

Научная статья

УДК 662.749.33

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-58-65

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕКА ИЗ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ТЕРМОРАСТВОРЕНИЕМ В СМЕСИ АНТРАЦЕНОВОЙ ФРАКЦИИ И ЖИДКОГО ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА АВТОШИН**Макаревич Евгения Анатольевна, Папин Андрей Владимирович,
Черкасова Татьяна Григорьевна, Неведров Александр Викторович,
Боброва Ирина Витальевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: evgeniyamakarevich@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

22 августа 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 сентября 2023 г.

Принята к публикации:

20 сентября 2023 г.

Опубликована:

27 сентября 2023 г.

Ключевые слова:*каменный уголь, антраценовая фракция, жидкая фракция пиролиза, резинотехнические изделия (РТИ), пек, терморастворение***Аннотация.**

В статье представлены данные по исследованию возможности получения пека из каменного угля терморастворением в смеси антраценовой фракции и тяжелой фракции жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий (РТИ). Согласно данному способу, при массовом соотношении каменного угля к растворителю 40/60% мас. при температуре в реакторе 400 °С, а также при соотношении антраценовой фракции к тяжелой фракции жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий 50/50% мас. возможно получения неkopодобного продукта. Данный способ позволяет сократить затраты антраценовой фракции при получении неkopодобных продуктов за счет применения тяжелой фракции жидкого продукта пиролиза РТИ как ее частичной замены. В качестве сырья для терморастворения применяются каменные угли Кузнецкого бассейна марок Г и ГЖ. Экспериментальными данными доказано получение каменноугольных неkopодобных продуктов, которые могут быть потенциальным сырьем для получения связующих для электродных масс и брикетирования твердых углеводородных топлив и сырья для получения углеродных волокон. Такой неkopодобный продукт характеризуется наименьшей зольностью и может использоваться как спекающая добавка к шихте коксования (получение качественного кокса, применение трамбования шихты или другие способы окускования шихты).

Для цитирования: Макаревич Е.А., Папин А.В., Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Боброва И.В. Получение пека из каменных углей терморастворением в смеси антраценовой фракции и жидкого продукта пиролиза автошин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 4 (158). С. 58-65. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-58-65, EDN: QFCJAT

Поиск путей увеличения объемов каменноугольных пеков обусловлен возрастающим спросом, возникновением дефицита и ростом стоимости на них. Каменноугольные пеки обладают повышенной экологической опасностью, так как содержат большое количество полициклических ароматических углеводородов (бенз(а)пирен и др.) [1-4]. На алюминиевых предприятиях с самообжигающимися анодами каменноугольный пек является основным источником их эмиссии [5]. Суммарная токсичность пеков возрастает при повышении температуры размягчения и содержания веществ, нерастворимых в толуоле [6].

Снижение экологической опасности способов получения пековых продуктов путем разработки альтернативных методов является весьма актуальной задачей для исследователей и производителей [6,7].

Замена каменноугольного пека тяжелыми нефтяными остатками, дистилляция которых позволяет получать нефтяной пек и гибридный нефтекаменноугольный пек при его смешивании с каменноугольным, является одним из главных направлений за рубежом [8]. Считается, что нефтяной пек имеет преимущество по сравнению с каменноугольным, так как содержит в три раза меньше бенз[а]пирена [9,10]. Зарубежными компаниями разработана технология получения нефтяного пека со связующими свойствами, близкими к свойствам каменноугольного пека [11], который был использован для приготовления обожженных анодов [12].

В России также применяется нефтяной пек [1,13]. Известно, что пеки на основе тяжелых фракций и остатков нефтепереработки характеризуются более низкой конденсированностью и наличием большого числа алкильных цепочек в бензольных кольцах [14]. Низкий выход коксового остатка и небольшое содержание α - и α_1 -фракций ухудшает связующие свойства нефтяных пеков и не позволяет получить качественную анодную массу. К тому же повышенная вязкость, неудовлетворительное смачивание кокса, усадка, повышенное выделение летучих веществ усложняют их качественное использование, так как получаемые электроды имеют низкую плотность и механическую прочность, высокую газопроницаемость.

Полностью заменить каменноугольный пек нефтяным невозможно, но известны методы получения связующего пека электродного качества путем добавления к высокотемпературному каменноугольному пеку до 40% нефтяного пека [12,15,16].

