

УДК 662.62:662.74.022

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ КОКСУЕМОСТИ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ
НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ НЕЛЕТУЧЕГО ОСТАТКА
ОТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ**

**EVALUATION INDICATORS COKING COAL CONCENTRATE
BASED RESEARCH STRENGTH NON-VOLATILE RESIDUE
OF DETERMINING OUTPUT CHEMICAL PRODUCTS OF COKING**

Т.Г.Черкасова, С.П.Субботин, А.В. Неведров, А.В.Папин, Н.Г. Колмаков,
Е.В.Васильева

Черкасова Татьяна Григорьевна,
доктор химических наук, профессор, e-mail: ctg.hntv@kuzstu.ru

Cherkasova Tatyana G., doctor of chemical sciences, professor

Субботин Сергей Павлович ^{1,2}, sybbotin@mail.ru

Subbotin Sergey P. ^{1,c}, C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Неведров Александр Викторович,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: nevedrov1978@rambler.ru

Nevedrov Alexander V., C.Sc. (Engineering) „, associate professor

Папин Андрей Владимирович¹, papinandrey@rambler.ru

PapinAndrey V.¹, C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Колмаков Николай Геннадьевич^{1,2}

Kolmakov Nikolay G.²

Васильева Елена Вячеславовна ¹, kleossa@yandex.ru

Vasileva Elena V.^{1,a}

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, ул Весенняя 28, Кемерово, 650000, Российская Федерация

²ОАО “Кокс”, ул 1-я Стахановская 6,650021, Кемерово, Российская Федерация

¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

²OAO "Koks" Kemerovo, Russian Federation

Аннотация. В современных условиях к числу наиболее острых проблем для коксохимической промышленности относятся ухудшение качества сырьевой базы коксования и дефицит коксующихся углей. Отрицательное влияние ухудшения состояния сырьевой базы на выход и качество продуктов коксования можно компенсировать повышением уровня управления качеством угольных шихт, которое, прежде всего основывается на показателях химико-технологических свойств угля. Поэтому для анализа вышеуказанных параметров необходимо полно использовать потенциал всех имеющихся методов оценки свойств угля. В ходе данной работы определены показатели качества концентратов углей Кузнецкого бассейна и исследованы прочностные свойства нелетучего остатка, полученного при определении выхода химических продуктов коксования. На основании анализа полученных результатов составлены экспериментальные зависимости исследуемых параметров.

Abstract . In modern conditions of one of the most acute problems for the coking industry include deterioration raw material base of coking and coking coal deficit. The negative impact of the deterioration of the state of the raw material base on the yield and quality of coking products can compensate for an increase in the level of quality management of coal charge, which is primarily based on the performance of chemical and technological properties of coal. Therefore, for the analysis of the above settings, you must make full use of the potential of all available properties of coal valuation techniques. In the course of this work to determine the quality indicators of coal concentrates Kuznetsk Basin and studied mechanical properties of non-volatile residue, obtained in determining the output of chemical products of coking. Based on the analysis of the results made up the experimental parameters depending on the test.

Ключевые слова: уголь, выход летучих веществ, химические продукты коксования, нелетучий остаток, прочность нелетучего остатка.

Keywords: coal: volatile substances, chemical products of coking, non-volatile residue, non-volatile residue strength.

Введение

В настоящее время вопросы повышения качества кокса приобретают особую актуальность из-за снижения удельного расхода кокса на выплавку чугуна, увеличения объема доменных печей и внедрения технологических мероприятий для интенсификации процесса доменной плавки. Значение этих проблем еще более усугубляется ухудшением сырьевой базы коксования, связанной с нестабильностью как марочного состава поставляемых углей и угольных концентратов, так и непостоянством показателей их качества. Отрицательный эффект ухудшения марочного состава угольных концентратов можно компенсировать повышением уровня управления качеством угольных шихт, которое прежде всего основывается на показателях химико-технологических свойств сырья [3, 4]. Следовательно, комплексное исследование углей, используемых в процессе коксования, является актуальной задачей.

