легкодоступен вследствие возможности больших его производств в промышленности и невысокой стоимости на рынке. Расход связующего (пека) определяют потребностью для формирования прочного топливного брикета [13-15].

Полученную смесь прессовали в штемпельном прессе ступенчато: сначала устанавливали нагрузку 5-6 атм., с выдержкой 3-5 мин и далее до 15 атм. С выдержкой при максимальной нагрузке 3-5 мин. При ступенчатом прессовании достигается оптимальное взаимодействие компонентов в смеси, с образованием структуры топливного брикета.

На выходе получают топливные брикеты со следующими техническими характеристиками, представленными в Таблице 3.

Важнейшим параметром при производстве

Таблица 2. Качественные характеристики каменноугольного пека для брикетирования углеродного остатка, полученного из каменноугольной смолы

Table 2. Qualitative characteristics of coal pitch for briquetting carbon residue obtained from coal tar

| образец | Параметры процесса перегонки каменноугольной смолы (под вакуумом) | | | Качественные характеристики каменноугольного пека | | | | |
|---------------------|---|--------------------------|--------------------------|---|--|---|--------------------------------|--|
| | Максимальная температура перегонки, °С | Время выдержки пека, мин | Скорость нагрева, °С/мин | Температура размягчения, °С | Содержание веществ, нерастворимых в толуоле (α-фракция), % | Содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α ₁ -фракция), % | Зольность (A ^d), % | Выход летучих веществ (V ^{daf}), % |
| Каменноугольный пек | 400 | 0 | 5 | 55,8 | 22,8 | 6,2 | 0,16 | 66,8 |

Таблица 3. Качественные характеристики брикетов из концентрата углеродного остатка и пека

Table 3. Qualitative characteristics of briquettes from carbon residue concentrate and pitch

| Технические характеристики полученных брикетов | | | | | |
|--|--|--|-------------------------------------|--|--|
| Физические испытания | | | Топливные характеристики | | |
| сжатие, кг/см ² | истирание, % (содержание кусков размером >25 мм) | сбрасывание, % (содержание кусков размером >25 мм) | A ^d , % мас. (зольность) | Q _s ^t , ккал/кг (теплота сгорания) | S _t ^d , % мас. (сернистость) |
| 28-35 | 90-95 | 98-99 | 5,8-6,5 | 6800 | 1,0 |

топливных брикетов является показатель теплоты сгорания брикета. Используя в технологии получения топливных брикетов связующее, нужно учитывать тот факт, что оно может непосредственным образом повлиять на калорийность брикета. Теплоту сгорания брикетов определяли на калориметре фирмы ЛЕСО. Методика подготовки проб и определения показателей соответствовала ГОСТ 147-95.

Выводы:

Установлено, что полученные брикеты обладают требуемыми техническими характеристиками, которые предъявляются к брикетному топливу согласно ГОСТ 21289-2018 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности».

Обнаружено, что каменноугольный пек, получаемый в технологии производства мезофазного пека из каменноугольной смолы процесса коксования каменных углей, выделяемый как побочный продукт, является хорошим связующим для брикетирования топливных брикетов. Возможно применение данного пека как связующей добавки в шихту коксования с целью получения качественного металлургического кокса.

