

**ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ И  
УРОВНЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГРУПП УГЛЕЙ И  
ШИХТЫ В УГЛЕПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ЦЕХЕ  
№1 ПАО «АЛЧЕВСККОКС»**

**OPTIMIZATION OF SCHEME PREPARATION AND  
REDUCTION LEVEL OF COALS GROUP AND COAL  
BLAND IN COAL PREPARATION SHOP №1 OF  
ALCHEVSK COKING PLANT**

© 2013 Кривонос В.В., к.т.н.,  
Данилов А.Б., Вердибоженко Г.С.,  
Лозинский О.Б. (ПАО «Алчевсккокс»),  
Дроздник И.Д., к.т.н.,  
Кафтан Ю.С., к.т.н., Бидоленко Н.Б.,  
Сорокотяга К.Н. (ГП «УХИИ»)

Krivosnos V.V., PhD in Technical Sciences,  
Danilov A.B., Verdibozhenko G.S.,  
Lozinskiy O.B. (PJSC "Alchevsk Coking Plant"),  
Drozdник I.D., PhD in Technical Sciences,  
Kaftan Yu.S., PhD in Technical Sciences,  
Bidolenko N.B., Sorokotyaga K.N. (SE "UKHIN")

*В производственных условиях отобраны пробы групп «мягких» и «твердых» углей до и после измельчения. Пробы «мягких» углей отбирали при разной величине раскрытия поверхности сита для отсева мелких классов. Определяли технологические свойства, петрографические характеристики групп углей и классов их крупности. Проведены ящичные коксования шихт составленных из групп «мягких» и «твердых» углей как производственного так и рекомендованного уровня измельчения. Показано, что предлагаемая оптимизация схемы подготовки и уровня измельчения групп углей позволяет на 2,5 % улучшить показатель дробимости и на 0,6 % снизить истираемость кокса по сравнению с имеющими место в настоящее время производственными показателями.*

*Samples of the groups of "soft" and "hard" coals were taken before and after grinding. Samples of "soft" coals were taken by the difference size of screening surface for removing fine classes of coal. The technological properties and petrographic characteristics of groups of coals and their classes were determined. Blends consisted of "soft" and "hard" coals groups with production and recommended level of crushing were coked in "boxes" in production conditions. It is shown that the proposed optimization scheme of preparation and level of crushing allow improved coke hardness to 2.5 % and reduction coke abrasion on 0.6 %, compared to take place at the present time production rate.*

Ключевые слова: группы угольных концентратов, шихта, классы крупности, уровень измельчения, оптимизация, коксование, свойства кокса.

Keywords: group of coal concentrate, blend, size grade, level grinding, optimization, coking properties of coke.

\*\*\*\*\*

По принятой в настоящее время в УПЦ-1 ПАО «Алчевсккокс» схеме подготовки, угли, входящие в шихту, условно делятся на две группы: «мягкие» и «твердые». Указанные группы измельчаются раздельно соответственно на дробилках №№ 2 и 4. Группы «твердых» и «мягких» углей представлены в общей шихте приблизительно в соотношении, соответственно, 51 и 49 %. В табл. 1 приведены показатели технологических свойств групп угольных концентратов и шихты УПЦ-1.

Как видно из данных табл. 1, показатели качества рассматриваемых групп углей существенно различаются. Наиболее заметны различия по содержанию серы ( $S_t^d$  – 1,39 и 1,15 %), выходу летучих веществ ( $V^{daf}$  – 31,3 и 35,4 %), толщине пластического слоя ( $y$  – 20 и 14 мм) и коэффициенту размолоспособности по Хардгрову (67 и 49 ед).

