

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА
И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUEL
AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 662.749.39

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-118-125

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ПЕКА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО
КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, С ЦЕЛЬЮ
ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
ХОЛОДНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ**

**Папин Андрей Владимирович, Неведров Александр Викторович, Тихонов Виктор Владимирович,
Макаревич Евгения Анатольевна, Боброва Ирина Витальевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: pav.httt@kuzstu.ru

Аннотация.

Электродный пек необходим для получения качественной электродной продукции. В свою очередь, получение качественной электродной продукции зависит от свойств получаемого электродного пека, его подготовки к использованию и свойств исходного сырья для пека. Применение каменноугольной смолы (продукта высокотемпературного коксования каменных углей) для получения электродных пеков по сравнению с другими видами углеводородного сырья обеспечивает лучшее качество пека и более высокий его выход. При получении электродных пеков из каменноугольной смолы коксования каменных углей наиболее значимыми и оказывающими влияние на формирование качественного пека являются аспекты: 1) качество каменноугольной смолы (соответственно, качество каменных углей, идущих на коксование, технологии коксования, физический износ печей коксования каменных углей и сопутствующей аппаратуры и трубопроводов); 2) температура и период термовоздействия на каменноугольную смолу; 3) состав газовой среды в реакторе; 4) давление в реакторе. Изучена и установлена возможность получения из каменноугольной смолы ПАО «Кокс» лабораторных образцов электродных пеков. Определены качественные характеристики пеков, проведен анализ полученных данных, а также сделано соответствие характеристик полученных электродных пеков с требуемыми значениями показателей качества. Установлено, что полученные лабораторные образцы каменноугольного пека путем вакуумной перегонки при параметрах процесса: вакуум – 0,095 МПа; максимальная температура нагрева – 400 °С; скорость нагрева – 5 °С/мин обладают невысокой температурой размягчения 55,8 °С и при дальнейшей обработке полученных образцов пека низкотемпературной кислородной плазмой возможно получение каменноугольных пеков с температурой размягчения от 87 до 90 °С.



Информация о статье

Поступила:

28 марта 2026 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 сентября 2026 г.

Принята к публикации:

15 сентября 2026 г.

Ключевые слова:

каменноугольная смола,
каменноугольный пек,
температура размягчения,
электродный пек, коксование

Для цитирования: Папин А.В., Неведров А.В., Тихонов В.В., Макаревич Е.А., Боброва И.В. Исследование лабораторных образцов пека, используемого как связующее для электродной промышленности, с целью повышения их температуры размягчения при применении холодной кислородной плазмы // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. №

4 (176). С. 118-125. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-118-125, EDN: CCDIOW

Одним из основных путей повышения качества электродной продукции является применение связующего пека с повышенной температурой размягчения (85-90°C). В связи с этим пек, получаемый на коксохимических заводах, должен быть подвергнут дополнительной обработке.

При термической обработке пеков (мягкого или среднетемпературного) для повышения температуры их размягчения обычно в реактор подается воздух или кислород [1–3]. С этой же целью, но и еще с дополнительным изменением других их физико-химических свойств можно использовать окись углерода.

В научно-технической литературе существует ряд исследовательских работ, в которых проведено сравнительное исследование электродных пеков с равными температурами размягчения, полученных в различных средах термическим методом, также в них выяснен характер термохимических превращений в процессе формирования структуры пека и влияния природы иницирующего агента [3–5].

Для производства электродной продукции используются пеки с разной температурой размягчения, соответствующие ГОСТ 10200-2017. Однако для создания определенной номенклатуры электродных изделий (соединительные ниппеля) требуется применение пеков с более высокой температурой размягчения, придающих необходимую более высокую прочность данным электродным изделиям.

В этой связи вызывает интерес изучение возможности применения холодной кислородной плазмы с целью повышения температуры размягчения для мягких и среднетемпературных пеков.

В Таблице 1 представлена характеристика каменноугольной смолы, из которой был получен каменноугольный пек (Таблица 2) вакуумной перегонкой при следующих параметрах процесса: вакуум – 0,095 МПа; максимальная температура нагрева – 400°C; скорость нагрева – 5°C/мин.

Из полученных данных видно, что

Таблица 1. Качественные показатели каменноугольной смолы

Table 1. Qualitative characteristics of coal tar

№ п/п	Наименование	Качественные характеристики				
		Плотность, г/см ³	Содержание воды, %	Вещества нерастворимые в толуоле, %	Вещества нерастворимые в хинолине, %	Зольность, %
1	Каменноугольная смола	1,198	2,0	11,0	6,7	0,1

Таблица 2. Качественные показатели электродного пека, полученного при вакуумной перегонке каменноугольной смолы

Table 2. Qualitative indicators of the electrode pitch obtained by vacuum distillation of coal tar

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

каменноугольная смола близка по показателям нормы для марки А, 2 сорта.

