

*Канд. техн. наук А. В. Сытник
(ГП «УХИН», г. Харьков, Украина)*

Применение метода определения давления распирания углей и шихт как способ продления срока эксплуатации коксовых батарей

Введение

В настоящее время в Украине 65 % действующих коксовых батарей находятся в эксплуатации более 25 лет. Возможный срок службы и эффективность работы коксовых батарей определяется долговечностью огнеупорной кладки простенков и, в отдельных случаях, может превышать 50 лет без капитального ремонта кладки. Данный факт продолжительной службы коксовых батарей зависит от ряда факторов: конструкции батареи, качества используемых огнеупоров, своевременного проведения поддерживающих ремонтов, состава угольной шихты и соблюдения правил эксплуатации батарей. Но есть и другие примеры, когда батареи выводили из эксплуатации из-за критически плохого технического состояния, не отработав и 20 лет [1].

Кладка стен коксовых батарей выполняется из динаса, который обладает высокой огнеупорностью, механической прочностью, теплопроводностью, невысоким термическим расширением при температуре выше 600 °С, что обуславливает его высокую термостойкость при более высокой температуре. Существенным недостатком данного материала является его низкая термостойкость при температуре ниже 600 °С. На износ огнеупорной кладки коксовых печей главным образом влияют механические, физико-химические и термические воздействия, которые являются неотъемлемыми факторами в процессе эксплуатации батарей.

Не вызывает сомнений, что работа батареи на постоянном, правильно выбранном периоде коксования способствует сохранности печей. Каждая коксовая батарея проектировалась под определенно-постоянный состав угольной шихты. Для условий работы на проектной шихте разработчиками проводился расчет устойчивости простенка для каждой батареи в зависимости от ее геометрических размеров. В итоге величина нагрузки на простенок не должна превышать 7 кПа [2]. Это ограничивает

использование шихт с большими значениями по давлению распираания. В целом, стабильная работа батареи на проектом периоде коксования способствует не только лучшей равномерности качественных характеристик получаемого кокса, но и хорошей заграфиченности огнеупорной кладки простенков, облегчении ее обслуживания, что является залогом обеспечения сохранности огнеупорной кладки коксовых печей и продления срока их службы. Особенно важно это для коксовых батарей с большим сроком эксплуатации, т. е. сильно изношенных. Ремонты огнеупорной кладки печей сопряжены с большими техническими трудностями, связаны с потерей производства кокса, большими финансовыми расходами.

Так как большинство коксовых батарей исчерпали нормативный срок эксплуатации, в данной статье основное внимание будет уделено давлению распираания шихты в процессе коксования [2] как основному фактору, влияющему на своевременный отход коксового пирога от греющих стен камер коксования, что создает условия для повышенного ампеража выдачи печей.

При наличии серьезных повреждений кладки — сколов, «подрезов», раковин на различную глубину, выступающих в камеру коксования отдельных кирпичей или групп кирпичей, деформации стен (выпуклости или вогнутости), сужения камер на коксовой стороне, сужения камер кверху, ошлаковывания, стертости подовых кирпичей и других повреждений — повышенное давление распираания шихты приводит к бурению печей при выдаче. Избыточное, неравномерное по толщине отложение стенового «графита» также создает механическое сопротивление при выдаче коксового пирога, способствуя тем самым тугому ходу или его бурению. Как показывает практика, тугой ход или бурение коксового пирога повторяется, как правило, на одних и тех же печах, наиболее поврежденных. Также при высоком давлении распираания шихты, развиваемом в процессе коксования, могут происходить массовые бурения печей, причем до тех пор, пока не будет опорожнена угольная башня для заполнения ее новой, менее распирающей шихтой.

Экспериментальная часть

Учитывая неудовлетворительное состояние батарей, возникла настоятельная необходимость установления индивидуальных, критериальных уровней давления распираания шихт для коксовых батарей. Вначале были определены давления

распираания всех углей сырьевой базы коксования. Исследования проводили на унифицированной лабораторной установке УХИНа (рисунок), согласно ДСТУ 8724:2017 «Вугілля кам'яне та шихти на його основі. Метод визначення тиску розпирання, який виникає під час коксування». Конструкция печи позволяет определять давление распираания как насыпной, так и трамбованной угольной загрузки [3]. При определении давления распираания углей или шихт, загруженных насыпью, их насыпная плотность составляет $0,8 \text{ кг/дм}^3$ ($0,72 \text{ кг/дм}^3$ на сухую массу), влажность — 10 %. Данные параметры соответствуют промышленным условиям. При исследовании отдельных угольных концентратов уровень их измельчения соответствует измельчению производственной шихты — 77—80 % содержания класса меньше 3 мм.