Материалы и методы

С целью оценки показателей коксаемости угольных концентратов на основе исследования прочности нелетучего остатка от определения выхода химических продуктов коксования на базе кафедры «Химическая технология твердого топлива» Института химических и нефтегазовых технологий Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева совместно со специалистами ОАО «Кокс» (Кемерово) проводились исследования, направленные на изучение выхода химических продуктов коксования из углей Кузнецкого бассейна. Исследования проводились на установке определения выхода химических продуктов коксования по ГОСТ 18635-73 «Угли каменные. Метод определения выхода химических продуктов коксования» [5]. Этот метод отличается точностью, воспроизводимостью и хорошо соотносится с технологическими показателями выхода химических продуктов коксования [6, 7]. В ходе проведения исследований производилось определение выхода основных химических продуктов коксования: кокса, смолы, аммиака, общей влаги и пирогенетической воды, сероводорода, углекислого газа, непредельных углеводородов, сырого бензола и коксового газа. Однако, согласно данному методу, коксовый остаток, полученный в ходе эксперимента, не подвергается дальнейшим исследованием.

На основе анализ литературных данных [8] нами сделан вывод о том, что для определения коксаемости углей возможно использование метода оценки прочности нелетучего остатка, полученного после определения реологических свойств угля по ГОСТ 1186-87 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей» [9]. Опираясь на данную методику, нами бы-

ли проведены исследования прочностных свойств нелетучего (коксового) остатка, полученного при определении выхода химических продуктов коксования.

Следует отметить, что процесс получения нелетучего остатка происходит в строго регламентированном режиме [5]. Однако, в отличие от крупности исследуемой пробы при пластометрическом испытании, составляющей 1,6 мм, для проведения исследований по определению выхода химических продуктов коксования использовались угли с крупностью 0,2 мм.

Прочностные свойства нелетучего остатка исследовали согласно методике, приведенной в [8], с изменениями, учитывающими характер метода его получения. Согласно данной методике полученный нелетучий остаток рассеивали по классам крупности на круглых ситах диаметром 10 и 1 мм. Надрешетный продукт сита 10 мм взвешивали и подвергали механическому испытанию в барабане (используемом при определении спекающих свойств по ГОСТ 9318-91 «Уголь каменный. Метод определения спекающей способности по Рога») [10]. После испытания пробу рассеивали на сите диаметром 1 мм. Отношение массы подрешетного продукта сита 1 мм к массе, загруженной в барабан, представляет собой истираемость королька (IR).

После определения прочности коксового остатка проводился его технический анализ.

Результаты и обсуждение

Результаты технического анализа коксового остатка, его прочностные параметры, а также характеристика исходных углей, из которых он был получен, представлены в табл. 1.

Выход нелетучего остатка зависит от свойств исходного угля, а именно от содержания летучих веществ, определяемого для каменных углей и кокса согласно ГОСТ 6382-2001 при 900 °C (рис. 1). Из анализа представленной зависимости можно заключить, что с ростом выхода летучих веществ в каменных углях выход коксового остатка снижается [11, 12, 13].

Выход нелетучего остатка представляет собой важный параметр оценки качества угля, что подтверждает график, представленный на рис. 2. Из анализа данной зависимости можно сделать вывод, что показатель истираемости нелетучего остатка угля минимален при выходе нелетучего остатка 75 – 81 %. Это соответствует выходу летучих веществ V^{daf} , равному 27 – 37 %, что свидетельствует об оптимальном качестве угольных концентратов, при котором наблюдается улучшение прочностных свойств нелетучего остатка, что согласуется с данными, представленными для коксового остатка после определения реологических свойств угля по ГОСТ 1186-87 [9].

Свойства любого продукта в той или иной степени определяются характеристиками исходного материала, из которого он получается. Пла-

стический слой, образующийся при нагревании угля, представляет собой сложную гетерогенную систему.