Каменноугольная смола содержит небольшое количество воды, препятствующей проведению процессов ее переработки, поэтому производился ее отстой от воды при температуре 90–110°C. Далее исходная обезвоженная каменноугольная смола подвергается перегонке под вакуумом для получения фракции при температуре до 400°C. Полученный остаток – тяжелая фракция – представляет собой каменноугольный пек, по показателям качества соответствующий электродному пеку. 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» [6].

Каменноугольный пек, используемый как связующее для брикетирования, не имеет точных требуемых значений по качественным характеристикам. Таким образом, определение технологических показателей пека осуществляли в соответствии со следующими ГОСТами [7–10]: ГОСТ 9950-2020 «Пек каменноугольный. Методы определения температуры размягчения»; ГОСТ 7847-2020 «Пек каменноугольный. Метод определения массовой доли веществ, 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 [11–30], однако все исследования опираются на показатели качества пека, определяемые по этим ГОСТ.

Полученный каменноугольный пек подвергался специальному термическому воздействию в условиях воздействия холодной кислородной плазмы. Существуют и другие методы термической обработки пеков, дающие повышение показателя температуры размягчения: термоокисление в окиси углерода, кислорода и воздуха. Из научной литературы известно, что продолжительность процесса нагрева с применением воздуха будет больше, чем другими окислителями, но выход пека будет максимальным. Будут получаться пеки с температурой размягчения 87°C, при

использовании кислорода 88,5°C, а при использовании окиси углерода также 87°C. Однако содержание веществ, нерастворимых в толуоле, при использовании воздуха значительно возрастает по сравнению с исходным пеком – с 24,9% до 37,5%, тогда как при использовании кислорода оно возрастает до 34,8%, а при использовании окиси углерода – до 34,0%, что говорит о неоднозначности положительного применения температурного модифицирования пека воздухом. Не в лучшую сторону возрастают и другие показатели качества пеков, такие как содержание коксового остатка – с 84,9% в исходном до 88,5% в модифицированном, вспучиваемость – с 25 мм до 30 мм.

Термическое воздействие – окисление в холодной кислородной плазме полученного пека – осуществлялось на установке «Гномик» [31]. **Окисление в холодной кислородной плазме** – это процесс, при котором материалы обрабатываются низкотемпературной плазмой в среде с повышенным содержанием кислорода. Для создания плазмы используют разряды, возникающие при подаче высоко- или сверхвысокочастотного электрического тока (УВЧ). Активными компонентами кислородной плазмы являются электроны, ионы, возбужденные атомы и молекулы кислорода, а также вакуумное ультрафиолетовое излучение. Наличие большого количества высокореакционных частиц в реакционном объеме обеспечивает протекание двух параллельных процессов: 1) **Начальная стадия образования поверхностных кислородсодержащих групп** («индукционный» период); 2) **Развитие глубокой окислительной деструкции** углеродсодержащей поверхности, приводящей в конечном итоге к полному выгоранию органического вещества («травление» поверхности).

Преобразованиям подвергается преимущественно внешняя поверхность материала и очень тонкий приповерхностный слой толщиной от 100 Å до нескольких мкм. Интересным является тот факт, что основная масса модифицируемого образца (в данном случае пека) сохраняет свои механические, физико-химические и электрофизические свойства.

Существуют некоторые особенности обработки материалов в холодной кислородной плазме:

- **Температура в реакторе:** например, для окисления полученного пека оптимальная температура – 40–70°C.
- **Расход кислорода:** расход кислорода – 5 мл/мин.
- **Давление в разрядной зоне реактора:** давление – 3 мм рт. ст.

• **Продолжительность процесса:** продолжительность процесса – 30–60 минут.

Ужесточение условий плазмохимической обработки может привести к интенсивному выгоранию поверхности материала и потере вещества с газообразными продуктами.

При окислении в холодной кислородной плазме могут образовываться, например, кислородсодержащие полярные группы (карбонильные, спиртовые, перекисные, простые и сложные эфирные, лактонные и т. п.) – на поверхности полимера; слой окисла – толщиной несколько нанометров даже при пониженных температурах.

Степень окисления (доля полностью окислившихся веществ) определяется количеством активных частиц, вырабатываемых генератором плазмы.