Таблица 1

## Показатели качества групп угольных концентратов и шихты УЩ-1

| Происхождение и марка угля          | % участия в шихте | Технический анализ, % |                             |                |                  | Пластометрические показатели, мм |    | Коэффициент размолоспособности по Хардгроу |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|----|--|
|                                     |                   | A <sup>d</sup>        | S <sub>t</sub> <sup>d</sup> | V <sup>d</sup> | V <sup>daf</sup> | x                                | y  |  |
| Группа «мягких» углей               |                   |                       |                             |                |                  |                                  |    |  |
| ЦОФ «Комсомольская», Ж              | 6                 | 7,7                   | 2,18                        | 33,5           | 36,3             | 31                               | 18 | 46   |
| ЦОФ «Киевская» (ш. им. Засядько), Ж | 24                | 9,7                   | 1,72                        | 28,9           | 32,0             | -2                               | 25 | 73   |
| Тухуп, К                            | 10                | 6,0                   | 0,84                        | 27,3           | 29,0             | -2                               | 18 | 74   |
| Ш/у «Покровское», К                 | 11                | 9,9                   | 0,74                        | 26,4           | 29,3             | 15                               | 13 | 60   |
| Итого                               | 51                | 8,8                   | 1,39                        | 28,6           | 31,3             | 6                                | 20 | 67   |
| Группа «твердых» углей              |                   |                       |                             |                |                  |                                  |    |  |
| ОФ «Щедрухинская», Г                | 10                | 8,1                   | 0,79                        | 33,2           | 36,1             | 38                               | 11 | 55   |
| Mountain, ГЖО                       | 24                | 9,2                   | 0,98                        | 34,4           | 37,8             | 35                               | 15 | 47   |
| ЦОФ «Краснолиманская», Ж            | 8                 | 7,0                   | 2,70                        | 34,1           | 36,7             | 34                               | 19 | 54   |
| Р-з «Краснобродский», КСН           | 7                 | 8,6                   | 0,47                        | 22,6           | 24,7             | 29                               | 7  | 41   |
| Итого                               | 49                | 8,5                   | 1,15                        | 32,4           | 35,4             | 35                               | 14 | 49   |
| ШИХТА                               | 100,0             | 8,7                   | 1,27                        | 30,5           | 33,3             | 20                               | 17 | 58   |

Столь же заметно различаются и петрографические характеристики рассматриваемых групп углей (см. табл.2). Так, содержание мацералов группы витринита в группе «мягких» углей составило 89 %, а инертинита – 9 %. У «твердых» углей содержание витринита равно 69 % или на 20 % меньше, чем у «мягких» углей. Содержание мацералов группы инертинита у «твердых» углей составляет величину, равную 27 %. Средний произвольный показатель отражения у «мягких» углей равен 1,10 %, а у «твердых» значительно ниже – 0,92 %. Это обусловлено большим содержанием составляющих витринита, соответствующих углям марок ДГ и Г. У «мягких» углей оно составило всего 5 %, а у «твердых» – 49 %.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об обоснованности принятого на заводе разделения углей, входящих в сырьевую базу УЩ-1, на две группы, имеющие резко различающиеся

технологические свойства и петрографические характеристики. Исходя из этих различий и должен устанавливаться оптимальный уровень измельчения указанных групп углей.

Часть «мягких» углей, в соответствии с принятой схемой, перед дроблением отсеивается на сите, установленном в жлобе перед дробилкой. Отсеянная часть смешивается с прошедшим дробилку материалом и подается в общую шихту. Были испытаны три режима работы отсеивающего устройства: при полном раскрытии полотна сита, при раскрытии его на 50 % и при полностью закрытом отсеивающем полотне. В каждом случае отбирали пробы «мягких» углей до и после дробления. Такой подход должен был дать возможность установить эффективность работы отсеивающего устройства в трех режимах его работы и выбрать оптимальный режим. Также были отобраны две пробы «твердых» углей до и после дробления.

