

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,
Д.А. КАССИМ, И.А. ЛЯХОВА, В.П. СОКОЛОВА, кандидаты техн. наук, доц.,
КМИ ГВУЗ “Криворожский национальный университет”

КАЧЕСТВО КОКСА И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ

Предложена методика определения показателя $K_{\text{опт}}(V_t)$, позволяющего осуществлять как оперативную оценку оптимальности состава коксуемой угольной шихты, так и прогнозировать механическую прочность кокса.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Одними из основных направлений и способов повышения качества кокса является оптимизация марочного состава и свойств угольной шихты, которые определяют физико-механические свойства кокса. При постоянстве технологии подготовки угольной шихты и температурных режимов коксования единственным инструментом, имеющимся у специалистов коксохимического передела и позволяющим управлять прочностью кокса, является состав и качество угольной шихты [1]. Состав угольной шихты и колебания ее качества на 70-80 % определяют прочность кокса. В связи с этим в практике работы коксохимических предприятий для улучшения качества кокса основное внимание уделяют угольной сырьевой базе коксования, а именно оптимизации состава и качества шихты [2].

Анализ исследований и публикаций. В СССР оптимальные составы угольных шихт для конкретных коксохимических предприятий разрабатывали, и при необходимости, корректировали специалисты отраслевых институтов ВУХИН и УХИН. Так опыт работы коксохимических заводов Украины и исследования УХИН в 1969-1970 гг. в области совершенствования технологии производства кокса показывали, что оптимальной шихтой был следующий марочный ее состав: Г 32, Ж 35, К 15, ОС 15, Т 3 [3].

В статье [4], опубликованной в 2000 году, авторы отмечают, что существующая классическая технология слоевого коксования обеспечивает производство кокса из донецких углей с показателями прочности M_{25} 90 % и истираемости M_{10} 6 %. При этом шихта для коксования должна быть следующего состава, %: Г 25-30; Ж 35-40; К 15-20; ОС 15-20; при суммарном содержании жирных и коксовых углей 50 %. Толщина пластического слоя такой угольной шихты должна быть не менее 16 мм, выход летучих веществ не более 28 %, содержание класса 0-3 мм 75-80 %.

В период 2004-2006 гг. на коксохимических предприятиях Украины коксовали шихты со средней массовой долей углей Донбасса 68-73 % и марочным составом: Г 21; Ж 25-26; К 22-26; ОС 1,8-2,2 %. Массовая доля импортируемых углей из России была в среднем 27-32 %. При производстве кокса только из углей Донецкого бассейна оптимальным считали следующий марочный состав шихты, %: Г 32; Ж 35; К 18; ОС 15, коксование которой обычным слоевым методом обеспечивало получение прочного кокса (M_{25} 88-90 % и M_{10} 6,0-6,5) [5].

Авторы работы [6] предложили определиться с критериями оптимальности угольной шихты с точки зрения получения кокса максимально возможной прочности. Критерии оптимальности угольных шихт распространяются как на марочный состав, так и на свойства угольных шихт. Они находятся в тесной взаимосвязи и не исключают, а дополняют друг друга. Оптимальность марочного состава определяется тем, какое сырье используется в качестве спекающей основы шихты. Оптимальный марочный состав шихты для коксования из Кузнецких углей, на которых работали практически все коксохимические предприятия России в то время (до 2000 года) выглядел следующим, %: ГЖ 20-25; Ж 25-20; ОС+К+КО 35-40; КС 20-15.

Авторы работы [6] также отмечают, что критерии оптимальности распространяются и на ряд показателей свойств шихты. Оптимальная шихта независимо от присутствия в ней того или иного угольного сырья должна соответствовать следующим показателям: $V^d \geq 25$ % (что в пересчете на V^{daf} составляет 27-27,8 %); $y \geq 15$ мм; $R_{o,n} \geq 1,12$ %; $V_t > 60$ % (на безминеральную массу). Этой точки зрения придерживаются и авторы работы [7], которые отмечают, что указанные оптимальные значения свойств являются единственными для любых шихт, независимо от бассейнового сырья.

Авторы работы [6] делят шихту на группы: спекающую основу (Ж+ГЖ+КЖ), коксовую присадку (ОС+К+КО), отошающую присадку (КС+КСН), слабоспекающиеся (Г+ГЖО+ТС) и некоксуемые (Д+ДГ+СС+Т). Согласно их расчетам оптимальное содержание спекающей основы угольной шихты для Череповецкого металлургического комбината колебалось в диапазоне 48-49,7 %, коксовой присадки 34-36 % и отошающей присадки 15,8-16,4 %.

