

Научная статья

УДК 662.749.33

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-66-74

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕКОПОДОБНЫХ ПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ УГЛЕЙ МАРОК ГЖ

Черкасова Татьяна Григорьевна, Неведров Александр Викторович,
Папин Андрей Владимирович, Ермаков Константин Иванович,
Демидко Алексей Семенович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

23 августа 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 сентября 2023 г.

Принята к публикации:

20 сентября 2023 г.

Опубликована:

27 сентября 2023 г.

Ключевые слова:

уголь, термическое
растворение, пекоподобный
продукт, антраценовое масло,
углеродное волокно

Аннотация.

В статье рассматривается возможность получения пекоподобных продуктов из каменных углей методом термического растворения. Получение пекоподобных продуктов из каменных углей позволит снизить дефицит на российском и мировом рынках каменноугольного пека, который широко применяется в качестве сырья для электродного производства, производства углеродных волокон и др. Наиболее подходящим сырьем для получения пекоподобных продуктов методом термического растворения являются каменные угли марки ГЖ. Был проведен анализ запасов данных углей в Кузбассе, определены предприятия, добывающие угли марки ГЖ, исследованы качественные характеристики данных углей. Были проведены исследования по получению пекоподобных продуктов методом термического растворения углей марки ГЖ в органическом растворителе. В качестве растворителя каменных углей применялась антраценовая фракция каменноугольной смолы (антраценовое масло). Экспериментальные исследования по термическому растворению углей проводились при варьировании конечной температуры процесса от 370 до 390°C. Соотношение антраценового масла и каменного угля в реакционной смеси составляло 70/30 и 60/40. Для полученных лабораторных образцов пекоподобных продуктов были определены качественные характеристики. Проведен анализ полученных экспериментальных результатов, сделаны выводы о влиянии температуры и состава углемасляной пасты на качество получаемых пекоподобных продуктов терморастворения углей.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В., Ермаков К.И., Демидко А.С. Получение пекоподобных продуктов методом термического растворения углей марок ГЖ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 4 (158). С. 66-74. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-66-74, EDN: ISSLSR

На сегодняшний день основными видами сырья для производства углеродных волокон являются ПАН-волокна, вискозное волокно, пековое сырье [1-3].

Углеродные волокна, полученные из ПАН-волокна, имеют высокую прочность, обладают достаточно высокой упругостью [4,5]. Технология их получения имеет высокую степень отработанности и внедрена в России. Однако выход углеродных волокон из ПАН-волокна имеет средние значения (около 40%).

Углеродные волокна на основе вискозного волокна обладают низкой прочностью и упругостью, а также имеют низкий выход волокна из сырья (15–20%).

Углеродные волокна, полученные из пекового сырья, имеют наибольший выход волокна из сырья, обладают высокой прочностью и упругостью. В связи с этим, несмотря на низкую степень отработанности технологии и отсутствие их внедрений в России, производство углеродных волокон из пекового сырья является перспективным направлением [6,7].

Основным способом получения каменноугольного пека является переработка каменноугольной смолы, получаемой при высокотемпературном коксовании каменных углей. Однако количество вырабатываемой каменноугольной смолы на коксохимических производствах не позволяет удовлетворить все потребности в каменноугольном пеке на Российском и мировом рынке [8].

Покрыть дефицит пека возможно за счет получения пекоподобных продуктов альтернативными методами [9]. В результате анализа существующих технологий получения пекоподобных продуктов за основу был принят процесс термического растворения углей в органических растворителях. Выбор данной технологии связан прежде всего с простотой его технологического оформления, отсутствием необходимости использовать дорогостоящие катализаторы и водород, применение которого может представлять большую опасность при нарушении условий эксплуатации.

К тому же в Кузбассе находится большое количество углей, в результате переработки которых возможно получать каменноугольные пеки и пекоподобные продукты.

Наиболее подходящим сырьем для процесса термического растворения являются каменные угли марок Г, ГЖ, Ж [10-12]. Максимальную конверсию в пекоподобные продукты показывают угли марки ГЖ.

