

Научная статья

УДК 662.749.39

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-94-101

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ПЕКА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**Неведров Александр Викторович, Папин Андрей Владимирович,
Боброва Ирина Витальевна, Макаревич Евгения Анатольевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: pav.httt@kuzstu.ru

Аннотация.

Каменноугольный пек (электродный) во всем мире по многим причинам является основным, приоритетным связующим компонентом для производства различных углеродных композитов: анодных масс, электродов, конструкционных материалов, электродных изделий и т. д. Каменноугольный электродный пек как основной сырьевой компонент этой продукции задает уровень физико-механических свойств этих продуктов, во многом определяет их качество. Благоприятное сочетание физико-химических свойств – коксообразующей способности и низкой вязкости в расплавленном состоянии – выгодно отличает электродный каменноугольный пек от других видов связующих веществ, применяемых для создания углеродных композитов, на основе которых получается широкий спектр товарной продукции. Ежегодно существующая потребность в каменноугольном электродном пек в мире возрастает на 3-4%, а для получения высоко маржинальной продукции, такой, как, например, высококачественные углеродные волокна, потребность возрастает более чем на 10%. Использование каменноугольного сырья – каменноугольной смолы, продукта высокотемпературного коксования каменных углей, для получения каменноугольных электродных пеков по сравнению с другими видами углеводородного сырья обеспечивает лучшее качество электродного пека, большее количество и более высокий выход продукта. При получении каменноугольных электродных пеков из каменноугольной смолы высокотемпературного коксования каменных углей наиболее значимыми и оказывающими влияние на формирование качества пеков являются следующие аспекты: 1) качество каменноугольной смолы и, соответственно, качество каменных углей, идущих на коксование, технология коксования, физический износ печей коксования каменных углей, коксовой батареи в целом и сопутствующей аппаратуры и трубопроводов; 2) температура и период термического воздействия на каменноугольную смолу при разгонке на фракции; 3) состав газовой среды в реакторе, реторте (ее инертность); 4) давление в реакторе или реторте. В работе изучена и установлена возможность получения из каменноугольной смолы ПАО «Кокс» электродных каменноугольных пеков. Определены качественные характеристики пеков, проведен анализ полученных данных, а также сделано соответствие характеристик полученных электродных пеков с требуемыми значениями показателей качества сырья для получения из него электродной продукции согласно с требованиями ГОСТ. Установлено, что при 430 °C и со скоростью нагрева 3 °C/мин без изотермической

**Информация о статье**

Поступила:

30 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 января 2025 г.

Опубликована:

12 марта 2025 г.

Ключевые слова:каменноугольная смола,
каменноугольный пек,
электродный пек, перегонка,
ректификация.

выдержки получается электродный каменноугольный пек, соответствующий марке В, который пригоден для получения широкой номенклатуры электродной продукции.

Для цитирования: Неведров А.В., Папин А.В., Боброва И.В., Макаревич Е.А. Исследование характеристик лабораторных образцов пека, используемого как связующее для электродной промышленности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 1 (167). С. 94-101. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-94-101, EDN: TNWNAL

В настоящее время происходит мощный рывок в развитии искусственного интеллекта, поэтому особый интерес проявляется к инновационным технологиям, обеспечивающим его применение, в том числе и к материалам с особыми свойствами. Такими являются углеродные материалы: углеродное волокно, игольчатый кокс, специальные виды связующих и др., сырьем для производства которых может быть каменноугольный пек.

В каждой области применения каменноугольного пека предъявляются различные требования к его качеству. Главным и основным источником получения каменноугольных пеков является каменноугольная смола высокотемпературного коксования каменных углей. Ресурсы (количественные запасы) каменноугольной смолы значительно ограничены невысокой производительностью коксохимических производств, соответственно, объемы и возможности производства каменноугольного пека также ограничены. Коксохимическая промышленность России пока не обеспечивает и половины ее потребностей в пеке [1, 2, 3].

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».

Определение технологических показателей полученного пека осуществляется в соответствии со следующими ГОСТами: 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 [4-15]. Однако все исследования опираются на показатели качества пека, определяемые по этим ГОСТ. Соответственно, показатели качества полученных лабораторных образцов пека должны соответствовать значениям, представленным в Таблице 1.

Для лабораторных образцов пека, полученных на лабораторной установке по атмосферной перегонке каменноугольной смолы при различных параметрах технологического режима процесса перегонки, были определены следующие показатели: температура размягчения; содержание веществ, нерастворимых в толуоле (α -фракция); содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α_1 -фракция); зольность; выход летучих веществ. Данные качественных характеристик лабораторных образцов каменноугольного пека представлены в Таблице 2.