Таблица 1. Качественные характеристики углей и коксового остатка определения выхода химических продуктов коксования

Наименование пробы	Марка	V ^{daf} , %	И _{всп} мм	у, мм	R _o , %	V _t %	SIR	RI	Выход кокса, %	ИК, %	A ^d кокса, %	V ^{daf} кокса, %
ЦОФ “Березовская” (“Участок “Коксовый”)	К	21.0	39	13	1.267	54	5	45	83.9	5.8	-	-
ЦОФ “Березовская” (разрез “Сергеевский”)	К	24.0	94	13	1.044	54	5,5	50	79.56	3.6	-	-
ЦОФ “Березовская”	КО+КС	21.8	9	10	1.046	41	2	37	78.26	10.3	-	-
ЦОФ “Березовская”	ГЖ+КО	30.0	89	16	0.806	77	7	71	73.31	12	-	-
ЦОФ “Березовская”	ГЖ+КО+КС	29.5	68	15	0.807	75	4	68	73.67	6.2	-	-
ОФ “Междуреченская”	ОС	19.8	40	12	1.335	51	3	20	82.05	47.2	-	-
ОФ “Антоновская” (1)	ГЖ	33.8	123	19	0.758	86	7.5	71	70.67	18.6	-	-
ОФ “Антоновская”	ГЖФЖ	34.0	132	24	0.79	89	8	76	72.11	25.8	-	-
ОФ “Тайбинская”	К	19.0	44	13	1.155	62	3.5	30	83.43	11.2	11.5	2.8
ОФ “Тайбинская”	ОС	18.8	32	12	1.274	50	3	42	81.4	49.1	-	-
Разрез “Участок “Коксовый”	К	20.4	67	15	1.375	48	6	43	81.15	7.9	9.4	2.4
ОФ “Северная”	К	24.2	37	13	1.064	58	3	45	78.44	5.5	11.1	1.8
ОФ “Коксовая”	К	18.0	44	14	1.434	58	4	41	83.25	9.2	9.5	2.3
Ш. им. Дзержинского	К	21.6	54	14	1.222	25	5	32	79.84	7.3	12.1	2.1
Разрез “Апсатский”	К	26.1	92	17	1.144	64	6.5	65	77.28	13.9	13.1	2.2
Шахта “Бутовская”	КО	20.6	20	12	1.269	50	1	18	79.90	27.6	12.6	2.2
Шахта “Анжеро-Южная”	КО	15.0	7	11	1.311	13	1	16	85.36	34.1	10.8	2.5
Разрез “Участок “Коксовый”	КС	18.9	15	11	1.351	40	1	18	81.51	32.6	7.7	2.0
ОФ “Абашевская”	ГЖ	33.8	127	24	0.787	92	7.5	79	69.31	22.3	10.9	2.1
ОФ “Абашевская”	ГЖ	34.3	119	18	0.79	83	6.5	27	70.08	20.1	11.0	2.6
ОФ “Распадская”	ГЖ	34.2	121	20	0.853	89	7.5	82	72.23	35.8	11.5	2.2
Шахта “Усковская”	ГЖ	33.2	111	17	0.856	82	6.5	75	70.05	24.0	6.9	2.3
Шахта “им. Тихова”	Ж	31.2	149	37	0.931	76	9	80	77.41	13.8	13.6	2.8
ЦОФ “Березовская” (шахта Карагайлинская)	Ж	31.4	134	24	0.828	78	9	78	72.80	32.8	13.6	2.4
ОФ “Антоновская” (2)	ГЖ	37.8	122	19	0.821	86	6.5	-	68.49	20.1	12.6	2.5

В данной таблице ЦОФ – центральная обогатительная фабрика, ОФ – обогатительная фабрика.