Альтернативные пеки, используемые как связующие, получают путем низкотемпературного окисления антраценового масла [17]. Главными компонентами антраценовой фракции (фракции каменноугольной смолы, выкипающей в интервале температур 250–360°C) являются полициклические ароматические углеводороды, такие как фенантрен, антрацен, флуорантен и пирен. Сейчас это направление является также актуальным, особенно с целью получения игольчатых коксов.

Связующий пек с коксовым остатком до 55% мас. и содержанием нерастворимых в толуоле веществ до 33% мас. получают комбинацией окисления кислородом воздуха и тепловой обработки окисленных продуктов. Обработка исходного антраценового масла с возвратом дистиллятов после каждого цикла позволяет получать пек с пониженным бенз[а]пиреновым эквивалентом. К достоинствам таких пеков относятся низкое содержание сернистых и азотистых соединений, однородность состава, низкие температуры размягчения, хорошие электрические и экологические характеристики, высокая способность к графитизации, что благоприятно для производства широкого круга качественных механически прочных углеродных материалов.

Термический крекинг антраценовой фракции при температуре 430–450°C позволяет получить пек с выходом 20–33,5% за счет образования высокомолекулярных ароматических соединений [18]. Отсутствие поперечно-сшитых молекулярных структур в таком пеке, в отличие от термоокисленного пека, определяет способность к образованию мезофазы и формированию игольчатого кокса.

Отдельным направлением сейчас выглядит получение пекоподобных продуктов путем терморастворения каменных углей. Существует ряд способов терморастворения каменных углей с получением пекоподобных веществ. Способ растворения угля осуществляется путем его обработки ароматизированным растворителем при повышенном давлении и температуре, где с целью упрощения и улучшения технологии процесса в качестве растворителя используют смесь, взятую в разном массовом соотношении уголь: растворитель [19].

Недостатком данного способа является многокомпонентность состава, что сказывается на сложности получения конечных продуктов с заданными свойствами.

Наиболее распространенным является способ получения каменноугольного пека из каменноугольной смолы, получаемой в процессе коксования каменных углей, путем применения стадии коксования каменного угля (температура коксования 1050°C, период 14-30 часов), при котором сначала получены продукты коксования: кокс, коксовый газ и каменноугольная смола. Последняя в свою очередь далее подвергается разгонке на фракции, после отгонки которых остается остаток перегонки – каменноугольный пек [20].

Недостатками технологии является многостадийность процесса получения каменноугольных пеков и усиленного контроля показателей технологического регламента производства коксования, несоблюдение которых приводит к повышению содержания в каменноугольном пеке соединений повышенной экологической опасности, включая бенз(а)пирен.

На сегодняшний день актуальным являются исследования в области решения энергетических затрат за счет упрощения технологии получения пеков с заданными свойствами, безопасности их получения, увеличения экологической безопасности путем снижения содержания соединений повышенной экологической опасности, включая бенз(а)пирен.

С этой целью проводились исследования по получению пека из каменного угля терморастворением в смеси антраценовой фракции и тяжелой фракции жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий (исследования по поиску путей утилизации данного продукта пиролиза РТИ), соотношение каменного угля к растворителю – 50/50, 40/60, 30/70 % мас. при температуре в реакторе 400 °С.

В предлагаемом способе получения пека из каменного угля терморастворением в смеси антраценовой фракции с тяжелой фракцией жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий процесс проводится при температуре начала термического разложения угольного вещества (370-400°С). Образующиеся при этом свободные радикалы взаимодействуют с растворителем, благодаря чему тормозятся вторичные реакции поликонденсации и накапливаются растворимые продукты реакции. Эффективным растворителем, близким по химической природе к продуктам терморастворения, является антраценовая фракция каменноугольной смолы. Эффективность антраценового масла связана с присутствием активных доноров водорода (аценафтена, дигидроантрацена, флуорена и карбазола), переносчиков водорода (фенантрена, флуорантена) и соединений с сольватирующими свойствами (хинолина, индола). После проведения процесса полученный остаток, содержащий поликонденсированные ароматические углеводороды, может служить заменителем каменноугольного пека.