Таблица 1. Требования к качеству каменноугольного электродного пека согласно ГОСТ 10200-2017
Table 1. Quality requirements for coal-fired electrode pitch according to GOST 10200-2017

№	Наименование показателя качества	Единицы измерения	Значение показателя по ГОСТ 10200-2017
1	Температура размягчения (Тр)	° С	65-95
2	Содержание веществ, нерастворимых в толуоле (α -фракция)	%	не менее 24
3	Содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α_1 -фракция)	%	7-16
4	Зольность (A^d)	%	не более 0,3
5	Выход летучих веществ (V^{daf})	%	не более 63

Таблица 2. Качественные характеристики лабораторных образцов каменноугольного пека атмосферной перегонки каменноугольной смолы

Table 2. Qualitative characteristics of laboratory samples of coal pitch from atmospheric distillation of coal tar

№ образца пека	Параметры процесса перегонки смолы			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}), %
1	400	0	3	57,6	23,4	6,3	0,16	66,8
2	400	0	5	55,7	22,9	6,1	0,15	67,1
3	400	60	3	69,5	26,6	6,7	0,20	62,9
4	400	60	5	63,3	28,8	6,7	0,19	63,1
5	430	0	3	90,0	34,2	8,0	0,20	56,8
6	430	0	5	79,8	32,5	8,2	0,18	59,8
7	430	60	3	104,3	41,3	11,7	0,21	51,8
8	430	60	5	102,3	40,7	12,9	0,23	52,4

Таблица 3. Качественные характеристики лабораторных образцов каменноугольного пека атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы

Table 3. Qualitative characteristics of laboratory samples of coal pitch from atmospheric vacuum distillation of coal tar

№ образца пека	Параметры процесса перегонки смолы			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}), %
1	400	0	3	48,1	26,5	17,02	0,13	63,6
2	400	0	5	41,3	31,3	7,9	0,15	68,1
3	400	60	3	74,5	43,5	4,1	0,06	57,68
4	400	60	5	49,0	21,9	13,5	0,14	63,8
5	430	0	3	87	31,2	6,73	0,13	55,7
6	430	0	5	67,4	38,2	6,81	0,15	43,79
7	430	60	3	167,3	58,3	32,8	0,09	35,2
8	430	60	5	139,5	51,7	17,3	0,06	43,1

На основании результатов исследования качественных характеристик пеков была создана база данных «Качественные характеристики пека атмосферной перегонки каменноугольной смолы, полученной при коксовании углей Кузбасса» [16].

При сравнении результатов исследований качества пека, представленных в Таблице 2, с требованиями ГОСТ 10200-2017 (Таблица 1) видно, что требованиям к качеству электродного пека соответствуют только лабораторные образцы пека № 3, № 5, № 6, остальные образцы

не соответствовали требованиям по одному или более показателям.

Согласно требованиям, которые наиболее часто выдвигаются пекам для электродной промышленности, образцы пека для электродной промышленности, полученные по разработанной авторами методике, должны соответствовать следующим требованиям:

- температура размягчения, °С – 85-92;
- массовая доля веществ, нерастворимых в толуоле (α -фракция), % – не менее 31;

- массовая доля веществ, нерастворимых в хинолине (α_1 -фракция), % – не более 14;
- выход летучих веществ, % – не более 57;
- зольность, % – не более 0,3.

Эти требования соответствуют нормам, предъявляемым к электродному пеку марки В. Данным требованиям соответствует только лабораторный образец пека № 5, полученный при нагревании каменноугольной смолы до температуры 430°C со скоростью 3°C/мин без изотермической выдержки.

Анализируя представленные результаты исследований, можно заключить, что увеличение температуры атмосферной перегонки каменноугольной смолы и продолжительности изотермической выдержки приводят к увеличению температуры размягчения пека. Повышенные значения температуры размягчения при меньшей скорости нагрева смолы объясняются увеличенным временем термического воздействия на смолу.

Качественные характеристики лабораторных образцов пека, полученных на лабораторной установке атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы при различных параметрах технологического режима процесса перегонки, представлены в Таблице 3 [17].

Сравнительный анализ данных, представленных в Таблице 3, с требованиями к качеству каменноугольного электродного пека согласно ГОСТ 10200-2017 (Таблица 1) показал, что только лабораторные образцы пека № 3, № 5, № 6 соответствуют требованиям ГОСТ 10200-2017. Нормам, предъявляемым к электродному пеку марки В, соответствует лабораторный образец пека № 5, полученный в результате атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы при нагревании смолы до температуры 430°C со скоростью 3°C/мин без изотермической выдержки.