В качестве растворителя органической массы углей наиболее эффективным является антраценовое масло [13-17]. Процесс термического растворения каменных углей осуществляется при температурах 350–400 °С [18-20].

Безусловное лидерство по объемам добычи угля в России принадлежит Кемеровской области – здесь добывают свыше 50% всего отечественного угля и 72% углей коксующихся марок. На Рис. 1 представлена динамика изменения по годам суммарного объема добычи угля в Кузбассе [21].

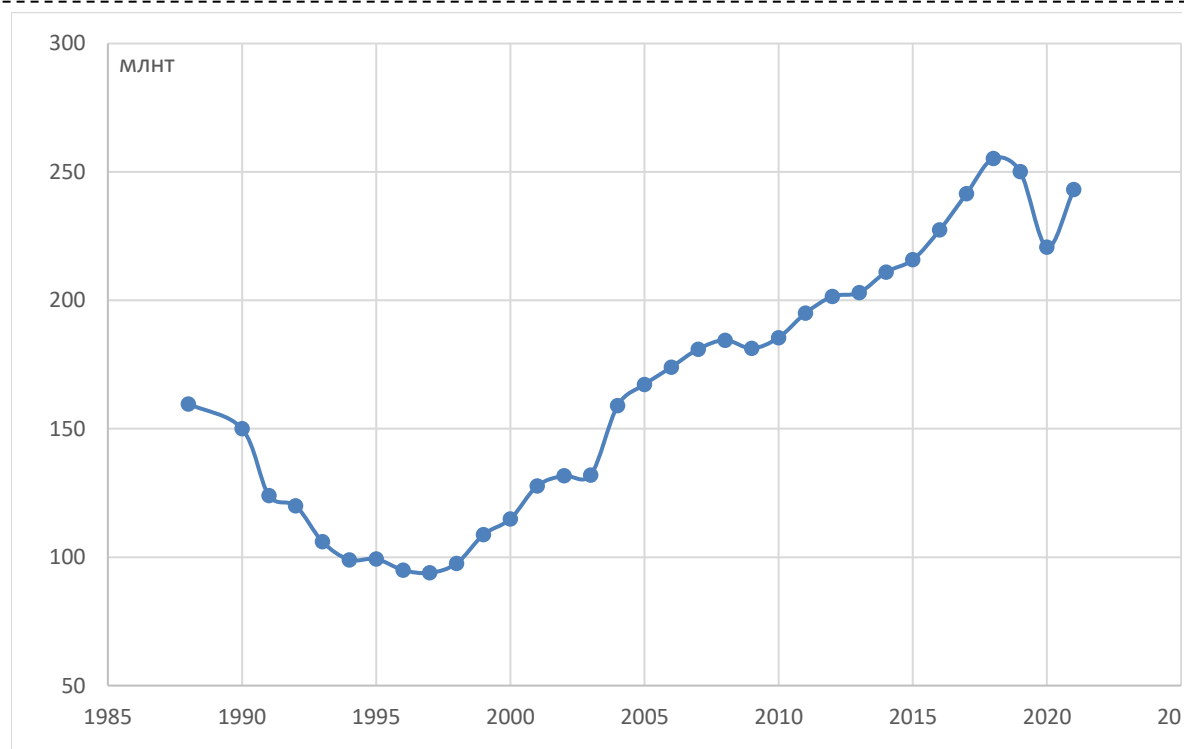


Рис. 1. Добыча угля в Кузбассе, млн т
Fig. 1. Coal mining in Kuzbass, million tons

Всего в Кузбассе по итогам 2021 года добыто 243,1 млн т, в том числе 156 млн т – открытым способом и 87,1 млн т – закрытым [22, 23]. Углей энергетических марок добыто 171,4 млн т, и 71,7 млн т – коксующихся углей. Следует отметить, что в Кузнецком бассейне ведется добыча всех марок каменных углей, а также бурые угли и антрациты.