Однако выход антраценовой фракции из смолы составляет до 25% мас., что инициирует исследователей на поиск путей частичной или полной замены растворителя. В данной работе исследовалось терморастворение каменного угля марки Г и ГЖ в смеси: антраценовая фракция с тяжелой фракцией жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий в соотношении 50/50% мас.

В предлагаемом способе получения пека из каменного угля терморастворением в антраценовой фракции процесс проводится при температуре начала термического разложения угольного вещества (370-400°С). Образующиеся при этом свободные радикалы взаимодействуют с растворителем – смесью антраценовой фракции с тяжелой фракцией жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий, благодаря чему тормозятся вторичные реакции поликонденсации и накапливаются растворимые продукты реакции. Эффективность антраценовой фракции или ее смеси с другими реагентами связана с присутствием активных доноров водорода (аценафтена, дигидроантрацена, флуорена и карбазола), переносчиков водорода (фенантрена, флуорантена) и соединений с сольватирующими свойствами (хинолина, индола). После проведения процесса полученный остаток, содержащий поликонденсированные ароматические углеводороды, может служить заменителем каменноугольного пека.

Подготовка угля для процесса термического растворения в органических растворителях состоит из стадий измельчения и сушки. Измельчение исходного угля осуществляется до крупности его зерен < 1 мм. Измельченный уголь подвергается сушке в сушильном шкафу при температуре 105°С до содержания влаги менее 1,5% мас. Далее идет стадия приготовления углемасляной пасты. В предварительно взвешенный стакан загружается органический растворитель массой, установленной в соответствии с требуемым соотношением уголь % мас.: растворитель % мас. (50/50, 40/60, 30/70). Затем в стакан с растворителем постепенно добавляется при одновременном перемешивании расчетная масса подготовленной пробы угля. Полученная смесь тщательно перемешивается до однородного пастообразного состояния и затем взвешивается. Объем загрузки углемасляной пасты в стакане не должен превышать 60% об.

Для проведения процесса термического растворения взвешенный стакан с углемасляной пастой помещается в реактор. После этого включается нагрев реактора до достижения заданной температуры (350-400 °С). Давление в реакторе контролировалось манометром и цифровым

измерителем. С момента достижения в реакторе заданной температуры, регулируемой с помощью измерителя-регулятора, содержимое реактора выдерживалось при этой же температуре еще в течение 1 часа под давлением выделяющихся летучих веществ (до 2,5-3 МПа) без подвода в реакционную систему дополнительных газов. За начало реакции принимается момент достижения заданной температуры с помощью термопары в реакторе.

Во время процесса термического растворения фиксируются следующие параметры: скорость нагрева, максимальная температура, давление, время начала и окончания эксперимента, время выдержки при максимальной температуре.

По окончании процесса терморастворения (выдержки реакционной смеси в реакторе при заданной температуре в течение заданного времени) паровая фаза отводится через гидрозатвор. После охлаждения до 150 ± 20 °С стакан с пековым продуктом и остатками нерастворенного угля извлекается из реактора и дальнейшее его охлаждение производится на воздухе и/или в водной среде до постоянной температуры. После охлаждения стакан с его содержимым взвешивается на весах. По результатам взвешивания определялся выход пекового продукта вместе с остатками нерастворенного угля.

Для определения условий процесса термического растворения углей в органических растворителях проводится ряд экспериментов по определению влияния на выход и качество пекоподобного продукта параметров процесса: температура процесса термического растворения и соотношение компонентов углемасляной пасты.

После определения массы образовавшегося пекоподобного продукта в смеси с остатками нерастворенного угля рассчитывался выход данного продукта (В, %) из исходной углемасляной пасты по формуле:

$$B = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{уп}}} \cdot 100\%,$$

где $m_{\text{пр}}$ – масса пекоподобного продукта в смеси с остатками нерастворенного угля, г; $m_{\text{уп}}$ – масса навески исходной углемасляной пасты, загруженной в стакан, г.