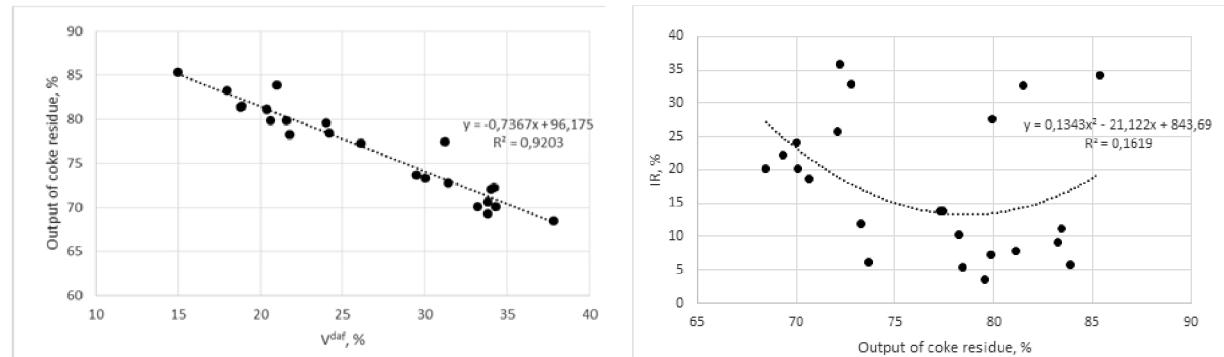


Рисунок 2. Влияние выхода нелетучего остатка от

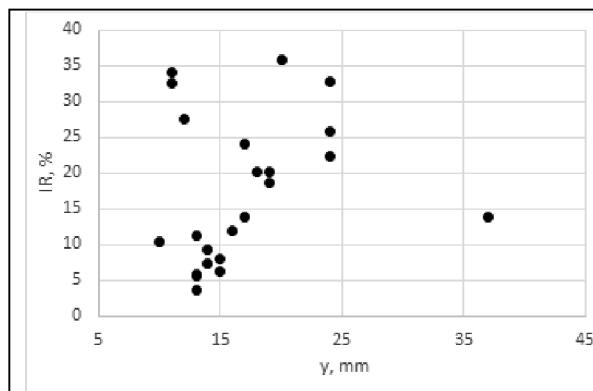


Рисунок 3. Зависимость истираемости коксового остатка от показателя толщины пластического слоя

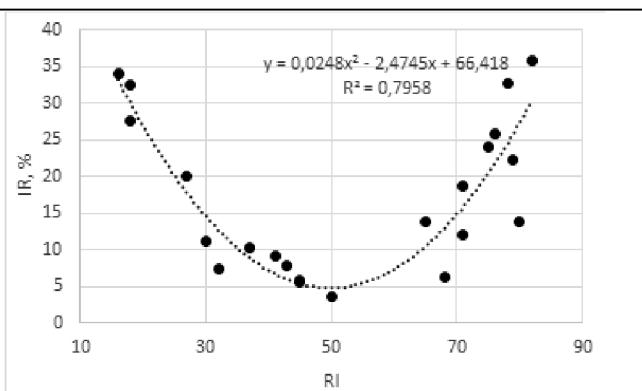


Рисунок 4. Зависимость истираемости коксового остатка от показателя спекающей способности по Рога

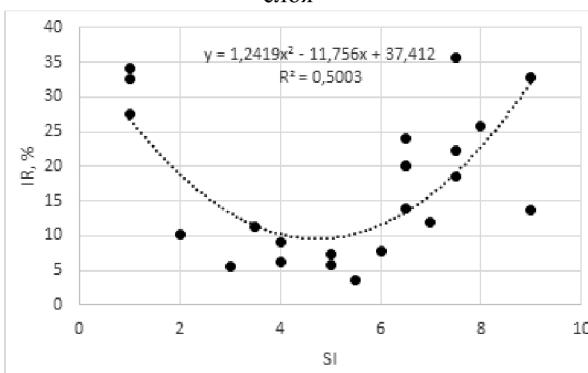


Рисунок 5. Зависимость истираемости коксового остатка от показателя вспучивания в тигле