Установлено и подтверждено, что предложенный способ получения топливных брикетов позволяет снизить зольность и сернистость топливных брикетов. Кроме того, в предложенном способе для получения топливных брикетов используется углеродный остаток пиролиза автошин, являющийся отходом, утилизация которого позволит улучшить экологическую обстановку в регионах с большой численностью населения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елишевич А. Т. Технология брикетирования полезных ископаемых. М. : Недра, 1989. 106 с.
2. Носков В. А. Механизм формирования очага деформации при брикетировании мелкофракционных шихт в валковых прессах // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1998. № 2. С. 137–139.
3. Рыбкин И. Ю., Еремин А. Я., Литвин Е. М., Бабанин В. И. Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующим // Кокс и химия. 2000. № 10. С. 36–43.
4. Makarevich E., Papin A., Nevedrov A., Cherkasova T., Ignatova A. Coal Producer's Rubber Waste Processing Development // В сборнике: E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. 2017. С. 02005.
5. Mochida I., Korai Y., Ku C. [et al.] Chemistry of synthesis, structure, preparation and application of aromatic-derived mesophase pitch // Carbon. 2000. Vol. 2. Pp. 305–328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1
6. Hurt R.H., Chen Z.Y. Liquid crystals and carbon materials // Physics Today. 2000. Vol. 53(3). Pp. 39–44. DOI: 10.1063/1.883020.
7. Шешин Е. П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. Москва : Издательство МФТИ: Физматкнига, 2001. 287 с.
8. Thies M. C. Fractionation and characterization of carbonaceous pitch oligomers: understanding the building blocks for carbon materials. In: Naskar A. K., Hoffman W. P., editors. // Polymer Precursor-Derived Carbon. ACS Symposium Series. Washington, D.C. : American Chemical Society, 2014. Pp. 85–136. DOI: 10.1021/bk-2014-1173.
9. Андрейков Е. И. Сырье для углеродных материалов на базе продуктов коксохимии и термического растворения углей // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. № 24. С. 317–323.
10. Yuan G., Jin Z, Zuo X. Effect of carbonaceous precursors on the structure of mesophase pitches and their derived cokes // Energy & Fuels. 2018. Vol. 32(8). Pp. 8329–8339.
11. Wombles R., Baron J. Laboratory anode comparison of Chinese modified pitch and vacuum distilled pitch // Light metals. 2006. Vol. 3. Pp. 535–540.
12. Сидоров О. Ф. Современные представления о процессе термоокисления каменноугольных пеков. Механизм взаимодействия кислорода с углеводородами пека // Кокс и химия. 2002. № 9. С. 35–43.
13. Рубчевский В. Н., Чернышов Ю. А., Волох В. М. Разработка технологических приемов производства электродного пека без участия кислорода воздуха для увеличения его товарной ценности // Кокс и химия. 2009. № 4. С. 36–43.
14. Питюлин И. Н. Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов. Харьков : ИПЦ Контраст, 2004. 480 с.
15. Nevedrov A. V., Papin A. V., Cherkasova T. G. Characteristics of pitch produced by atmospheric distillation of coal tar // Ugol. 2023. S12. Pp. 98–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Папин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», с.т. 8-959-643-78-09, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Неведров Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой ХТТТ Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», с.т. 8-923-616-73-84, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Макаревич Евгения Анатольевна – кандидат технических наук, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Боброва Ирина Витальевна – уч. мастер кафедры Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Папин Андрей Владимирович – обзор соответствующей литературы, научный менеджмент, написание текста.

Неведров Александр Викторович – концептуализация исследования, сбор и анализ данных, написание текста.

Макаревич Евгения Анатольевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Боброва Ирина Витальевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

BRIQUETTING OF CARBON RESIDUE FROM PYROLYSIS OF COAL-FIRED TIRES

Andrey V. Papin, Alexander V. Nevedrov,
Evgenya A. Makarevich, Irina V. Bobrova

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: pav.httt@kuzstu.ru



Article info

Received:

17 June 2025

Accepted for publication:

15 November 2025

Accepted:

02 December 2025

Published:

22 December 2025

Keywords: carbon residue of tire pyrolysis, coal tar, coal pitch, briquetting, binder, briquette.

Abstract.

The article presents data on the study of the possibility of briquetting the carbon residue of tire pyrolysis using coal pitch obtained by distillation of coal tar in the production technology of mesophase pitch as a binder. The favorable combination of physico-chemical properties – coke-forming ability and low viscosity in the molten state distinguishes coal pitch from other types of binders, thanks to it a wide range of commercial fuel products is obtained. The method consists in briquetting the carbon residue, including mixing it with a binder, briquetting the mixture under pressure. The crushed carbon residue of tire pyrolysis is pre-enriched by oil agglomeration to an ash content of 5.8.0-6.5 wt.% and sulfur content up to 1.8 wt.% carbon residue with an initial ash content of 8.9-20.8 wt.%, as well as the yield of volatile substances (7.50–16.55%), sulfur content (3-5%). also, the yield of volatile substances (7.50–16.55%), the sulfur content (3-5%), with particle sizes less than 1 mm, coal pitch in an amount of 4.0-6.0% by weight of the initial concentrate is used as a binder, and the pitch is heated to 60-80 °C before being introduced into the initial concentrate, and the mixture is briquetted under pressure. They are produced stepwise, for which a load of 5-6 atm is first set, with an exposure time of 3-5 minutes and then up to 15 atm. with a maximum load exposure of 3-5 minutes. The qualitative characteristics of the obtained briquettes were determined, the data was analyzed, and the characteristics of the obtained briquettes corresponded to the required values of quality indicators in accordance with the requirements of State standard.