Метод окисления в холодной кислородной плазме используется в различных областях, например: 1) модификация поверхностных свойств полимеров – при использовании кислорода в качестве плазмообразующего газа на поверхности полимера образуются кислородсодержащие группы, обеспечивающие материалу гидрофильные свойства; 2) **Окисление угля** – низкотемпературное окисление в кислородной плазме позволяет сохранить фазовый состав угля, в отличие от высокотемпературного окисления при свободном доступе воздуха; 3) **Формирование окисленных защитных пленок** – например, при создании изделий для электроники и микроэлектроники, где плазменное окисление используется для формирования окисленного поверхностного слоя в полупроводниковых соединениях; 4) **Формирование окисленных защитных пленок** – например, при создании изделий для электроники и микроэлектроники, где плазменное окисление используется для формирования окисленного поверхностного слоя в полупроводниковых соединениях; 5) **Удаление органических загрязнений** – обработка воды холодной плазмой позволяет окислять практически все растворимые примеси, при этом неокисляющиеся соли проходят установку без изменений, а органические соединения разлагаются до углекислого газа и воды.

Заключение. Результаты исследования обработки образцов электродного пека в холодной кислородной плазме показали возможность получения пеков с температурой размягчения от 87 до 90°C.

Установлена зависимость температуры размягчения электродного пека от времени воздействия кислородной плазмой, а также от характера воздействия УВЧ. Также установлено, что при воздействии холодной кислородной

плазмой изменяются поверхностные свойства пека, что дает возможность применять холодную кислородную плазму для стадии окисления при получении углеродных волокон.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матусьяк Н. И., Степаненко М. А., Богоявленский В. В. Электродные пеки // Цветные металлы. 1969. № 5. С. 72–76.
2. Степаненко М. А., Матусьяк Н. И., Кулешев И. Я. Электродные пеки // Кокс и химия. 1957. № 7. С. 43–46.
3. Цеховольская Д. И. Электродные пеки // Химия твердого топлива. 1970. № 5. С. 125–129.
4. Фиалков А. С., Пшеничкина П. А., Тянь Л. С. Электродные пеки // Химия твердого топлива. 1971. № 1. С. 167–170.
5. Кекин Н. А., Белкин А. А., Гейдерих Б. Э. Электродные пеки // Химия твердого топлива. 1975. № 2. С. 106–116.
6. ГОСТ 10200-2017 «Пек каменноугольный электродный. Технические условия».
7. ГОСТ 9950-2020 «Пек каменноугольный. Методы определения температуры размягчения».
8. ГОСТ 7847-2020 «Пек каменноугольный. Метод определения массовой доли веществ, нерастворимых в толуоле».
9. ГОСТ 9951-73 «Пек каменноугольный. Метод определения выхода летучих веществ».
10. ГОСТ 7846-73 «Пек каменноугольный. Метод определения зольности».
11. Капустин В. М., Чернышева Е. А. Проблемы и тенденции развития современного нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса России // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2010». Уфа : ГУП «ИНХП РБ», 2010. С. 18–19.
12. Мухамедзянова А. А., Абдуллин М. И., Мухамедзянов А. Т., Гимаев Р. Н. Кинетика образования мезофазы при термополиконденсации высокоароматизированных нефтяных остатков // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17. № 4. С. 1722–1725.
13. Marsh H., Diez M. Mesophase of graphitizable carbons. In: Shibaev V. P., Lam L., editors. Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers. New York : Springer-Verlag New York Inc; 1994. Pp. 231–257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7.
14. 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.
15. Hurt R. H., Chen Z. Y. Liquid crystals and carbon materials // Physics Today. 2000. Vol. 53(3).

Рр. 39–44. DOI: 10.1063/1.883020/

16. Конкин А. А. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна. М. : Химия, 1978. 424 с.

17. Кисельков Д. М., Москалев И. В., Стрельников В. Н. Углеродные материалы на основе каменноугольного сырья // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. 2013. № 2. С. 13–22.

18. Шешин Е. П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. М. : Издательство МФТИ: Физматкнига, 2001. 287 с.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Wombles R., Baron J. Laboratory anode comparison of Chinese modified pitch and vacuum distilled pitch // Light metals. 2006. Vol. 3. Pp. 535–540.

23. Сидоров О. Ф. Современные представления о процессе термоокисления каменноугольных пеков. Механизм

взаимодействия кислорода с углеводородами пека // Кокс и химия. 2002. № 9. С. 35–43.

24. Смирнов Б. Н., Тянь Л. С., Фиалков А. С. Современные представления о механизме формирования структуры графитирующегося кокса // Успехи химии. 1976. № 10. С. 1731–1752.

25. 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.