Таблица 2

**Петрографические характеристики групп угольных концентратов  
и шихты УЩ-1**

| Происхождение и марка<br>угля          | %<br>участия<br>в<br>шихте | 1.1 Петрографический<br>состав<br>(без минеральных<br>примесей), %       |    |    |   |      | Средний<br>показатель<br>отражения<br>витринита,<br>% | Стадии метаморфизма витринита,<br>% |                |                |                |
|--|----------------------------|--|----|----|---|------|---|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|  |                            |  |    |    |   |      |   | 0,50 -<br>0,64                      | 0,65 -<br>0,89 | 0,90 -<br>1,19 | 1,20 -<br>1,39 |
|  |                            | марки угля, условно<br>соответствующие стадиям<br>метаморфизма витринита |    |    |   |      |   |                                     | ДГ             | Г              | Ж              |
|  |                            | Vt   | Sv | I  | L | Σ ОК | R <sub>o</sub>  |                                     |                |                |                |
| Группа «мягких» углей                  |                            |  |    |    |   |      |   |                                     |                |                |                |
| ЦОФ «Комсомольская»,<br>ГЖ             | 6                          | 80   | 0  | 15 | 5 | 15   | 0,99  | 4                                   | 27             | 67             | 2              |
| ЦОФ «Киевская» (ш. им.<br>Засядько), Ж | 24                         | 89   | 0  | 9  | 2 | 9    | 1,06  | 0                                   | 2              | 97             | 1              |
| Тухуп, К                               | 10                         | 98   | 0  | 2  | 0 | 2    | 1,20  | 0                                   | 0              | 51             | 49             |
| Ш/у Покровское, К                      | 11                         | 85   | 0  | 12 | 3 | 12   | 1,14  | 0                                   | 0              | 78             | 22             |
| Итого                                  | 51                         | 89   | 0  | 9  | 2 | 9    | 1,10  | 1                                   | 4              | 80             | 15             |
| Группа «твердых» углей                 |                            |  |    |    |   |      |   |                                     |                |                |                |
| ОФ «Щедрухинская», Г                   | 10                         | 79   | 0  | 18 | 3 | 18   | 0,87  | 26                                  | 29             | 45             | 0              |
| Mountain, ГЖО                          | 24                         | 70   | 0  | 25 | 5 | 25   | 0,88  | 0                                   | 64             | 35             | 1              |
| ЦОФ<br>«Краснолиманская», Ж            | 8                          | 89   | 0  | 8  | 3 | 8    | 0,95  | 0                                   | 34             | 62             | 4              |
| Р-з «Краснобродский»,<br>КСН           | 7                          | 26   | 3  | 71 | 0 | 73   | 1,11  | 0                                   | 5              | 68             | 27             |
| Итого                                  | 49                         | 69   | 0  | 27 | 4 | 27   | 0,92  | 5                                   | 44             | 46             | 5              |
| ШИХТА                                  | 100,0                      | 79   | 0  | 18 | 3 | 18   | 1,01  | 3                                   | 23             | 64             | 10             |

В табл. 3 и 4 приведены фактические значения показателей технологических свойств и петрографические характеристики проб групп угольных концентратов УЩ-1 до и после дробления, отобранных непосредственно в цехе в условиях действующего производства.

Таблица 3

**Показатели качества групп угольных концентратов УЩ-1 до и после дробления**

| Наименование<br>группы углей                                  | Технический анализ, % |                             |                |                  | Пластометрические<br>показатели, мм |    |
|---|-----------------------|-----------------------------|----------------|------------------|-------------------------------------|----|
|   | A <sup>d</sup>        | S <sub>t</sub> <sup>d</sup> | V <sup>d</sup> | V <sup>daf</sup> | x                                   | y  |
| Группа «твердых» углей, недробленая                           | 8,1                   | 1,20                        | 32,3           | 35,2             | 32                                  | 14 |
| Группа «твердых» углей, дробленая                             | 7,8                   | 1,18                        | 32,7           | 35,5             | 30                                  | 13 |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито<br>открыто полностью | 8,3                   | 1,23                        | 29,2           | 31,9             | 11                                  | 18 |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито<br>открыто полностью   | 8,3                   | 1,28                        | 29,2           | 31,8             | 15                                  | 19 |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито<br>открыто на 50 %   | 8,7                   | 1,29                        | 28,2           | 30,8             | 22                                  | 18 |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито<br>открыто на 50 %     | 8,1                   | 1,23                        | 28,6           | 31,1             | 11                                  | 18 |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито<br>закрыто           | 9,2                   | 1,22                        | 27,9           | 30,7             | 14                                  | 18 |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито<br>закрыто             | 8,4                   | 1,33                        | 28,2           | 30,8             | 13                                  | 19 |

Сравнение фактических данных (табл. 3 и 4) с расчетными данными, полученными по результатам исследования углей, входящих в сырьевую базу УЩ-1 (табл. 1 и 2), показывает, что они

практически идентичны. Это свидетельствует о достоверности приведенных в табл. 3 и 4 данных и об обеспечении заданного марочного и компонентного составов групп углей и шихты в целом в ходе проведения эксперимента.

В табл. 5 приведены данные рассева указанных выше групп углей УЩ-1 до и после дробления.

Анализ приведенных в табл. 5 данных показывает следующее. Группа «твердых» углей до дробления содержит всего 38,2 % зерен крупностью менее 3 мм, а после прохождения через дробилку содержание класса

3-0 мм увеличивается до 77,2 %. В ходе измельчения в дробилке средний диаметр угольных частиц снижается в 5 раз с 10,7 до 2,1 мм.

Как уже указывалось выше, в УЩ-1 для группы «мягких» углей перед дробилкой установлено сито для отсева классов крупностью менее 6 мм. В обычном производственном режиме сито открыто наполовину. В нашем эксперименте были испытаны три режима работы сита: при полном его закрытии, а также при открытии на 50 % и на 100 %.