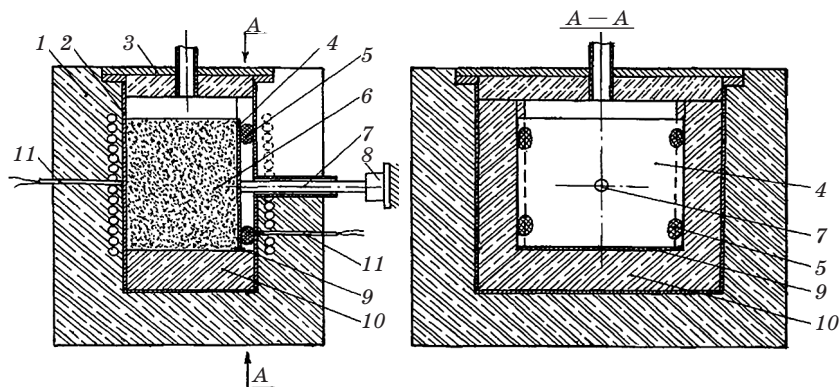


Рис. Унифицированная установка для определения давления распираания коксуемой угольной загрузки:

1 — электропечь; 2 — стальная реторта; 3 — крышка с газоотводным патрубком; 4 — стальная пластинка; 5 — эластичная вставка; 6 — угольная загрузка; 7 — кварцевый стержень; 8 — датчик давления; 9 — асбестовая подкладка; 10 — термоизоляция; 11 — термопара

Методика проведения исследований давления распираания насыпной загрузки следующая. Угольная загрузка массой 600 г помещается в стальную реторту, днище которой, а также боковые стенки изолированы ультралегковесным шамотом. Наличие такой изоляции препятствует искажению теплового потока, направляемого в угольную загрузку перпендикулярно боковым его граням. Толщина металла, из которого выполнены реторты, — 4 мм, что не составляет большого температурного сопротивления при нагреве угольной загрузки и в то же время обеспечивает не-

обходимую прочность реторты. Незначительная толщина, а также масса боковых стенок реторты позволяют быстро достичь температуры греющих стенок электропечи, которая в опытах составляет 880—700 °С. При такой температуре передача тепла к коксуемой загрузке, как и в промышленной камере коксования, происходит, главным образом, за счет излучения.

Размеры насыпной угольной загрузки в реторте составляют, мм: длина — 100, высота — 100, ширина — 90. Эти размеры определяются полезным объемом камеры реторты 2 и расстоянием между стальной пластинкой 4 и передней стенкой реторты. Толщина стальной пластинки 4, в которую упирается кварцевый стержень 7, передающий давление (распираания) на датчик давления 8, составляет 3 мм. Такая толщина достаточна для обеспечения необходимой жесткости пластинки при температуре 880 °С.

Для достижения в реторте насыпной плотности 0,8 кг/дм³ угольной загрузки влажностью 10 % необходимо некоторое ее механическое уплотнение, которое достигается путем вибрации — мягкими ударами днища реторты о массивную поверхность. При этом достигается наибольшая равномерность насыпной плотности в массиве угольной загрузки, что является весьма важным условием при определении давления распираания. При загрузке и уплотнении испытуемого угля (шихты) пластинка жестко фиксируется специальным шаблоном и тем самым выдерживается постоянный объем рабочей камеры. После загрузки шихты (угля) в реторту шаблон извлекается, а между пластинкой и передней стенкой реторты устанавливаются эластичные бумажные вставки, препятствующие изменению места расположения пластинки (тем самым изменению насыпной плотности угольной засыпи) при закреплении крышки реторты и загрузке ее в электропечь. Вставки представляют собой неплотные комочки бумаги, которые при установке реторты в печь быстро сгорают, а пластинка удерживается в исходном положении только кварцевым стержнем 7, который располагается между пластинкой и датчиком давления 8. Для исключения зазоров в системе пластинка—стержень—датчик давления последний поджимают к стержню с усилием 0,1—0,2 кПа, которое принимается за нулевое показание, а затем учитывается в конечной величине давления распираания. В качестве датчика давления используется автоматический датчик типа GEFRA 40И 96 (Италия).

В процессе коксования образующиеся летучие продукты коксования эвакуируются из реторты через патрубок в крышке 3.

Продолжительность процесса от установления реторты в печь до достижения максимального давления распираия для разных углей и шихт находится в пределах 1,0—1,5 ч.