Нарушение критериев оптимальности стало проявлять себя с наступлением дефицита углей коксовой группы (ОС+К+КО), представляющих сырье с пониженным выходом летучих веществ и повышенной коксуемостью [7]. Сегодня угольная сырьевая база и шихта России по критериям оптимальности марочного состава не соответствует требованиям производства высококачественного по прочности кокса из-за дефицита коксовой основы [8].

При делении шихты на спекающие и отошающие компоненты авторы работы [9] оптимизацию ее состава производят по их соотношению, %: 43:57 (средние), содержанию коксовых углей 37 % в отошающих компонентах, содержанию углей марки Ж 23 % в спекающей части. Исходя из этого, для оценки оптимальности состава угольных шихт предложен обобщающий показатель – коэффициент оптимальности $K_{\text{опт}}$, который они предлагают считать мерой приближения производственного марочного состава угольной шихты к базовому оптимальному. Данный показатель рассчитывается как произведение коэффициентов оптимальности по трем параметрам [9]

$$K_{\text{опт}} = 100(K_c \cdot K_k \cdot K_{\text{ж}}), \%$$

где K_c - коэффициент оптимальности соотношения спекающих и отошающих компонентов $K_c = [100 - (\Sigma\text{СК} - 43) \cdot 2] / 100$; K_k - коэффициент оптимальности содержания в шихте коксовых углей $K_k = [100 - (\Sigma\text{К} - 37)] / 100$; $K_{\text{ж}}$ - коэффициент оптимальности содержания в шихте жирных углей $K_{\text{ж}} = [100 - (\Sigma\text{Ж} - 23)] / 100$.

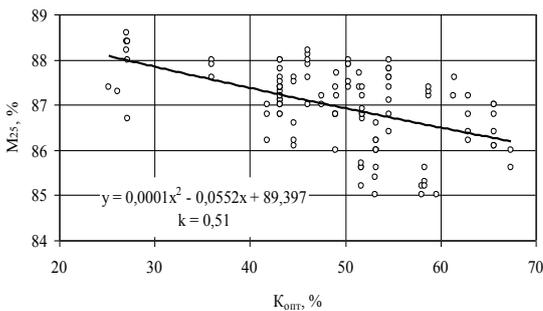
В приведенных формулах K_c , K_k и $K_{\text{ж}}$ подсчитывается абсолютная величина разности между фактическим и оптимальным содержанием без учета знаков \pm . Из формулы $K_{\text{опт}}$ следует, что шихта оптимизирована на 100 % лишь в идеальном случае, когда каждый из коэффициентов K_c , K_k и $K_{\text{ж}}$ равен 1, т.е. шихта оптимизирована по всем трем параметрам. В работе [9] установлено, что чем выше значение $K_{\text{опт}}$ тем прочнее кокс, показатели M_{40} и M_{25} растут. Также отмечается, что предлагаемый показатель $K_{\text{опт}}$ позволяет осуществлять как оперативную оценку оптимальности состава коксуемой угольной шихты, так и в ретроспективе, а также прогнозировать механическую прочность кокса.

В работе [5] также использовали для оценки оптимальности состава угольной шихты коксохимических предприятий Украины коэффициент $K_{\text{опт}}$, принимая во внимание высказывание авторов работы [9], что этим коэффициентом можно объективно оценить состояние сырьевой базы коксования как в целом по России, так и различных коксохимических предприятий. В связи с этим в уравнениях определения коэффициентов K_c , K_k и $K_{\text{ж}}$ были оставлены значения 43, 37 и 23, как оптимальные, и для коксохимических предприятий Украины. Выполненный анализ для коксохимических предприятий Украины за период 2004-2006 гг. показал, что изменение коэффициента $K_{\text{опт}}$ по годам свидетельствует об ухудшении состояния сырьевой базы коксования в целом для заводов Украины. Так, в 2004 году $K_{\text{опт}} = 77,4 \%$, в 2005 году $K_{\text{опт}} = 73 \%$, а в 2006 году $K_{\text{опт}} = 66,9 \%$. Это обусловлено, главным образом, снижением величины коэффициента K_c , т.е. возрастанием дефицита углей спекающей основы шихты. Авторы также установили, что с ростом коэффициента $K_{\text{опт}}$ в коксе снижается показатель M_{10} и растет M_{25} , т.е. качество кокса улучшается. Подытоживая свои исследования, авторы работы [5] делают вывод, что коэффициент $K_{\text{опт}}$ представляет собой объективную количественную характеристику оптимальности марочного состава шихты как в целом по Украине, так и по отдельным цехам и заводам.