С целью определения сырьевой базы для получения пекоподобных продуктов методом термического растворения углей был проведен анализ имеющихся в Кемеровской области – Кузбассе предприятий, осуществляющих добычу каменных углей марки ГЖ.

Всего в Кемеровской области работает 12 разрезов и шахт, добывающих угли марки ГЖ [24, 25]. Сводные данные по объемам запасов и добычи предприятиями Кемеровской области представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Балансовые запасы и объем добычи углей марки ГЖ предприятиями Кемеровской области
Table 1. Balance reserves and production volume of GZH brand coal by enterprises of the Kemerovo region

№ п/п	Добывающая компания	Предприятие	Объем добычи или переработки предприятия, млн тонн	Марка угля	Балансовые запасы, млн тонн
1	ОАО «Кузбассразрезуголь»	р. Талдинский	12,8	ГЖ, Г	598
2	АО «СУЭК-Кузбасс»	ш. им. Кирова	5,7	Г, ГЖ	170
3	АО «ОУК «Южкузбассуголь» (ООО «ЕвразХолдинг»)	ш. Усковская	2,6	ГЖ	163
		ш. Есаульская	1,3	Ж, ГЖ	118
		ш. Ерунаковская-8	3,0	Ж, ГЖ	49
4	АО «ш. Полосухинская»	ш. Полосухинская	3,0	Ж, ГЖ	103
5	АО «ш. Антоновская»	ш. Антоновская	0,9	ГЖ	29
6	АО «ш. Большевик»	ш. Большевик	1,6	ГЖ	33
7	ООО «Ресурс»	р. Ольжерасский	0,5	ГЖ	14
8	ПАО «Распадская» (ООО «ЕвразХолдинг»)	ш. Распадская	5,7	Ж, ГЖ	511
		р. Распадский	4,4	ГЖ	101
9	АО «УК Сибирская»	ш. Увальная	2,5	Г, ГЖ, Ж	217

Была проведена работа по отбору проб углей марки ГЖ с данных угледобывающих предприятий с целью исследования их комплексом физико-химических методов для определения их качественных характеристик и, соответственно, установления практической возможности их применения как сырья для получения пекоподобных продуктов. Были определены следующие показатели качества углей:

– содержание общей влаги углей по ГОСТ Р 52911-2013 и аналитической влаги по ГОСТ Р 52917-2013;

– определение зольности углей A^d по ГОСТ Р 55661-2013;

– определение выхода летучих веществ углей V^{daf} по ГОСТ Р 55660-2013;

– определение величины пластического слоя y и пластометрической усадки x каменных углей по ГОСТ 1186-87 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей»;

– определение индекса вспучивания углей $I_{вс}$ по ГОСТ 20330-91 (ИСО 501-81) «Уголь. Метод определения показателя вспучивания в тигле»;

– определение отражательной способности витринита R_0 и других петрографических показателей углей (Vt и ΣOK) по ГОСТ Р 55659-2013 (ИСО 7404-5:2009) «Методы петрографического анализа углей».

В Таблице 2 представлены полученные результаты исследований образцов углей комплексом физико-химических методов.

Основными критериями при выборе углей для получения пекоподобных продуктов, используемых в качестве сырья для электродного производства и получения углеродных волокон, являются низкая зольность (чем ниже, тем лучше), отражательная способность витринита до 1% и максимально возможная толщина пластического слоя углей. Исходя из этих

критериев, для дальнейших исследований процесса термического растворения углей в органических растворителях был выбран уголь марки ГЖ с ш. Распадской.

В качестве органического растворителя для термического растворения углей наиболее эффективным является антраценовое масло, содержащее активные компоненты-соразтворители. Его действие связано с присутствием доноров водорода (аценафтена, дигидроантрацена, флуорена, карбазола), переносчиков водорода (фенантрена, флуорантена), а также соединений с сольватирующими свойствами (хинолина, индола, фенола).