Анализ результатов исследований качественных характеристик лабораторных образцов пека показал, что для получения пека, соответствующего требованиям ГОСТ 10200-2017, необходимо осуществлять атмосферно-вакуумную перегонку каменноугольной смолы либо при медленном нагреве до температуры 400°C и последующей изотермической выдержке, либо при нагреве смолы до температуры 430°C без изотермической выдержки. Также, как и в случае атмосферной перегонки смолы, при увеличении температуры атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы и продолжительности изотермической выдержки происходит увеличение температуры размягчения пека и снижение выхода летучих веществ.

В связи с тем, что некоторые образцы каменноугольного пека, получаемые при атмосферно-вакуумной перегонке

каменноугольной смолы, имеют содержание нерастворимых в хинолине веществ больше, чем допустимые нормативные значения, были разработаны экстракционные методы удаления α_1 -фракции из каменноугольного пека [18].

Заключение

Проведены исследования характеристик лабораторных образцов пека, используемого как связующее для электродной промышленности. Для образцов пека, полученных на лабораторных установках по атмосферной и атмосферно-вакуумной перегонках каменноугольной смолы при различных параметрах технологического режима процесса перегонки, были определены следующие показатели: температура размягчения; содержание веществ, нерастворимых в толуоле (α -фракция); содержание веществ, нерастворимых в хинолине (α_1 -фракция); зольность; выход летучих веществ.

Анализ результатов исследований характеристик лабораторных образцов пека показал, что требованиям ГОСТ 10200-2017 для электродного пека соответствуют образцы пека № 3, № 5, № 6, полученные на лабораторных установках атмосферной и атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы.

Образцы пека для электродной промышленности должны соответствовать требованиям, предъявляемым к электродному пеку марки В (согласно нормам ГОСТ 10200-2017). Данным требованиям соответствуют лабораторные образцы пека № 5, полученные в результате атмосферной и атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы при нагревании каменноугольной смолы до температуры 430°C со скоростью 3°C/мин без изотермической выдержки.

Анализируя представленные результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на качественные характеристики каменноугольных пеков, полученных в результате атмосферной и атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы, оказывают конечная (максимальная) температура процесса перегонки и продолжительность изотермической выдержки пека при данной температуре.

2. При увеличении температуры атмосферной и атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы и продолжительности изотермической выдержки происходит увеличение температуры размягчения пека и снижение выхода летучих веществ.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 «ИНХПРБ». 2010. С. 18–19.
2. 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.
3. Marsh H., Diez M. Mesophase of graphitizable carbons. In: Shibaev VP, Lam L, editors. Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers. New York: Springer-Verlag New York Inc; 1994. P. 231-257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7
4. Mochida I, Korai Y., Ku C., et al. Chemistry of synthesis, structure, preparation and application of aromatic-derived mesophase pitch // Carbon. 2000. Vol. 2. P. 305-328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1.
5. Hurt R. H., Chen Z. Y. Liquid crystals and carbon materials // Physics Today. 2000. Vol. 53(3). P. 39-44. DOI: 10.1063/1.883020.
6. Шешин Е. П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. Москва : Издательство МФТИ «Физматкнига», 2001. 287 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Wombles R., Baron J. Laboratory anode comparison of Chinese modified pitch and vacuum distilled pitch // Light metals. 2006. Vol. 3. Pp. 535–540.
11. Сидоров О. Ф. Современные представления о процессе термоокисления каменноугольных пеков. Механизм взаимодействия кислорода с углеводородами пека // Кокс и химия. 2002. № 9. С. 35–43.
12. 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.
13. Питюлин И. Н. Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов. Харьков : ИПЦ Контраст, 2004. 480 с.
14. 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.
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.
16. Черкасова Т. Г., Неvedров А. В., Папин А. В. Факторы, влияющие на температуру размягчения каменноугольных пеков // Уголь. 2024. № 5. С. 38–41.
17. Неvedров А. В., Папин А. В., Черкасова Т. Г. Оценка качества пека вакуумной перегонки каменноугольной смолы // Уголь. 2024. № 11С. С. 6–9.
18. Kuznetsov B. N., Taran O. P., Kirilets V. M., Cherkasova T. G., Nevedrov A. V., Papin A. V. Development of methods for coal tar extraction purification from α 1-fraction // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2024. Vol. 17(2). Pp. 207–219.

© 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:

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

Папин Андрей Владимирович – 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

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

Заявленный вклад авторов:

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

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

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

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF LABORATORY SAMPLES OF PITCH USED AS A BINDER FOR THE ELECTRODE INDUSTRY

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

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: pav.httt@kuzstu.ru



Article info

Received:

30 December 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

Accepted:

30 January 2025

Published:

12 March 2025

Keywords: coal tar, coal pitch, electrode pitch, distillation, rectification

Abstract.