Постановка задачи. Используя методику определения коэффициента $K_{\text{опт}}$ и его компонентов, определим их значения по результатам работы коксохимических предприятий Украины в 2010 и 2011 гг. В уравнениях определения коэффициентов K_c , K_k и $K_{\text{ж}}$ оставим принятые в работах [5 и 9] коэффициенты 43, 37 и 23 как оптимальные. Результаты расчетов показали, что средний показатель $K_{\text{опт}}$ для коксохимических предприятий Украины в сравнении с 2004-2006 гг. продолжал снижаться до 49,7 % в 2010 г. и до 43,6 % в 2011 г. Кроме того, высокое значение $K_{\text{опт}}$ не всегда соответствует показателям наиболее прочного кокса. Указанное несоответствие взаимосвязи улучшения качества кокса с ростом коэффициента оптимальности иллюстрирует зависимость между показателями

M_{25} от $K_{\text{опт}}$ украинских коксохимических предприятий за 2010-2011 гг., приведенная на рис. 1.

Рис. 1. Взаимосвязь между показателями $K_{\text{опт}}$ и M_{25} украинских коксохимических предприятий в 2010-2011 годах



Анализ изменения коэффициента оптимальности угольной шихты на КХП ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” с учетом данных, приведенных в работе [5], также свидетельствует о низком уровне оптимизации марочного состава угольной шихты и нестабильности сырьевой базы коксования предприятия. Так, если в 2004 году $K_{\text{опт}} = 63,4 \%$, а в 2005 = 53,7 %, то в 2010 году $K_{\text{опт}} = 67,9 \%$, а в 2011 году произошло довольно резкое снижение $K_{\text{опт}}$ до 38,5 %.

По суточным данным о работе КХП “АрселорМиттал Кривой Рог” за 2011 год нами был определен коэффициент оптимальности $K_{\text{опт}}$ по методике, изложенной в работе [9], с учетом предложенных оптимальных значений коэффициентов 43, 37 и 23 при расчете значений K_c , K_k и $K_{\text{ж}}$, соответственно, и проанализировано влияние данного показателя на механическую прочность кокса КХП по показателю M_{25} (рис. 2).

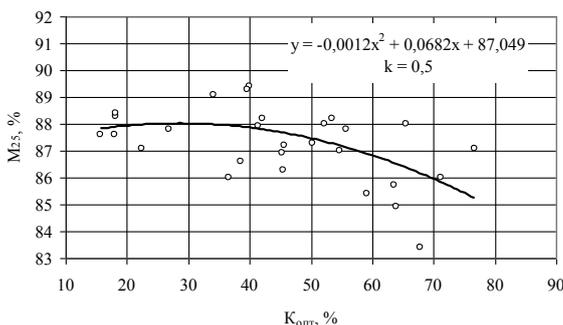


Рис. 2. Зависимость механической прочности кокса от коэффициента оптимальности

Как видно из рисунка, для условий работы КХП в 2011 г., также получена обратная зависимость, т.е. с увеличением $K_{\text{опт}}$ показатель прочности кокса M_{25} не увеличивается, а снижается. По нашему мнению такое различие полученных результатов и данных, приведенных в работах [5,9], может быть обусловлено, во-первых, тем, что ряд концентратов отдельных углеобогачительных фабрик, маркируемых в удостоверении как уголь одной марки, фактически являются смесью углей различных марок. Во-вторых, тем, что для конкретных условий работы коксохимического завода необходимо определять оптимальный марочный состав шихты ориентируясь, при этом, на максимальные значения показателей качества полученного на предприятии кокса.

необходимо определять оптимальный марочный состав шихты ориентируясь, при этом, на максимальные значения показателей качества полученного на предприятии кокса.

Изложение результатов исследований. В течение 2011 г. на коксохимическое производство “АрселорМиттал Кривой Рог” поступали угольные концентраты разных поставщиков Украины, России, Казахстана и дальнего зарубежья (корпорации “АрселорМиттал”). Так как спекаемость коксующихся углей по толщине пластического слоя (y) исследователи дальнего зарубежья (кроме индийских) не определяют, то в качестве классификационного показателя при установлении соответствия марочной принадлежности американских концентратов в соответствии с ДСТУ 3472:2010 “Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация” был выбран выход летучих веществ (V^{daf} , %). Сертификатные значения выхода летучих веществ марок импортных углей имели следующие значения V^{daf} , %: MV Blend - 29,0; Shoal Creek - 26,5-29,0; Clear Creek - 28,0; Mechel Creek - 29,0; Toms Run, Xcoal - 29,0; HV INR - 35; HV Blend - 35,5; High Volatile Fluid Cjal - 35,0. Следовательно марки импортных углей группы HV отвечают украинским углям марок ДГ и Г, а все остальные рассмотренные марки - углям марок К и Ж.