Уровни давления распираия, получаемые в данной печи, соответствуют их значениям, получаемым в полупромышленной 300-кг печи, в которой практически полностью моделируется промышленный процесс коксования.

Результаты и их обсуждение

Результаты определения давления распираия отдельных угольных концентратов с их характеристикой, используемых в последний период на заводах Украины, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения давления распираия угольных концентратов

№	Название угля (страна)	Марка [*]	Технический анализ, % **)				Средний показатель отбражения витрина R_0 , %	Пластометрические показатели, мм ^{***}		Давление распираия P , кПа
			Зольность A^d	Выход летучих веществ V^d	Выход летучих веществ V^{daf}	Сернистость S^d		Усадка x	Толщина пластического слоя y	
1	Талдинский УР (РФ)	Г	6,5	34,3	36,6	0,47	0,63	44	10	3,5
2	Ш. Усковская (РФ)	ГЖ	9,6	34,7	38,4	0,44	0,74	35	13	3,7
3	Разрез Талдинский-Западный (РФ)	ГЖО	6,7	34,4	36,9	0,43	0,67	44	9	2,1
4	Велмор ВЛК (США)	Ж	7,5	30,7	33,1	1,16	0,95	31	20	5,0
5	Энерджи Оператионс (США)	Ж	6,8	29,9	32,0	0,83	0,96	27	21	4,4
6	Ромако (США)	Ж	7,7	30,3	33,1	0,91	0,94	28	20	5,2
7	Картер Роар (США)	Ж	9,1	28,1	30,9	1,21	1,01	21	21	6,5

№	Название угля (страна)	Марка ^{*)}	Технический анализ, % **)				Средний показатель отложения витритита R_0 , %	Пластометрические показатели, мм ^{***)}		Давление расприраия P , кПа
			Зольность A^d	Выход летучих веществ V^d	Выход летучих веществ V^{daf}	Сернистость S^d		Усадка x	Толщина пластического слоя y	
8	Томс Крик ВЛК (США)	Ж	8,3	28,0	30,6	0,95	0,96	19	20	5,8
9	ОФ Свято-Варваринская (Украина)	К	8,9	23,6	25,9	0,71	1,22	18	15	18,4
10	Пик Доунс (США)	К	11,4	21,6	24,4	0,57	1,18	32	15	8,9
11	Блу Крик (США)	К	10,1	20,6	22,9	0,82	1,35	12	18	12,7
12	Покахонтас (США)	ОС	8,1	16,8	18,2	0,81	1,54	14	12	29,8
13	Разрез «Краснобродский» (РФ)	КС	6,0	19,4	21,8	0,51	1,10	25	6	1,9

^{*)} Г — газовые, ГЖ — газовые жирные, ГЖО — газовые жирные отощённые, Ж — жирные, К — коксовые; ОС — отощённо-спекающиеся, КС — коксовые слабоспекающиеся.

^{**)} Верхний индекс (d) — сухое состояние угля, не содержащего влаги (кроме гидратной); (daf) — сухое беззольное состояние угля, не содержащего влаги и золы.

^{***)} Пластометрические показатели по Сапожникову ГОСТ 1186—87 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей».

В табл. 2 приведены результаты исследований производственных шихт.

Практический опыт определения величины давления расприраия углей позволяет сделать вывод, что невысокое давление расприраия проявляют угольные концентраты марок Г, ГЖО и КС. Это объясняется пониженной вязкостью пластического слоя, малым температурным и временным интервалами пластичности. Структура пластической массы этих углей в слое такова, что в ней имеются сквозные поры для эвакуации образующихся парогазовых продуктов деструкции. Поэтому они не могут накапливаться в большом количестве в пластическом слое и, соответственно, развивать большое давление расприраия.

Таблица 2

Результаты определения давления расpiration производственной шихты

№	Марка, содержание в шихте, %	Технический анализ, % ^{*)}				Средний показатель отражения витринита R_0 , %	Индекс основности золы I_0	Толщина пластического слоя y , мм	Давление расpiration P , кПа
		Рабочая влага W_r	Зольность A^d	Выход летучих веществ V^{daf}	Сернистость S^d				
1	Г — 30,0; Ж — 32,0; К — 31,8; ОС — 6,2	10,0	7,9	31,5	0,67	1,0	2,4	16,0	5,7
2	Г — 25,8; Ж — 25,0; К — 40,0; ОС — 9,2	10,0	7,7	30,0	0,68	1,0	2,1	16,0	8,4
3	Г — 25,9; Ж — 30,7; К — 38,4; ОС — 6,2	10,0	8,3	31,2	0,61	1,0	2,3	15,0	6,5
4	Г — 25,0; Ж — 39,4; К — 27,6; ОС — 8,0	10,0	8,4	31,0	0,79	1,0	2,3	16,0	4,6

^{*)} Верхний индекс (d) — сухое состояние угля, не содержащего влаги (кроме гидратной); (daf) — сухое беззольное состояние угля, не содержащего влаги и золы.