Таблица 2. Результаты исследований образцов углей марки ГЖ

Table 2. Results of studies of samples of GZH brand coals

№ п/п	Наименование пробы	W ^r	Теханализ		И _{вс} по ИГИ-ДМет и/ FSI	Пласто-метрия		Петрография		
			A ^d	V ^{daf}		x	y	R ₀	V _t	ΣОК
			%	%	%	мм	мм	мм	%	%
1	ш. «Полосухинская»	6,9	8,0	38,7	133	36	21	0,844	91	7
2	ш. «Есаульская»	7,1	7,5	38,7	131	47	20	0,840	90	6
3	АО «Шахта «Антоновская»	7,0	7,5	38,6	7,5	34	22	0,836	89	9
4	АО «ЦОФ «Абашевская»	8,0	7,2	38,4	8,0	40	12	0,836	90	6
5	Концентрат р-з «Талдинский Южный»	9,0	8,0	38,5	8,0	40	16	0,756	95	4
6	ш. «Распадская» пласт 7-7а	2,4	5,1	37,0	6,5	40	20	0,850	90	9
7	ш. «Увальная»	9,1	8,5	33,9	132	42	19	0,799	92	7

Таблица 3. Качественные характеристики антраценового масла ЕВРАЗ НТМК

Table 3. Qualitative characteristics of EVRAZ NTMK anthracene oil

Наименование показателя качества	Значение
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1130
Массовая доля воды, %	1,6
Массовая доля веществ, нерастворимых в толуоле, %	0,25
Содержание золы, %	0,02
Компонентный состав, %:	
Нафталин	9,09
β – нафталин	1,03
α – нафталин	0,52
Диметил-нафталин	1,47
Аценафтен	3,16
Дифеленоксид	2,67
Флуорен	3,24
Антрацен	15,43

Для исследований процесса терморазложения углей использовалось антраценовое масло с ЕВРАЗ НТМК. В Таблице 3 представлены качественные характеристики этого масла.

Качество полученного пекоподобного продукта оценивали по основным показателям, характеризующим свойства связующего пека, приведенным в ГОСТ 10200-2017: температура размягчения (Тразм.); зольность (A_d); выход летучих веществ (V_d); содержание веществ нерастворимых в толуоле (α-фракция); содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α₁-фракция).

Качественные показатели полученного пека представлены в Таблице 4.

Из представленных результатов выявлена следующая зависимость:

– с увеличением содержания массовой доли угольного концентрата в смеси с антраценовым маслом увеличивается температура размягчения пекоподобного продукта, повышается его твердость и прочность, снижается содержание летучих веществ, увеличивается содержание

веществ, нерастворимых в толуоле (α -фракция) и содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α_1 -фракция);

– температура процесса терморастворения углей также оказывает влияние на качество получаемых пекоподобных продуктов. Однако данное влияние не подчиняется однозначным закономерностям и требует более детального исследования с учетом влияния других факторов.

Таблица 4. Качество полученного пекоподобного продукта из угля марки ГЖ

Table 4. The quality of the obtained pie-like product from coal of the GZH brand

№ п/п	Наименование показателя	Конечная температура процесса, °С	Соотношение антраценовое масло / уголь	
			70 / 30	60 / 40
1	Выход продукта, %.	370	73,4	75,2
		390	71,5	75,9
2	Температура размягчения (Тразм.), °С	370	69	110
		390	63	126
3	Зольность (A_d), %	370	2,0	1,9
		390	1,4	3,8
4	Выход летучих веществ (V_d), %	370	71,3	57,0
		390	73,8	57,1
5	Содержание веществ, нерастворимых в толуоле (α -фракция), %	370	29,5	41,2
		390	27,6	58,3
6	Содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α_1 -фракция), %	370	5,8	6,8
		390	4,0	26,2

Выводы

Процесс термического растворения каменных углей в антраценовом масле позволяет увеличить объемы производимого пекового сырья, пользующегося большим спросом как на российском, так и на мировом рынках. Данный процесс представляет большой интерес для Кузбасса, поскольку здесь имеются большие запасы каменных углей марки ГЖ, которая является наиболее подходящей для термического растворения.