Полученный пекоподобный продукт подвергался исследованиям, направленным на определение следующих показателей его качества: температуры размягчения Тразм., зольности

Таблица 1. Качество полученного пекоподобного продукта

Table 1. Quality of the resulting baking-like product

Марка угля	Параметры процесса терморастворения		Характеристика пекоподобного продукта					
	Соотношение (уголь / смесь антраценовая фракция с тяжелой фракцией пиролиза РТИ % мас.)	Температура процесса, °С	В, %	Тразм, °С	A ^d , %	V ^a , %	α-фракция, %	α ₁ -фракция, %
Г	30/70	370	70,2	73	1,8	73,8	38,4	5,8
		400	71,4	68	2,2	76,5	33,7	3,9
	40/60	370	73,0	127	1,8	56,8	39,2	5,8
		400	74,2	128	2,4	58,5	42,4	6,9
	50/50	370	82,2	137	2,2	65,7	42,9	5,4
		400	86,0	139	2,5	62,0	45,7	23,2
ГЖ	30/70	370	72,3	69	1,8	70,2	29,2	5,7
		400	73,2	68	1,9	72,7	26,9	4,8
	40/60	370	75,4	111	2,2	58,1	42,4	6,8
		400	75,9	125	3,4	58,2	57,2	26,2
	50/50	370	84,4	133	2,4	65,2	42,9	5,9
		400	86,2	138	2,7	61,9	45,0	23,4

A^d , выхода летучих веществ V^a , содержания α -фракции (веществ, нерастворимых в толуоле), содержания α_1 -фракции (веществ, нерастворимых в хинолине).

Результаты исследований представлены в Таблице 1.

Из полученных данных выявлены следующие зависимости: с увеличением содержания массовой доли угольного концентрата увеличивается твердость и прочность массы, от жидкого состояния (при массовом соотношении 20/80) до твердого-стекловидного (при массовом соотношении 50/50), однако при массовом соотношении 50/50 наблюдаются включения нерастворенных угольных частиц; с увеличением температуры в реакторе до 400 °С не наблюдается четкого снижения зольности массы, выхода летучих веществ, а также содержания α -фракции (н/т) и α_1 -фракции (н/х).

Следует отметить, что также были проделаны эксперименты с теми же углями и такими же технологическими условиями и операциями по терморастворению этих углей только в антраценовой фракции. В итоге были получены результаты, очень близкие по значениям с представленными выше данными, что подтвердило целесообразность и возможность частичной замены части антраценовой фракции на тяжелую фракцию пиролиза РТИ.

Выводы:

Таким образом, оптимальными условиями получения пекоподобного продукта на данном этапе являются: массовое соотношение уголь : растворитель 40/60, температура в реакторе 370 °С, но с дополнительной стадией отделения нерастворенных угольных частиц.

Такой пек характеризуется наименьшей зольностью и может использоваться как спекающая добавка к шихте коксования (получение качественного кокса, применение трамбования шихты или другие способы окускования шихты).

Для достижения качества, соответствующего требованиям электродного пека, необходимо провести увеличение времени выдержки процесса терморастворения, а так же обеззоливание пека.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губанов С. А., Букка А. А., Иващенко Е. Ю. Технологические особенности производства каменноугольного пека из низкопиролизованных каменноугольных смол и варианты совершенствования процесса // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 37–42.
2. Кузнецов П. Н., Перминов Н. В. Термическое растворение каменного угля в технических пастообразователях и их смесях // Кокс и химия. 2019. № 11. С. 16–23.
3. Mannweiler U. C., Perruchoud R. C. Reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in anodes by using petroleum pitch as binder material // Light Metals. 1997. P. 555–558.
4. Хайрутдинов И.Р. Опыт производства и применения нефтяных пеков. М. : ЦНИИТЭНефтехим, 1994. 48 с.
5. Барнаков Ч. Н., Хохлова Г. П., Усов О. М. Возможности расширения сырьевой базы для получения связующего пека // Кокс и химия. 2019. № 10. С. 25–29.
6. Обзор рынка каменноугольной смолы в СНГ [Электронный ресурс]. 2019. URL: https://infomine.ru/files/catalog/185/file_185.pdf.
7. Угапьев А. А., Дошлов О. И. Нефтяной пек дезинтегрированный – альтернативное связующее для анодов нового поколения // Вестник ИрГТУ. 2013. № 6. С. 151–156.
8. Diez N., Alvarez P., Santamaria R., Blanco C., Menendez R., Granda M. Optimisation of the melt-spinning of anthracene oil-based pitch for isotropic carbon fibre preparation // Fuel Processing Technology. 2012. Vol. 93. P. 99–104.
9. Wang Y., Tong Y., Zhang B., Su H., Xu L. Formation of Surface Morphology in Polyacrylonitrile (ПАН) Fibers during Wet-Spinning // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2018. Vol. 2. P. 52–57.
10. Казаков Л. К. Углеродные волокна. М. : Академия, 2011. 336 с.
11. Андрейков Е. И., Сафаров Л. Ф., Цаур А. Г. Получение нефтекаменноугольного пека совместной дистилляцией каменноугольной смолы и тяжелого газойля на смолоперерабатывающей установке АО «Губахинский кокс» // Кокс и химия. 2016. № 3. С. 59–64.
12. Сидоров О. Ф. Канцерогенная активность каменноугольных пеков в зависимости от технологии их получения // Кокс и химия. 2006. № 6. С. 36–40.