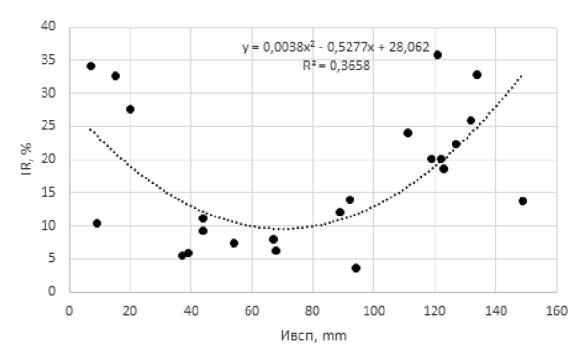


Рисунок 6. Зависимость истираемости коксового остатка IR от индекса вспучивания в приборе ИГИ-ДМетИ

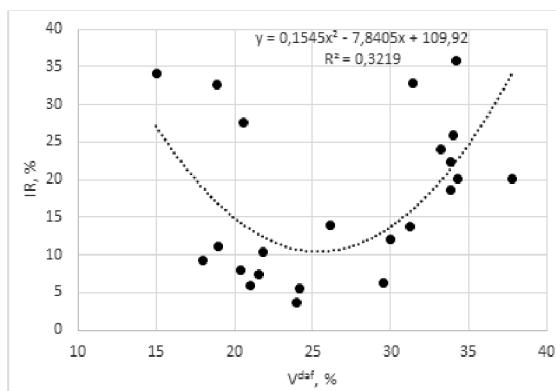


Рисунок 7. Зависимость истираемости коксового остатка от выхода летучих веществ

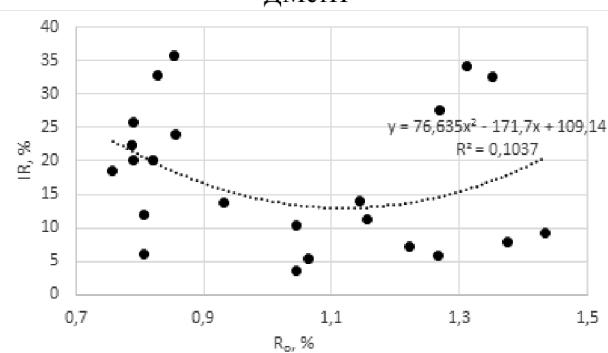


Рисунок 8. Зависимость истираемости нелетучего остатка определения выхода химических продуктов коксования от показателя отражения витринита определения выхода химических продуктов коксования на показатель IR для исследуемых углей

Рисунок 1. Влияние выхода летучих веществ каменных углей на выход коксового остатка

Данная система состоит из макромолекул органического происхождения, перешедших в жидкое состояние, твердых органических и неорганических включений в этой жидкой фазе и газов, выделившихся при нагревании. Увеличение толщины пластического слоя не всегда означает увеличение спекающей способности и тем более кок-

суемости угля [8]. На рис. 3 представлена зависимость показателя прочности коксового остатка IR от толщины пластического слоя.

Как видно из данного графика, корреляции между данными показателями мы не добились. Это может быть связано с недостаточным количеством исследуемых проб угля. Однако, были по-

строены зависимости истираемости коксового остатка от показателя спекающей способности по Рога (рис. 4), показателя вспучивания в тигле (рис. 5) и индекса вспучивания в аппарате ИГИ-ДМетИ (рис. 6), которые показали хорошую корреляцию исследуемых показателей, что еще раз доказывает, что спекаемость является сложным процессом, для изучения которого требуется применять комплекс методов [14-16].

По данным исследователей [8], выделение газов во время спекания королька способствует увеличению его пористости и приводит к снижению прочности. Зависимость показателя истираемости нелетучего остатка IR от V^{daf} представлена на рис. 7.