При коксовании жирных углей образуется наибольший по сравнению с другими углями пластический слой. Температурный и временной интервалы пластичности слоя также наибольшие. Такой слой очень однороден и высокотекучий, что не позволяет задерживаться в нем парогазовым продуктам. Поэтому жирные угли не развивают высокого давления расpiration при самостоятельном коксовании. Пластическая масса коксовых углей отличается более высокой вязкостью, чем жирных, но также весьма однородна. Благодаря этому в пластической массе происходит накопление большого количества парогазовых продуктов, вследствие чего развивается большое давление расpiration [4—8].

Заключение

1. Выполненные на унифицированной лабораторной установке ГП «УХИН» исследования давления расpiration индивидуальных углей позволили классифицировать их по уровню давления расpiration:

— слабодиспазіруючыя з даўленнем дыспазіравання менш за 4,0 кПа
углі газовай групы Г, ГЖО, КС;

— сільнадыспазіруючыя з даўленнем дыспазіравання больш за 7,0 кПа
углі марак К і ОС, з толчыняй пластычнага слоя $y > 10$ мм;

— углі з прамежуточным даўленнем дыспазіравання 4,0—
7,0 кПа, углі маркі Ж, ісклучэнне могуць складаць углі гэтай
маркі, імпартуемыя з США ці іншых краін.

2. Коксаванне насыпных шыхт з нізкім зместам газавых углей (менш за 20 %) неабходна прыводзіць да развіцця
опасных велічын дыспазіравання. Улічваючы тэрмін эксплуатацыі
батэрэй больш за 30 гадоў, нарматыўная велічыня 7,0 кПа для
іх з'яўляецца небяспечнай, т. ё. для працягнення тэрміну службы
даных батэрэй неабходна выкарыстоўваць шыхты з велічыняй дыспазіравання
менш за 7,0 кПа.

3. З вынікаў лабараторных даследаванняў вынікае, што
змяненне дыспазіравання ў сумішчах не падпарадкоўваецца правілу
аддытыўнасці, т. к. велічыня дыспазіравання ўзалежвае ад
камплексу генетычных (петраграфічнага складу углей) і тэхналагічных
(V^{daf} , x , y) уласцівасцей углей, а таксама ўласцівасцямі
пластычнай масы (вязкасць, аднароднасць, газопропуская здольнасць і
г. д.). Пры гэтым парная карэляцыйная сувязь дыспазіравання з
аддзеленымі характэрыстыкамі ўласцівасцей углей ў асноўным
адсутствуе.

4. У наш час усе углі і шыхты на іх аснове, якія выкарыстоўваюцца
для коксавання на коксохімічных заводах Украіны, праходзяць
пярэварыцельную апрабаванне на уніфіцыраванай лабараторнай
устаноўцы ГП «УХІН». Гэта дазваляе выправіць шыхту такім
образам, каб развіваемае значэнне дыспазіравання не перавышала
нарматыўнае, што, несумнінна, спрыяе захаванню якасці
кладкі агнеупораў і працягненню тэрміну службы коксавых
батэрэй.

Бібліяграфічны спіс

1. Перекладка, горячие ремонты коксовых батарей № 1.2 на КХП ПАО «АР-
СЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ» / А. Л. Фидчунов, И. В. Шульга, И. В. Романюк
и др. *Угলেখімічны журнал*. 2006. № 3. С. 18—26.

2. Гагарин С. Г. Механизм генерации давления в печи коксования углей
(Обзор). *Кокс и химия*. 2011. № 6. С. 11—21.

3. Кузниченко В. М., Шульга И. В., Сытник А. В. Лабораторный способ опре-
деления давления распыления коксуемой угольной загрузки различной насыпной
плотности. *Угলেখімічны журнал*. 2007. № 3—4. С. 29—33.

4. Сытник А. В., Кузниченко В. М., Шульга И. В. Давление распыления при
коксовании бинарных смесей углей насыпным методом. *Угলেখімічны журнал*.
2011. № 1—2. С. 41—48.