13. Маракушина Е. Н. Получение пеков и связующих веществ методом термического растворения углей: дис. канд. техн. наук. Красноярск, 2015. 137 с.
14. Ветошкина И. С., Солодов В. С., Васильева Е. В. Получение высокотехнологичных продуктов из каменноугольной смолы // Кокс и химия. 2019. № 2. С. 51–54.
15. Мелешко А. И., Половников С. П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. М. : САЙНС-ПРЕСС, 2007. 192 с.
16. Хайрутдинов И. Р., Ахметов М. М., Теляшев Э. Г. Состояние и перспективы развития производства кокса и пека из нефтяного сырья // Российский химический журнал. 2006. Т. L. № 1. С. 25–28.
17. Красникова О. В. Получение нефтекаменноугольных пеков совместной переработкой каменноугольной смолы и тяжелой смолы пиролиза: автореф. дис. канд. техн. наук. Уфа : ИОС им. И. Я. Постовского, 2013. 20 с.
18. Perez M., Granda M., Santamaria R., Vina J.A., Menendes R. Formulation, structure and properties of carbon anodes from coal tar pitch/ petroleum pitch blends // Light Metals. 2003. Vol. 4. P. 495-501.
19. Багазеев В. К., Валиев Н. Г., Бойков И. С. Глубокая переработка углей // Горный журнал. 2012. № 1. С. 82–85.
20. Акимов А. В. Углеродные волокна и композиты: 2-е изд., перераб. и доп.: учебник для вузов. М. : Недра, 2014. 412 с.

© 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:

Макаревич Евгения Анатольевна – старший преподаватель 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

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

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

Боброва Ирина Витальевна – уч. мастер кафедры Института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

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.

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

PRODUCTION OF PITCH FROM COAL BY THERMAL DISSOLUTION IN A MIXTURE OF ANTHRACENE FRACTION AND LIQUID TIRE PYROLYSIS PRODUCT

**Evgeniya A. Makarevich, Andrey V. Papin,
Tatiana G. Cherkasova, Alexander V. Nevedrov,
Irina V. Bobrova**

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: evgeniyamakarevich@mail.ru

**Article info**

Received:

22 August 2023

Accepted for publication:

15 September 2023

Accepted:

20 September 2023

Published:

27 September 2023

Keywords: coal, anthracene fraction, liquid pyrolysis fraction, rubber products, pitch, thermal dissolution

Abstract.

The article presents data on the study of the possibility of obtaining pitch from coal by thermal dissolution in a mixture of anthracene fraction and heavy fraction of the liquid pyrolysis product of rubber products. According to this method, with a mass ratio of coal to solvent - 40/60% by weight. at a temperature in the reactor - 400 oC, as well as at a ratio of the anthracene fraction to the heavy fraction of the liquid pyrolysis product of rubber products 50/50% by weight. It is possible to obtain a baking-like product. This method makes it possible to reduce the cost of the anthracene fraction in obtaining peak-like products by using a heavy fraction of the liquid pyrolysis product of rubber products as its partial replacement. The coal of the Kuznetsk basin is used as a raw material for thermal dissolution. Experimental data have proved the production of coal peak-like products, which can be a potential raw material for the production of binders for electrode masses and briquetting of solid hydrocarbon fuels and raw materials for the production of carbon fibers. Such a baking product is characterized by the lowest ash content and can be used as a sintering additive to the coking charge (obtaining high-quality coke, the use of ramming the charge or other methods of caulking the charge).