Наилучшие прочностные характеристики нелетучего остатка получаются при достаточности спекающих свойств и как можно меньшем выходе летучих веществ. Однако в большинстве случаев природа каменных углей такова, что выход летучих веществ и показатели, определяющие их спекаемость, возрастают одновременно. Исключение составляют угли низкой стадии метаморфизма [17, 18, 19]. Из графика на рис. 7 следует, что с повышением выхода летучих веществ до 25 % происходит снижение показателя IR (спекаемость углей возрастает), а при достижении показателем V^{daf} значений более 30 прочностные свойства ухудшаются. В этом диапазоне, как правило, с ростом летучих веществ спекаемость каменных углей снижается [8, 20, 21]. Полученные данные согласуются с данными исследователей [8], полученных для коксового остатка после определения реологических свойств угля по ГОСТ 1186-87 [8].

Также исследователями [8, 22] установлено, что для достижения хороших механических свойств коксового остатка исходные угли или их смесь должны иметь показатель отражения витринита 1,0 – 1,1. Представленная на рис. 8 зависимость истираемости нелетучего остатка от показа-

теля отражения витринита исходного угля или их смеси, подтверждает полученные данные для коксового остатка определения выхода химических продуктов коксования.

Заключение

Зависимости прочности нелетучего остатка определения выхода химических продуктов коксования от различных факторов (выхода летучих веществ, показателя отражения витринита, толщины пластического слоя, показателя свободного вспучивания в тигле, от индекса вспучивания в приборе ИГИ-ДМетИ, показателя спекающей способности по Рога), характеризующих природу исследуемых углей, согласуются с корреляциями, полученными Степановым Е. Н., Мезиным Д. А., Осиповой И. В. [8] для прочности нелетучего остатка определения пластометрических показателей по ГОСТ 1186-87. Поэтому можно сделать вывод, что предлагаемая методика, основанная на оценке качества нелетучего остатка выхода химических продуктов коксования, может применяться для предварительной оценки качества кокса из исследуемых угольных концентратов.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что оценка показателя коксаемости угольных концентратов на основе исследования прочности нелетучего остатка от определения выхода химических продуктов коксования позволяет определить их технологическую ценность [23–25], изучать коксаемость опытных шихт для нахождения их оптимального состава.

Авторы выражают благодарность коллективу ОАО “Кокс” (Кемерово) за оказание помощи и сотрудничество при проведении научных исследований.

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки Российской Федерации №10.782.2014К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева, Е. В. Исследование влияния качественных характеристик концентратов углей Кузнецкого бассейна на выход химических продуктов коксования / Е. В. Васильева, Т. Г. Черкасова // Вестник Кузбасского гос. техн. университета. – 2015. – # 4. – С. 105-111.
- [2] Vasil'eva E.V., Cherkasova T.G., Kolmakov N.G., Subbotin S.P., Koshelev E.A., Nevedrov A.V., Papin A.V.. Predicting the Coke Yield on the Basis of the Yield of Coking Products / *Coke and Chemistry*. – 2015. – Vol. 58. – No. 11. – pp. 419–424.
3. Федорова, Н. И.Химико-технологические свойства коксующихся углей Кузбасса / Н. И. Федорова, А. Н. Заостровский, В. А. Зубакина, З. Р. Исмагилов// Вестник Кузбасского гос. техн. университета. – 2015.- # 5. – С. 121-125.
4. Федорова, Н. И. Оценка качества слабоспекающихся углей Кузбасса / Н. И. Федорова, Б. Г. Трясунов // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2014. – # 4. - С. 93-96.
5. ГОСТ 18635-73. Угли каменные. Метод определения выхода химических продуктов коксования.– Москва: Изд-во стандартов, 2000. – 11 с.
6. Котелец, М. С.К стандартизации лабораторного метода определения выхода химических продуктов коксования / М. С. Котелец, В. Н. Новиков, П. Н. Горелов // Кокс и химия. – 1977. – # 3. – 32-34.
7. Акулов, П. В. Влияние технологических факторов на выход и состав химических продуктов коксования / П. В. Акулов, Н. П. Григорьев, Б. Ф. Колодкин, О. В. Петрова, Г. Н. Макаров, А. П. Бронштейн //

Кокс и химия. – 1972. – № 10. – С. 36-39

8. Степанов, Е. Н. Дифференцированная оценка показателя коксемости угольных концентратов на основе исследования прочности нелетучего остатка угля / Е. Н. Степанов, Д. А. Мезин, И. В. Осипова // Кокс и химия. – 2011. – # 12. – С. 2-7.