26. Питюлин И. Н. Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов. Харьков : ИПЦ «Контраст», 2004. 480 с.

27. Cherkasova T. G., Nevedrov A. V., Papin A. V. Coal tar pitch from atmospheric-vacuum distillation of coal tar // Ugol. 2024. Vol. 4. Pp. 27–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30.

28. 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.

29. Валинурова Э. Р., Кудашева Ф. Х. Структурно-групповой состав волокнообразующих нефтяных пеков // Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. Вып. 7. С. 62–65.

30. Янко Э. А. Аноды алюминиевых электролизеров М. : Руда и металлы, 2001. 671 с.

31. Коробецкий И. А., Шпирт М. Я. Генезис и свойства минеральных компонентов углей. Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1988. 227 с.

© 2026 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 кафедры химической технологии твердого топлива, институт химических и нефтегазовых технологий, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Неведров Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии твердого топлива, институт химических и нефтегазовых технологий, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Тихонов Виктор Владимирович, кандидат технических наук, директор института химических и нефтегазовых технологий, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», e-mail: tikhonovvv@kuzstu.ru

Макаревич Евгения Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии твердого топлива, институт химических и нефтегазовых технологий, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», e-mail: evgeniyamakarevich@mail.ru

Боброва Ирина Витальевна – учебный мастер кафедры химической технологии твердого топлива, институт 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.

Тихонов Виктор Владимирович – научный менеджмент, поиск информации.

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

THE STUDY OF LABORATORY SAMPLES OF PITCH USED AS A BINDER FOR THE ELECTRODE INDUSTRY IN ORDER TO INCREASE THEIR SOFTENING TEMPERATURE WHEN CHANGING COLD OXYGEN PLASMA

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

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: pav.http@kuzstu.ru



Article info

Received:

28 March 2026

Accepted for publication:

01 September 2026

Accepted:

15 September 2026

Keywords: coal tar, coal pitch, softening point, electrode pitch, coking

Abstract.

The electrode pitch is necessary to obtain high-quality electrode products. In turn, obtaining high-quality electrode products depends on the properties of the resulting electrode pitch, its preparation for use, and the properties of the feedstock for the pitch. Application of coal tar (a product of high-temperature coking of coal) for the production of electrode pitches, compared with other types of hydrocarbon raw materials, it provides a better pitch quality and a higher yield. When producing electrode pitches from coal tar from coking coal, the most significant aspects and influencing the formation of a high-quality pitch are: 1) the quality of coal tar (respectively, the quality of coals going to coking, coking technology, physical wear of coal coking furnaces and related equipment and pipelines); 2) temperature and period of thermal effect on coal resin; 3) composition of the gas medium in the reactor; 4) pressure in the reactor. The possibility of obtaining laboratory samples of electrode pitches from coal tar of «Koks» has been studied and established. The qualitative characteristics of the pitches were determined, the data obtained were analyzed, and the characteristics of the obtained electrode pitches were matched with the required values of quality indicators. It was found that the obtained laboratory samples of coal pitch were obtained by vacuum distillation under the process parameters: vacuum – 0.016 ; maximum heating temperature – 400 °C; the heating rate is 5°C/min, they have a low softening temperature of 55.8°C, and with further processing of the obtained pitch samples with low-temperature oxygen plasma, it is possible to obtain coal pitches with a softening temperature from 87 to 90°C.

For citation: Papin A.V., Nevedrov A.V., Tikhonov V.V., Makarevich E.A., Bobrova I.V. The study of laboratory samples of pitch used as a binder for the electrode industry in order to increase their softening temperature when changing cold oxygen plasma. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 4(176):118-125. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-118-125, EDN: CCDIOW