The obtained briquettes have the technical characteristics required for briquette fuel according to State standard 21289-2018 "Coal briquettes. Methods for determining mechanical strength" and can be used as fuel for combustion in domestic and industrial furnaces, as well as in everyday life.

For citation: Papin A.V., Nevedrov A.V., Makarevich E.A., Bobrova I.V. Briquetting of carbon residue from pyrolysis of coal-fired tires. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 6(172):59-64. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-59-64, EDN: BPRVEB

REFERENCES

1. Yelishevich A. T. Technology of briquetting of minerals. M.: Nedra; 1989. 106 p.
2. Noskov V. A. The mechanism of formation of the deformation focus during briquetting of fine-grained charges in roller presses. *Metallurgical and mining industry*. 1998; 2:137–139.
3. Rybkin I. Yu. Eremin A.Ya. Litvin E. M., Babanin V. I. Briquetting of fine-grained and finely dispersed materials with a binder. *Coke and Chemistry*. 2000; 10:36–43.
4. Makarevich E., Papin A., Nevedrov A., Cherkasova T., Ignatova A. Coal Producer's Rubber Waste Processing Development. In the collection: *E3S Web Conferences, the Second International Innovative Mining Symposium*. 2017. No. 02005.
5. Mochida I., Korai Yu., Ku K. [et al.] Synthesis chemistry, structure, preparation and application of mesophase resin of aromatic origin. *Carbon*. 2000; 2:305–328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1
6. Hurt R.H., Chen Z.Y. Liquid crystals and carbon materials. *Physics today*. 2000; 53(3):39–44. DOI: 10.1063/1.883020.
7. Sheshin E.P. Surface structure and autoemission properties of carbon materials. Moscow: MIPT Publishing House: Fizmatkniga; 2001. 287 p.
8. Tis M.S. Fractionation and characterization of carbonaceous pitch oligomers: understanding the main components of carbon materials. In collaboration with Nascar A.K., Hoffman U.P., editors. Carbon obtained from polymer precursors. The ACS Symposium Series. Washington, DC: American Chemical Society; 2014. Pp. 85–136. DOI: 10.1021/bk-2014-1173.
9. Andreikov E.I. Raw materials for carbon materials based on products of coke chemistry and thermal dissolution of coals. *Chemistry in the interests of sustainable development*. 2016; 24:317–323.
10. Yuan G., Jin Z., Zuo H. The effect of carbon-containing precursors on the structure of mesophase pitches and cokes obtained from them. *Energy and Fuel*. 2018; 32(8):8329–8339.
11. Wombles R., Baron J. Laboratory comparison of anodes of Chinese modified resin and vacuum distillation resin. *Light metals*. 2006; 3:535–540.
12. Sidorov O.F. Modern concepts of the process of thermal oxidation of coal pitches. The mechanism of oxygen interaction with pitch hydrocarbons. *Coke and Chemistry*. 2002; 9:35–43.
13. Rubchevsky V.N., Chernyshov Yu.A., Volokh V.M. Development of technological methods for the production of electrode pitch without the participation of oxygen in the air to increase its market value. *Coke and Chemistry*. 2009; 4:36–43.
14. Pityulin I.N. Scientific and technological foundations of the creation of carbonaceous carbonaceous materials for large-sized electrodes. Kharkiv: CPI Contrast; 2004. 480 p.
15. Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G. Characteristics of pitch obtained by atmospheric distillation of coal tar. *Coal*. 2023; S12:98–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Andrey V. Papin– C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels KuzSTU, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Alexander V. Nevedrov– C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels KuzSTU, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Evgenya A. Makarevich– C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels KuzSTU, e-mail: evgeniyamakarevich@mail.ru

Irina V. Bobrova– academic master of the Department of Chemical technology of solid fuels KuzSTU, e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Andrey V. Papin – review of relevant literature, scientific management, text writing.

Alexander V. Nevedrov – conceptualization of research, data collection and analysis, writing text.

Evgenya A. Makarevich – review of relevant literature, data collection and analysis.

Irina V. Bobrova – review of relevant literature, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