9. ГОСТ 1186-87. Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей.– Москва: Изд-во стандартов, 1996. – 11 с.

10. ГОСТ 9318-91. Уголь каменный. Метод определения спекающей способности по Рога.– Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.

11. Макаров Г. Н. Харлампович Г. Д.. Химическая технология твердых горючих ископаемых. Москва: Химия, 1986. – 496 с.

12. Лялюк, В. П. Влияние оптимизации состава угольной шихты на качество кокса / В. П. Лялюк, Д. А. Кассим, И. А. Ляхова, В. П. Соколова // Кокс и химия. – 2012. – # 12. – С. 13-19.

13. Склляр, М. Г. Зависимость выхода продуктов коксования от удельного участия газовых углей в шихте / М. Г. Склляр, В. Я. Цепурит, С. В. Вершинина, Л. П. Светлорусова // Кокс и химия. – 1968. – # 5. – С. 28-31.

14. Грязнов, Н.С. Основы теории коксования. - Москва: Металлургия, 1976. # 312 с.

15. Авгушевич И.В. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей.- М.: НТК “Трек”, 2008. – 367 с.

16. Григоров, А. Б. Спекающие органические добавки в шихту для коксования (Обзор) / А. Б. Григоров, О. И. Зеленский // Кокс и химия. – 2013. – # 7. – С. 27-32.

17. Иванов Е. Б. Технология производства кокса / Е. Б. Иванов, Д. А. Мучник. – Киев: Вища школа, 1978. – 232 с.

18. Степанов, Е. Н. Определение технологической ценности угольных концентратов для коксования / Е. Н. Степанов, Г. В. Ларин, А. Е. Степанова, И. В. Семиохина // Кокс и химия. – 2010. – # 2. – С. 2-7.

19. Киселев Б. П. оценка угольной базы коксования / Б. П. Киселев, А. С. Станкевич// Кокс и химия. – 2006. – # 3. – С. 7-15

20. Золотухин, Ю. А. Оценка технологических свойств сложных по марочному составу и типу углей для коксования / Ю. А. Золотухин, М. И. Стуков, Т. Ф. Красковская // Кокс и химия. – 1996. – # 1. – С. 2-6

21. Золотухин, Ю. А. Улучшение качества кокса на ОАО ММК в условиях ухудшения угольной сырьевой базы коксования России / Ю. А. Золотухин, С. Н. Лахтин, О. А. Шашков, И. И. Мельников// Кокс и химия. – 2011. – # 12. – С. 8-15

22. Попова, Н. К. Еще раз об оптимизации состава угольной шихты / Н. К. Попова, Ю. В. Степанов // Кокс и химия. – 2013. – # 5. – С. 10-12. 23. Золотухин, Ю. А. Петрографические методы исследования углей и шихт и улучшения качества литейного кокса / Ю. А. Золотухин, Г. И. Сулимов// Кокс и химия. – 1990. – # 3. – С. 37-42.

24. Улановский, М. А. Оценка эффективности элементного состава углей в аспекте прогноза выхода продуктов коксования // Кокс и химия. – 2012. – # 3. – С. 2-5

25. Головко, М. Б. Современное состояние вопроса прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования/ М. Б. Головко, Д. В. Мирошниченко, Ю. С. Кафтан // Кокс и химия. – 2011. – # 9. – С. 45-52.