В зависимости от области применения пекового сырья к его качеству предъявляются разные требования. Полученные результаты исследований показали, что качеством пекоподобных продуктов можно управлять, варьируя основными факторами процесса терморастворения углей: соотношением антраценовое масло / уголь и температурным режимом процесса. Для получения продукта терморастворения с низкой температурой размягчения необходимо увеличивать долю антраценового масла в реакционной смеси, а для получения высокотемпературных пеков необходимо повышать содержание угля в реакционной смеси.

Получаемые методом термического растворения пекоподобные продукты могут без дополнительной очистки применяться в технологиях, не предъявляющих высоких требований к зольности (производство углеродистых огнеупоров и огнеупорных масс).

Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Machalaba N. N., Genis A. V. State and prospects of research and production activities of FGUP (Federal State Unitary Enterprise "VNII SV" (SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF SYNTHETIC FIBER) // Chemical fibers, 2011. No.1. P. 3–10.
2. Sviridov A. A., Varshavsky V. Y., Seleznev A. N. and etc. Structural and thermal characteristics of polyacrylonitrile fibres as raw material for production of carbon fibres // Chemical fibers, 2009. №.4. P. 14–16.
3. Perepelkin K. E. Carbon fibres with specific physical and physicochemical properties based on hydrated cellulose and polyacrylonitrile precursors // Chemical fibers. 2002. № 4. P. 32–40.
4. Казаков Л. К. Углеродные волокна. М. : Академия, 2011. 336 с.

5. Варшавский В. Я. Углеродные волокна. М. : Академия, 2005. 497 с.
6. Коротеева Л. И. Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. М. : ИНФРА-М, 2019. 288 с.
7. Губанов С. А., Букка А. А., Иващенко Е. Ю. Технологические особенности производства каменноугольного пека из низкопиролизированных каменноугольных смол и варианты совершенствования процесса // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 37–42.
8. Кузнецов П. Н. [и др.] Терморастворение углей ряда метаморфизма в среде антраценовой фракции смолы коксования // Кокс и химия. 2019. № 4. С. 27–35.
9. Кузнецов П. Н. [и др.] Получение альтернативных пеков из углей // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. № 24. С. 325–333.
10. Кузнецов П. Н. [и др.] Терморастворение углей ряда метаморфизма в среде антраценовой фракции смолы коксования // Кокс и химия. 2019. № 4. С. 27–35.
11. Кузнецов П. Н. [и др.] Термическое растворение угля ГЖ в среде различных пастообразователей // Химия твердого топлива, 2018. № 5. С. 20–26.
12. Кузнецов П. Н. [и др.] Терморастворение углей ряда метаморфизма в среде тетралина и антраценовой фракции смолы коксования // Химия твердого топлива. 2020. № 2. С. 3–11.
13. Ветошкина И. С. [и др.] Терморастворение углей сырьевой базы ПАО «Кокс» в среде антраценовой фракции каменноугольной смолы // Кокс и химия, 2019. № 2. С. 28–31.
14. Кузнецов П. Н. [и др.] Методы получения угольных пеков // Химия твердого топлива, 2015. № 4. С. 16–29.
15. Москалев И. В. [и др.] Синтетические пеки на основе антраценовой фракции каменноугольной смолы // Кокс и химия. 2014. № 11. С. 19–29.
16. Петров А. П., Абатуров А. Л., Москалев И. В. Термообработка антраценовой фракции под давлением // Кокс и химия. 2016. № 8. С. 24–37.
17. Jonathan P. The molecular representations of coal. A review // Fuel. 2012. Vol. 96. P. 1–14.
18. Базегский А. Е., Школлер М. Б., Казимиров С. А. О взаимодействии угольного концентрата ГЖ + Ж с добавкой антраценовой фракции // Кокс и химия. 2015. № 4. С. 2–6.
19. Shui, H. Zhou Y., Li H. // Fuel, 2013. Vol. 108. P. 385.
20. Wang, Z., Shui H., Pan C. // Fuel. Proc. Technol. 2014. Vol. 120. P. 8.
21. Кузнецкий угольный бассейн [Электронный ресурс].]. – 2021. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кузнецкий_угольный_бассейн
22. Основные показатели угольной отрасли Кузбасса за 2020 год [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli/>
23. Добыча угля в Кузбассе в 2021 г. увеличилась на 10% [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://neftegaz.ru/news/coal/721858-dobycha-uglya-v-kuzbasse-v-2021-g-uvlechilas-na-10/>
24. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (Добыча и обогащение угля). М. : Бюро НДТ, 2017. 301 с.
25. Список угольных предприятий России [Электронный ресурс]. 2021. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_угольных_предприятий_Российской_Федерации#Кемеровская_область