Coal tar (electrode) is the main, priority binding component for the production of various carbon composites worldwide for many reasons: anode masses, electrodes, structural materials, electric coal products, etc. Coal tar as the main raw material component of these products sets the level of physical and mechanical properties of these products, largely determines their quality. The favorable combination of physico-chemical properties – coke-forming ability and low viscosity in the molten state favorably distinguishes electrode coal pitch from other types of binders used to create carbon composites, on the basis of which a wide range of commercial products is obtained. Every year, the existing demand for coal-fired electrode baking in the world increases by 3-4%, and for high-margin products such as, for example, high-quality carbon fibers, the demand increases by more than 10%. The use of coal raw materials – coal tar, a product of high-temperature coking of coal, to produce coal electrode pitches, compared with other types of hydrocarbon raw materials, provides better quality of the electrode pitch, a larger quantity and a higher product yield. When producing coal electrode pitches from coal tar by high-temperature coking of hard coals, the following aspects are the most significant and influencing the formation of the quality of pitches: 1) the quality of coal tar and, accordingly, the quality of coals going to coking, coking technology, physical wear of coal coking furnaces, coke battery as a whole and related equipment and pipelines); 2) temperature and period of thermal effect on coal tar during distillation into fractions; 3) the composition of the gas medium in the reactor, retort (its inertia); 4) pressure in the reactor or retort. The possibility of obtaining electrode coal pitches from coal tar of PJSC 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 the quality indicators of raw materials for producing electrode products from it in accordance with the requirements of «ГОСТ». It has been established that at 430 °C and at a heating rate of 3 °C/min without isothermal exposure, an electrode coal pitch corresponding to grade B is obtained, which is suitable

for producing a wide range of electrode products.

For citation: Nevedrov A.V., Papin A.V., Bobrova I.V., Makarevich E.A. Investigation of the characteristics of laboratory samples of pitch used as a binder for the electrode industry. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 7(167):94-101. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-94-101, EDN: TNWNAL

REFERENCES

1. Kapustin V.M., Chernysheva E.A. Problems and trends in the development of the modern oil refining and petrochemical complex in Russia. *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Neftegazopererabotka-2010"*. Ufa: GUP "INHP RB"; 2010. Pp. 18–19.
2. 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.
3. Marsh H., Dietz M. Mesophase of graphitized carbons. In collaboration with V.P. Shibaev, Lam L., ed. *Liquid crystal and mesomorphic polymers*. New York: Springer-Verlag New York Inc.; 1994. Pp. 231–257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7.
10. Mochida I., Korai Yu., Ku K. [et al.] Synthesis chemistry, structure, preparation and application of mesophase resin of aromatic origin. *Ugol*. 2000; 2:305–328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1.
11. Hurt R.H., Chen Z.Y. Liquid crystals and carbon materials. *Physics today*. 2000; 53(3):39–44. The utility index: 10.1063/1.883020.
12. Sheshin E.P. Surface structure and autoemission properties of carbon materials. Moscow: MIPT Publishing House «Fizmatkniga»; 2001. 287 p.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Wombles R., Baron J. Laboratory comparison of anodes of Chinese modified resin and vacuum distillation resin. *Light metals*. 2006; 3:535–540.
17. 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.
18. 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.
19. Pityulin I.N. Scientific and technological foundations of the creation of carbonaceous carbonaceous materials for large-sized electrodes. Kharkiv: CPI Contrast; 2004. 480 p.
20. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Coal pitch of atmospheric vacuum distillation of coal tar. *Coal*. 2024; 4:27–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30.
21. Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G. Characteristics of pitch obtained by atmospheric distillation of coal tar. *Ugol*. 2023; S12; 98–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.
22. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Factors influencing the softening temperature of coal pitches. *Ugol*. 2024; 5:38–41.
23. Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G. Evaluation of the pitch quality of vacuum distillation of coal tar. *Coal*. 2024; 11C:6–9.
24. Kuznetsov B.N., Taran O.P., Kirilets V.M., Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Development of methods for extraction purification of coal tar from the α_1 fraction. *Bulletin of the Siberian Federal University. Chemistry*. 2024; 17(2):207–219.

© 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:

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

Andrey V. Papin – C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

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

Evgenya A. Makarevich – C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: evgeniyamakarevich@mail.ru

Contribution of the authors:

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

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

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

Evgeniya A. Makarevich - review of relevant literature, data collection and analysis

All authors have read and approved the final manuscript.