5. Сытник А. В., Кузниченко В. М., Шульга И. В. Влияние технологических факторов на давление расpirания насыпной и трамбованной угольной загрузки. *Кокс и химия*. 2012. № 2. С. 15—21.

6. Сытник А. В., Кузниченко В. М., Мирошниченко Д. В. Давление расpirания углей различных генетических и технологических свойств. *Кокс и химия*. 2011. № 1. С. 2—5.

7. Разработка марочных составов шихт ПАО «Запорожжкокс» с учетом их давления расpirания / В. М. Кузниченко, А. В. Сытник, А. С. Гайдаенко и др. *Кокс и химия*. 2014. № 4. С. 10—15.

8. Разработка критериальных уровней давления расpirания угольных шихт для коксовых батарей ПАО «АКХЗ» / А. А. Пастернак, Н. П. Скрипченко, А. В. Сытник и др. *Углехимический журнал*. 2013. № 5. С. 52—56.

References (transliterated):

1. Fidchunov A. L., Shulga I. V., Romanyuk I. V., Sikan I. I., Skripiy Yu. N., Chervanov V. S., Goncharov V. I., Dyachuk Ya. I., Mukina N. V. Perekladka, goryachie remonty koksovih batey No. 1.2 na KHP PAO "ARSELORMITTAL KRIVOY ROG" [Relocation, hot repairs of coke oven batteries No. 1.2 at KHP PJSC "ARSELORMITTAL KRIVOY ROG"]. *Uglehimicheskiy zhurnal* [Coal Chemical Journal]. 2006, no. 3, pp. 18—26 (in Russian).

2. Gagarin S. G. Mehanizm generatsii davleniya v pechi koksovaniya ugley (Obzor) [The mechanism of pressure generation in a coal coking oven (Overview)]. *Koks i himiya* [Coke and Chemistry]. 2011, no. 6, pp. 11—21 (in Russian).

3. Kuznichenko V. M., Shulga I. V., Syitnik A. V. Laboratorniy sposob opredeleniya davleniya raspiraniya koksuemoy ugolnoy zagruzki razlichnoy nasyipnoy plotnosti [Laboratory method for determining the burst pressure of a coking coal charge of various bulk densities]. *Uglehimicheskiy zhurnal* [Coal Chemical Journal]. 2007, no. 3—4, pp. 29—33 (in Russian).

4. Syitnik A. V., Kuznichenko V. M., Shulga I. V. Davlenie raspiraniya pri koksovani binarnyih smesey ugley nasyipnyim metodom [Burst pressure during coking of binary coal mixtures by bulk method]. *Uglehimicheskiy zhurnal* [Coal Chemical Journal]. 2011, no. 1—2, pp. 41—48 (in Russian).

5. Syitnik A. V., Kuznichenko V. M., Shulga I. V. Vliyanie tehnologicheskikh faktorov na davlenie raspiraniya nasyipnoy i trambovannoy ugolnoy zagruzki [The influence of technological factors on the burst pressure of bulk and rammed coal loading]. *Koks i himiya* [Coke and Chemistry]. 2012, no. 2, pp. 15—21 (in Russian).

6. Syitnik A. V., Kuznichenko V. M., Miroshnichenko D. V. Davlenie raspiraniya ugley razlichnyih geneticheskikh i tehnologicheskikh svoystv [The bursting pressure of coals of various genetic and technological properties]. *Koks i himiya* [Coke and Chemistry]. 2011, no. 1, pp. 2—5 (in Russian).

7. Kuznichenko V. M., Syitnik A. V., Gaydaenko A. S. et al. Razrabotka marochnyih sostavov shiht PAO "Zaporozhkoks" s uchetom ih davleniya raspiraniya [Development of branded compositions of the branch of PJSC "Zaporozhkoks" taking into account their burst pressure]. *Koks i himiya* [Coke and Chemistry]. 2014, no. 4, pp. 10—15 (in Russian).

8. Pasternak A. A., Skripchenko N. P., Syitnik A. V., Kuznichenko V. M., Shulga I. V. Razrabotka kriterialnyih urovney davleniya raspiraniya ugolnyih shiht dlya koksovyih batey PAO "AKHZ" [Development of criteria for the bursting pressure of coal blends for coke oven batteries of PJSC "AKKhZ"]. *Uglehimicheskiy zhurnal* [Coal Chemical Journal]. 2013, no. 5, pp. 52—56 (in Russian).

Рецензент канд. техн. наук. Хончик И. В.