© 2023 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:

Черкасова Татьяна Григорьевна – доктор химических наук, профессор, директор Института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Неведров Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Папин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Ермаков Константин Иванович – студент Института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: ermakov02@inbox.ru

Демидко Алексей Семенович – студент Института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул.

Весенняя, 28), e-mail: aleksandrbender7@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Черкасова Татьяна Григорьевна – постановка исследовательской задачи, анализ данных, выводы, научный менеджмент.

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

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

Ермаков Константин Иванович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Демидко Алексей Семенович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

PRODUCTION OF BAKING-LIKE PRODUCTS BY THERMAL DISSOLUTION OF GJ GRADE COALS

Tatiana G. Cherkasova, Alexander V. Nevedrov,
Andrey V. Papin, Konstantin I. Ermakov,
Alexey S. Demidko

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: ctg.htnv@kuzstu.ru



Article info

Received:

23 August 2023

Accepted for publication:

15 September 2023

Accepted:

20 September 2023

Published:

27 September 2023

Keywords: coal, thermal dissolution, baking product, anthracene oil, carbon fiber

Abstract.

The article considers the possibility of obtaining baking-like products from coal by thermal dissolution. The production of pitch-like products from coal will reduce the shortage in the Russian and world markets of coal pitch, which is widely used as a raw material for electrode production, production of carbon fibers, etc. The most suitable raw materials for the production of baking-like products by thermal dissolution are coal grade GZH. The analysis of the reserves of these coals in Kuzbass was carried out, enterprises producing GJ brand coals were identified, the qualitative characteristics of these coals were investigated. Studies have been conducted to obtain baking-like products by thermal dissolution of GJ brand coals in an organic solvent. The anthracene fraction of coal tar (anthracene oil) was used as a solvent of coal coals. Experimental studies on the thermal dissolution of coals were carried out when the final temperature of the process varied from 370 to 390 °C. The ratio of anthracene oil and coal in the reaction mixture was 70/30 and 60/40. Qualitative characteristics were determined for the obtained laboratory samples of baking-like products. The analysis of the obtained experimental results is carried out, conclusions are drawn about the influence of temperature and composition of coal oil paste on the quality of the obtained baking-like products of thermal dissolution of coals.

For citation: Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V., Ermakov K.I., Demidko A.S. Production of baking-like products by thermal dissolution of GJ grade coals. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 4(158):66-74. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-66-74, EDN: ISSLSR