В связи с тем, что фактический состав шихты радикально отличается от того, который дается в задании на дозировку входящих в нее компонентов, большое значение имеет правильное определение и подбор марочного состава. Для чего целесообразно, наряду с показателями выхода летучих веществ и спекаемости, использовать петрографический и рефлектограммный анализы. Установленный с помощью данных петрографического анализа компонентный состав шихты позволяет, прежде всего, оценить истинное количество углей марок Ж, К и ОС, которые определяют технологическую ценность шихты в целом, а также количество неспекающихся составляющих, приходящихся на эти компоненты. Фактический марочный состав шихты с участием концентратов иностранных поставщиков также должен определяться с учетом рефлектограммы витринитовой составляющей шихты.

В настоящее время на коксохимическом производстве ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” специалистами ОТК КХП и ЦЛ КХП производится постоянный контроль углей и шихт с определением технического, пластометрического и петрографического анализов, гранулометрического состава и насыпной массы шихты, а также показателей качества кокса. Кроме того на КХП используют разработанные УХИН [10] комплексные петрографические показатели $S_{ш}$ (спекаемость) и $K_{ш}$ (коксуемость). Для получения металлургического кокса высокого качества $M_{25} \geq 88$ % и $M_{10} \leq 7$ % величины указанных показателей свойств шихты должны быть $S_{ш} \geq 53$, а $K_{ш} \geq 3,7$. Чем выше величина комплексного показателя $S_{ш}$, тем лучше прочностные характеристики кокса, получаемого из этой шихты. В свою очередь, чем выше показатель $K_{ш}$, тем большая вероятность при прочих равных условиях получить малоистирающийся и малодробимый кокс.

В 2011 г. во второй половине июля на 1-4 батареях на КХП ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” был получен кокс с лучшими показателями механической прочности, в среднем за период M_{25} 88,3 % и M_{10} 7,3 %. Шихта в этот период характеризовалась следующими показателями: $W = 7,6$ %, $\gamma = 0,787$ т/м³, содержание класса 3-0 мм 87 %, содержание “отошающего” класса 0,5 мм 46 %, $y = 18$ мм, $R_{0,1} = 1,11$ %, $S_{ш} = 58,4$; $K_{ш} = 2,5$. В соответствии с маркировками в удостоверениях поставщиков марочный состав угольной шихты был следующим, %: К 31, К+КЖ 16, Ж 12, MV Blend 25, Mechel Creek 5, Toms Run, Xcoal 11. Фактический марочный состав шихты, определенный по рефлектограмме витринитовой составляющей в этот период был следующим, %: Г 14, Ж 65, К 14, ОС 7. Этот марочный состав, несмотря на повышенное содержание углей, отвечающих марке Ж, принимаем в качестве оптимального при расчетах коэффициента $K_{опт}$, который предлагаем рассчитывать с учетом фактического марочного состава угольной шихты, определяемого при проведении рефлектограммного анализа, обозначив его $K_{опт(Vt)}$.

При выполнении исследований показатель рассчитывался как произведение коэффициентов оптимальности по четырем параметрам

$$K_{опт(Vt)} = 100 \cdot (K_{Г} \cdot K_{Ж} \cdot K_{К} \cdot K_{ОС}), \% \quad (1)$$

где $K_{Г}$ – коэффициент оптимальности содержания составляющих витринита с величиной показателя отражения 0,65-0,89 %, т.е. соответствующих марке Г

$$K_{Г} = (\sum Vt_{R_0=0,65;0,89} - 14) / 100; \quad (2)$$

$K_{Ж}$ – коэффициент оптимальности содержания составляющих витринита с величиной показателя отражения 0,9-1,19 %, т.е. соответствующих марке Ж

$$K_{Ж} = (\sum Vt_{R_0=0,9;1,19} - 65) / 100; \quad (3)$$

$K_{К}$ – коэффициент оптимальности содержания составляющих витринита с величиной показателя отражения 1,2-1,39 %, т.е. соответствующих марке К

$$K_{К} = (\sum Vt_{R_0=1,2;1,39} - 14) / 100; \quad (4)$$

$K_{ОС}$ – коэффициент оптимальности содержания составляющих витринита с величиной показателя отражения 1,4-1,69 %, т.е. соответствующих марке ОС

$$K_{ОС} = (\sum Vt_{R_0=1,4;1,69} - 7) / 100. \quad (5)$$

В уравнениях (1-5) величины соответственно 14, 65, 14 и 7 приняты в качестве оптимальных, а отклонения от них фактических значений соответствующих составляющих витринита подсчитываются без учета знаков \pm , т.е. по абсолютным величинам.