REFERENCES

1. Matusiak N.I., Stepanenko M.A., Bogoyavlensky V.V. Electrode furnaces. *Non-ferrous metals*. 1969; 5:72-76.
2. Stepanenko M.A., Matusiak M.I., Kuleshev I.Ya. Electrode pakes. *Coke and Chemistry*. 1957; 7:43-46.
3. Tsekhovolskaya D.I. Electrode pakes. *Chemistry of solid fuels*. 1970; 5:125-129.
4. Fialkov A.S., Pshenichkina P.A., Chan L.S. Electrode pakes. *Chemistry of solid fuels*. 1971; 1:167-170.
5. Kekin N.A., Belkin A.A., Geyderikh B.E. Electrode pakes. *Chemistry of solid fuels*. 1975; 2:106-116.
6. GOST 10200-2017 "Coal-fired electrode pitch. Technical specifications".
7. GOST 9950-2020 "Coal pitch. Methods for determining the softening temperature".
8. GOST 7847-2020 "Coal pitch. A method for determining the mass fraction of substances insoluble in toluene".
9. GOST 9951-73 "Coal pitch. A method for determining the yield of volatile substances".
10. GOST 7846-73 "Coal pitch. The method of determining ash content".
11. Kapustin V.M., Chernysheva E.A. Problems and trends in the development of the modern oil refining and petrochemical complex of Russia. *Proceedings of the VI International Scientific and practical Conference "Oil and gas Processing-2010"*. Ufa: GUP "INHP RB"; 2010. Pp. 18-19.
12. Mukhamedzyanova A.A., Abdullin M.I., Mukhamedzyanov A.T., Gimaev R.N. Kinetics of mesophase formation during thermopolycondensation of highly aromatized oil residues. *Bulletin of the Bashkir University*. 2012; 17(4):1722-1725.
13. Marsh H., Diez M. Mesophase of graphitizable carbons. In: Shibaev V.P., Lam L., editors. *Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers*. New York: Springer-Verlag New York Inc; 1994. Pp. 231-257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7.
14. Mochida I., Korai Y., Ku C. [et al.] Chemistry of synthesis, structure, preparation and application of aromatic-derived mesophase pitch. *Carbon*. 2000; 2:305-328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1.
15. Hurt R.H., Chen Z.Y. Liquid crystals and carbon materials. *Physics Today*. 2000; 53(3):39-44. DOI: 10.1063/1.883020.
16. Konkin A.A. Thermo-, heat-resistant and nonflammable fibers. M.: Khimiya; 1978. 424 p.
17. Kiselkov D.M., Moskalev I.V., Strelnikov V.N. Carbon materials based on coal raw materials. *Bulletin of the Perm Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2013; 2:13-22.
18. Sheshin E.P. Surface structure and autoemission properties of carbon materials. M.: MIPT Publishing House: Fizmatkniga; 2001. 287 p.
19. 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.
20. 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.
21. Yuan G., Jin Z, Zuo X. Effect of carbonaceous precursors on the structure of mesophase pitches and their derived cokes. *Energy & Fuels*. 2018; 32(8):8329-8339.
22. Wombles R., Baron J. Laboratory anode comparison of Chinese modified pitch and vacuum distilled pitch. *Light metals*. 2006; 3:535-540.
23. Sidorov O.F. Modern ideas about the process of thermal oxidation of coal pitches. The mechanism of oxygen interaction with pitch hydrocarbons. *Coke and Chemistry*. 2002; 9:35-43.
24. Smirnov B.N., Tyan L.S., Fialkov A.S. Modern concepts of the mechanism of formation of the structure of graphitized coke. *Successes of chemistry*. 1976; 10:1731-1752.
25. 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.
26. Pityulin I.N. Scientific and technological foundations of the creation of carbonaceous carbonaceous materials for large-sized electrodes. Kharkiv: CPI "Contrast"; 2004. 480 p.
27. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Coal tar pitch from atmospheric-vacuum distillation of coal tar. *Ugol*. 2024; 4:27-30. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30.
28. Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G. Characteristics of pitch produced by atmospheric distillation of coal tar. *Ugol*. 2023; S12:98-102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.
29. Valinurova E.R., Kudasheva F.H. Structural and group composition of fiber-forming oil pitches. *Chemistry and chemical technology*. 2015; 58(7):62-65.
30. Yanko E.A. Anodes of aluminum electrolyzers. M.: Ore and metals; 2001. 671 p.
31. Korobetsky I.A., Shpirt M.Ya. Genesis and properties of mineral components of coals. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch; 1988. 227 p.

© 2026 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 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Chemical Technology of Solid Fuels, Institute of Chemical and Petroleum Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Alexander V. Nevedrov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Chemical Technology of Solid Fuels, Institute of Chemical and Petroleum Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Viktor V. Tikhonov – Candidate of Technical Sciences, Director of the Institute of Chemical and Oil & Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: tikhonovvv@kuzstu.ru

Evgeniya A. Makarevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Chemical Technology of Solid Fuels, Institute of Chemical and Oil & Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: evgeniyamakarevich@mail.ru

Irina V. Bobrova – Instructional Specialist, Department of Solid Fuel Chemical Technology, Institute of Chemical and Petroleum Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Andrey V. Papin – literature review, research management, manuscript writing.

Aleksandr V. Nevedrov – research conceptualization, data collection and analysis, manuscript writing.

Viktor V. Tikhonov – research management, information retrieval.

Evgeniya A. Makarevich – literature review, data collection and analysis.

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

All authors have read and approved the final manuscript.