REFERENCES

1. Machalaba N.N., Genis A.V. State and prospects of research and production activities of FGUP (Federal State Unitary Enterprise "VNIISV" (SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF SYNTHETIC FIBER). *Chemical fibers*. 2011; 1:3–10.
2. Sviridov A.A., Varshavsky V.Y., Seleznev A.N. and etc. Structural and thermal characteristics of polyacrylonitrile fibres as raw material for production of carbon fibres. *Chemical fibers*. 2009; 4:14–16.
3. Perepelkin K.E. Carbon fibers with specific physical and physicochemical properties based on hydrated cellulose and polyacrylonitrile precursors. *Chemical fibers*. 2002; 4:32–40.
4. Kazakov L.K. Carbon fibers. M.: Academy; 2011. 336 p.
5. Varshavsky V.Ya. Carbon fibers. M.: Academy; 2005. 497 p.
6. Koroteeva L.I. Technology and equipment for the production of fibers and threads for special purposes. M.: INFRA-M; 2019. 288 p.
7. Gubanov S.A. Technological features of the production of coal pitch from low-pyrolyzed coal tar and options for improving the process / S. A. Gubanov, A.A. Bukka, E. Y. Ivashchenko. *Coke and chemistry*. 2017; 11:37–42.
8. Kuznetsov P.N. [et al.] Thermal dissolution of coals of a number of metamorphism in the medium of anthracene fraction of coking resin. *Coke and Chemistry* 2019; 4:27–35.
9. Kuznetsov P.N. [et al.] Obtaining alternative pitches from coal. *Chemistry in the interests of sustainable development*. 2016; 24:325–333.
10. Kuznetsov P.N. [et al.] Thermal dissolution of coals of a number of metamorphism in the medium of the anthracene fraction of the coking resin. *Coke and chemistry*. 2019; 4:27–35.
11. Kuznetsov P.N. [et al.] Thermal dissolution of GJ coal in the medium of various paste-forming agents. *Chemistry of solid fuel*. 2018; 5:20–26.
12. Kuznetsov P.N. [et al.] Thermal dissolution of coals of a series of metamorphism in the medium of tetralin and anthracene fraction of coking resin. *Chemistry of solid fuel*. 2020; 2:3–11.
13. Vetoshkina I.S. [et al.] Thermal dissolution of coals of the raw material base of PJSC "Coke" in the environment of the anthracene fraction of coal tar. *Coke and chemistry*. 2019; 2:28–31.
14. Kuznetsov P.N. [et al.] Methods of obtaining coal pitches. *Chemistry of solid fuel*. 2015; 4:16–29.
15. Moskalev I.V. [et al.] Synthetic pakes based on the anthracene fraction of coal tar.. *Coke and Chemistry*. 2014; 11:19–29.
16. Petrov A.P., Abaturov A.L., Moskalev I.V. Heat treatment of anthracene fraction under pressure. *Coke and Chemistry*. 2016; 8:24–37.
17. Jonathan P. The molecular representations of coal. A review. *Fuel*. 2012; 96:1–14.
18. Bazegsky A.E., Shkoller M.B., Kazimirov S.A. On the interaction of coal concentrate GJ + W with the addition of anthracene fraction. *Coke and Chemistry*. 2015; 4:2–6.
19. Shui H., Zhou Y., Li H. *Fuel*. 2013; 108:385.
20. Wang Z., Shui H., Pan C. *Fuel. Proc. Technol.* 2014; 120:8.
21. Kuznetsk coal basin [Electronic resource]. 2021. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Kuznetsk_Coal_Basin
22. The main indicators of the Kuzbass coal industry for 2020 [Electronic resource]. 2022. URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli/>
23. Coal production in Kuzbass increased by 10% in 2021 [Electronic resource]. 2022. URL: <https://neftegaz.ru/news/coal/721858-dobycha-uglya-v-kuzbasse-v-2021-g-velichilas-na-10/>
24. Information and technical handbook on the best available technologies (Coal mining and processing). Moscow: Bureau of NDT; 2017. 301 p.
25. List of coal enterprises of Russia [Electronic resource]. 2021. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/List_of_coal_enterprises_Russia_federation#Kemerovo_region

© 2023 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:

Tatiana G. Cherkasova, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Director of SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Alexander V. Nevedrov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Andrey V. Papin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian

Federation), e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Konstantin I. Ermakov, student of the SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesenniyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: ermakov02@inbox.ru

Alexey S. Demidko, student of the SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesenniyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: aleksandrbender7@gmail.com

Contribution of the authors:

Tatiana G. Cherkasova – formulation of a research task, data analysis, conclusions, scientific management.

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

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

Konstantin I. Ermakov – review of relevant literature, data collection and analysis.

Alexey S. Demidko – review of relevant literature, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