REFERENCES

1. Vasil'eva E. V., Cherkasova T. G. *Vestnik Kuzbasskogo tehnicheskogo universiteta*. 2015. no. 4. pp. 105-111.
2. Vasil'eva E. V., Cherkasova T. G., Subbotin S. P., Nevedrov A. V., Papin A. V., Koshelev E. A., Kolmakov N. G. *Coke and Chemistry*. 2015. Vol. 58. no. 11. pp. 419–424.
3. Fedorova N. I., Zaostrovskij A. N., Zubakina V. A. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*. 2015. no. 5. pp. 121-125.
4. Fedorova N. I., Trjasunov B. G. *Vestnik Kuzbasskogo tehnicheskogo universiteta*. 2014. no. 4. pp. 93-96.
5. GOST 18635-73.Угли каменные. Метод определения выхода химических продуктов коксования [GOST 18635-73.Coals. Method for determining the output of chemical products of coking]. Moscow: Izd-vo standartov. 2000. 11 p.
6. Kotelec M. S., NovikovV. N., Gorelov P. N. *Coke and Chemistry*. 1977. no. 3. pp. 32-34.
7. Akulov P. V., Grigor'ev N. P., Kolodkin B. F., Petrova O. V., Makarov G. N., Bronshtejn A. P. *Coke and Chemistry*. 1972. no. 10. pp. 36-39.
8. Stepanov E. N., Mezin D. A., Osipova I. V. *Coke and Chemistry*. 2011. no. 12. pp. 2-7.
9. GOST 1186-87. Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей [GOST 1186-87. Coals. Method for determination of indicators plastometriceskikh]. Moscow: Izd-vo standartov. 1996. 11 p.
10. GOST 9318-91. Угол каменный. Метод определения спекающей способности по Рога [GOST 9318-

91. Coal. Method for determination of sintering ability to Horn]. Moscow: Izd-vo standartov. 1992. 8 p.
11. Makarov G. N., Harlampovich. G. D. *Himicheskaja tehnologija tverdyh gorjuchih iskopaemyh [Chemical technology of solid fuels]*. Moscow: Himija. 1986. 496 p.
12. Ljaljuk, V. P., Kassim D. A., Ljahova I. A., Sokolova V. P. *Coke and Chemistry*. 2012. no. 12. pp. 13-19.
13. Skljar M. G., Cepurit V. Ja., Vershinina S. V., Svetlorusova L. P. *Coke and Chemistry*. 1968. no. 5. pp. 28-31.
14. Grjaznov N. S. *Osnovy teorii koksovaniya [Fundamentals of the theory of coking]*. M.: Metallurgija. 1976. 312 p.
15. Avgushevich I.V. Standartnye metody ispytanija uglej. Klassifikacija uglej [Standard methods for testing coal. Classification of coals]. Moscow: NTK "Trek". 2008. 367 p.
16. Grigorov A. B., Zelenskij O. I. *Coke and Chemistry*. 2013. no. 7. pp. 27-32
17. Ivanov E. B., Muchnik D. A. *Tehnologija proizvodstva koksa [Technology of production of coke]*. Kiev: Vishha shkola. 1978. 232 p.
18. Stepanov E. N., Larin G. V., Stepanova A. E., Semiohina I. V. *Coke and Chemistry*. 2010. no. 2. pp. 2-7.
19. Kiselev B. P., Stankevich A. S. *Coke and Chemistry*. 2006. no. 3. pp. 7-15.
20. Zolotuhin Ju. A., Stukov M. I., Kraskovskaja T. F. *Coke and Chemistry*. 1996. no. 1. pp. 2-6.
21. ZolotuhinJu. A., Lahtin S. N., Shashkov O. A., Melnikov I. I. *Coke and Chemistry*. 2011. no. 12. pp. 8-15
22. Popova N. K., Stepanov Ju. V. *Coke and Chemistry*. 2013. no. 5. pp. 10-12. 23. Zolotuhin Ju. A., Sulimov G. I. *Coke and Chemistry*. 1990. no. 3. pp. 37-42. 24. Ulanovskij M. A. *Coke and Chemistry*. 2012. no. 3. pp. 2-5.
25. Golovko M. B., Miroshnichenko D. V., Kaftan Ju. S. *Coke and Chemistry*. 2011. no. 9. pp. 45-52.

Поступило в редакцию 26.11.2016
Received 26 November 2016