For citation: Makarevich E.A., Papin A.V., Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Bobrova I.V. Production of pitch from coal by thermal dissolution in a mixture of anthracene fraction and liquid tire pyrolysis product. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 4(158):58-65. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-58-65, EDN: QFCJAT

REFERENCES

1. Gubanov S.A., Bukka A.A., Ivashchenko E.Yu. Technological features of the production of coal pitch from low-pyrolyzed coal tar and options for improving the process. *Coke and chemistry*. 2017; 11:37–42.
2. Kuznetsov P.N., Perminov N.V. Thermal dissolution of coal in technical paste-forming agents and their mixtures. *Coke and chemistry*. 2019; 11:16–23.
3. Mannweiler U.C., Perruchoud R.C. Reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in anodes by using petroleum pitch as binder material. *Light Metals*. 1997. P. 555–558.
4. Khairutdinov I.R. Experience in the production and application of oil pitches. M.: Tsniiteneftkhim, 1994. 48 p.
5. Barnakov Ch.N., Khokhlova G.P., Usov O.M. Possibilities of expanding the raw material base for obtaining binder pitch. *Coke and chemistry*. 2019; 10:25–29.
6. Overview of the coal tar market in the CIS [Electronic resource]. 2019. URL: https://infomine.ru/files/catalog/185/file_185.pdf.
7. Ugapyev A.A., Doslov O.I. Disintegrated petroleum pitch – an alternative binder for new generation anodes. *Bulletin of IrSTU*. 2013; 6:151–156.
8. Diez N., Alvarez P., Santamaria R., Blanco C., Menendez R., Granda M. Optimisation of the melt-spinning of anthracene oil-based pitch for isotropic carbon fibre preparation. *Fuel Processing Technology*. 2012; 93:99–104.
9. Wang Y., Tong Y., Zhang B., Su H., Xu L. Formation of Surface Morphology in Polyacrylonitrile (PIAH) Fibers during Wet-Spinning *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2018; 2:52–57.

10. Kazakov L.K. Carbon fibers. M.: Academy; 2011. 336 p.
11. Andreikov E.I., Safarov L.F., Tsaur A.G. Obtaining of oil-coal pitch by joint distillation of coal tar and heavy gas oil at the resin processing plant of Gubakhinsky Coke JSC. *Coke and Chemistry*. 2016; 3:59–64.
12. Sidorov O.F. Carcinogenic activity of coal pitches depending on the technology of their production. *Coke and chemistry*. 2006; 6:36–40.
13. Marakushina E.N. Obtaining pitches and binders by thermal dissolution of coals: dis. Candidate of Technical Sciences. Krasnoyarsk, 2015. 137 p.
14. Vetoshkina I.S., Solodov V.S., Vasilyeva E.V. Obtaining high-tech products from coal tar. *Coke and chemistry*. 2019; 2:51–54.
15. Meleshko A.I., Polovnikov S.P. Carbon, carbon fibers, carbon composites. Moscow: SCIENCE PRESS; 2007. 192 p.
16. Khairutdinov I.R., Akhmetov M.M., Telyashev E.G. The state and prospects for the development of coke and pitch production from petroleum raw materials. *Russian Chemical Journal*. 2006; 1:25–28.
17. Krasnikova O.V. Obtaining oil-coal pitches by joint processing of coal tar and heavy pyrolysis resin: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Ufa: I. Ya. Postovsky IOS; 2013. 20 p.
18. Perez M., Granda M., Santamaria R., Vina J.A., Menendes R. Formulation, structure and properties of carbon anodes from coal tar pitch/ petroleum pitch blends. *Light Metals*. 2003; 4:495–501.
19. Bagazeev V.K., Valiev N.G., Boikov I.S. Deep processing of coal. *Mining Journal*. 2012; 1:82–85.
20. Akimov A.V. Carbon fibers and composites: 2nd ed., reprint. and additional: textbook for universities. M.: Nedra; 2014. 412 p.

© 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:

Evgeniya A. Makarevich, senior lecturer of the Department of SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: evgeniyamakarevich@mail.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

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

Irina V. Bobrova, academic master of the Department of SFCT, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

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.

Evgeniya 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.