В соответствии с предложенной методикой в условиях КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” установлена взаимосвязь механической прочности M_{25} с показателем $K_{опт(Vt)}$ (рис. 3).

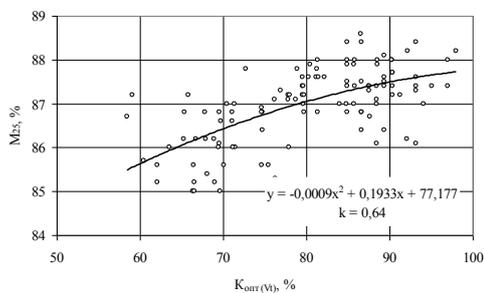


Рис. 3. Зависимость механической прочности кокса от $K_{\text{опт}}(V_t)$

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о более тесной взаимосвязи $K_{\text{опт}}(V_t)$ с показателями качества кокса, по сравнению аналогичными связями для предложенного ранее коэффициента $K_{\text{опт}}$. Кроме того, при использовании предложенного коэффициента оптимальности восстановлена логическая связь роста качества кокса с увеличением показателя $K_{\text{опт}}(V_t)$. Таким образом, выполненные исследования подтвердили необходимость применения петрографического и рефлектограммного методов анализа с целью контроля фактического марочного состава угольной шихты при его оптимизации.

Список литературы

1. Завалишин Д.А. Оценка угольного сырья, его влияние на качество кокса и ход доменной плавки / Д.А. Завалишин, Л.Д. Никитин, Л.С. Белая, Г.Р. Гайничева // Бюллетень Черная металлургия ОАО "Черметинформация". – 2010. – №1. – С. 18-24.
2. Степанов Ю.В. Влияние оптимизации состава шихты и ее зольности на показатели качества кокса / Ю.В. Степанов, Р.Р. Гилязетдинов, Н.К. Попова, Л.А. Махортова // Кокс и химия. – 2005. – №7. – С. 14-18.
3. Торяник Э.И. Состояние и развитие сырьевой базы коксования Украины / Э.И. Торяник, Б.И. Штромберг, Ю.С. Кафтан и др. // Кокс и химия. – 1977. – №11. – С. 31-33.
4. Васильев Ю.С. Совершенствование процесса коксового производства с целью улучшения качества энергосоставителей и обеспечения эффективной работы доменных печей/ Ю.С. Васильев, А.Г. Старовойт, И.Г. Зубилин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – №3. – С. 13-15.
5. Улановский М.Л. Оценка угольных шихт заводов Украины по коэффициенту оптимальности марочного состава / М.Л. Улановский, А.Н. Лихенко // Кокс и химия. – 2008. – №7. – С. 14-18.
6. Киселев Б.П. Сырьевая база коксования России. 1. Ретроспектива/ Б.П. Киселев, В.А. Леушин // Кокс и химия. – 1999. – №11. – С. 2-9.
7. Киселев Б.П. Варианты перспективной базы коксования и возможный состав производственных угольных шихт / Б.П. Киселев, Л.И. Серебренников // Бюллетень Черная металлургия ОАО "Черметинформация". – 2004. – №10. – С. 38-41.
8. Гайничева Г.Р. Оценка угольного сырья. Его влияние на качество кокса и ход доменной плавки / Г.Р. Гайничева, В.И. Бызова, Н.Н. Назарова и др. // Кокс и химия. – 2008. – №10. – С. 14-19.
9. Штарк П.В. Об оценке оптимальности состава угольной шихты / П.В. Штарк, Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Д.В. Ворсина // Кокс и химия. – 2007. – №3. – С. 2-6.
10. Чернышов Ю.А. Использование петрографических характеристик и новых комплексных показателей для оценки свойств углей и межбассейновых шихт ОАО "Запорожжкокс" / Ю.А. Чернышов, С.А. Овчинникова, А.В. Подлубный и др. // УглеХимический журнал. – 2009. – №1-2. – С. 12-20.

Рукопись поступила в редакцию 23.03.13