Таблица 4

**Петрографические характеристики групп угольных концентратов УЩ-1 до и после дробления**

| Наименование группы углей                                  | 1.2 Петрографический состав (без минеральных примесей), % |    |    |   |      | Средний показатель отражения витринита, % | Стадии метаморфизма витринита, %                                   |             |             |             |
|--|---|----|----|---|------|---|--|-------------|-------------|-------------|
|  |   |    |    |   |      |   | 0,50 - 0,64  | 0,65 - 0,89 | 0,90 - 1,19 | 1,20 - 1,39 |
|  | Vt  | Sv | I  | L | Σ ОК | R <sub>o</sub>                            | марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита |             |             |             |
|  |   |    |    |   |      |   | ДГ   | Г           | Ж           | К           |
| Группа «твердых» углей, недробленая                        | 68  | 1  | 27 | 4 | 28   | 0,86                                      | 16   | 51          | 30          | 3           |
| Группа «твердых» углей, дробленая                          | 71  | 0  | 24 | 5 | 24   | 0,89                                      | 9  | 57          | 27          | 7           |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито открыто полностью | 94  | 0  | 5  | 1 | 5    | 1,05                                      | 4  | 3           | 84          | 9           |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито открыто полностью   | 89  | 0  | 9  | 2 | 9    | 1,09                                      | 0  | 1           | 83          | 16          |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито открыто на 50 %   | 91  | 1  | 7  | 0 | 8    | 1,07                                      | 0  | 3           | 88          | 9           |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито открыто на 50 %     | 85  | 1  | 10 | 4 | 11   | 1,05                                      | 0  | 8           | 88          | 4           |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито закрыто           | 91  | 0  | 8  | 1 | 8    | 1,08                                      | 0  | 1           | 93          | 6           |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито закрыто             | 93  | 1  | 6  | 0 | 7    | 1,13                                      | 0  | 4           | 72          | 24          |

Так как во всех трех экспериментах исходные недробленные группы углей характеризовались сходным грануло-метрическим составом и близостью технологических свойств, то свойства продуктов, полученных после дробления, позволяют объективно оценить влияние степени раскрытия сита на уровень измельчения и качество классов крупности «мягкой» группы углей. Так, в этой группе содержание классов менее 3 мм до дробления колеблется в узких пределах

65,0-66,3 %. В случае, когда отсеивающее полотно открыто полностью, дробление позволяет обеспечить уровень измельчения, равный 79,3 % содержания класса < 3 мм. Средний диаметр частиц снижается при этом с 4,5 до 2,2 мм или в 2 раза. При раскрытии отсеивающего устройства на 50 % помол «мягкой» группы углей после дробления составил 82,5 % содержания класса < 3 мм. Средний диаметр частиц снизился с 4,4 до 2,0 мм или в 2,2 раза.

Таблица 5

**Гранулометрический состав групп угольных концентратов УЩ-1  
до и после дробления**

| Наименование группы углей                                  | Гранулометрический состав (мм), % |       |       |      |      |      |         |      |      |      | Средний диаметр частиц, мм |
|--|-----------------------------------|-------|-------|------|------|------|---------|------|------|------|----------------------------|
|  | +50                               | 25-50 | 13-25 | 6-13 | 3-6  | 1-3  | 0,5-1,0 | >0,5 | +3   | -3   |                            |
| Группа «твердых» углей, недробленая                        | 0                                 | 12,8  | 16,6  | 18,5 | 13,9 | 15,2 | 5,1     | 17,9 | 61,8 | 38,2 | 10,7                       |
| Группа «твердых» углей, дробленая                          | 0                                 | 0     | 0,4   | 6,2  | 16,2 | 27,9 | 9,2     | 40,1 | 22,8 | 77,2 | 2,1                        |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито открыто полностью | 0                                 | 3,5   | 4,1   | 10,0 | 16,5 | 29,4 | 11,8    | 24,7 | 34,1 | 65,9 | 4,5                        |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито открыто полностью   | 0                                 | 0     | 1,0   | 6,7  | 13,0 | 30,6 | 10,9    | 37,8 | 20,7 | 79,3 | 2,2                        |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито открыто на 50 %   | 0                                 | 2,7   | 5,1   | 10,9 | 16,3 | 26,1 | 11,3    | 27,6 | 35,0 | 65,0 | 4,4                        |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито открыто на 50 %     | 0                                 | 0     | 0,7   | 5,6  | 11,2 | 30,6 | 11,6    | 40,3 | 17,5 | 82,5 | 2,0                        |
| Группа «мягких» углей, недробленая, сито закрыто           | 0                                 | 3,2   | 5,0   | 8,9  | 16,6 | 26,8 | 15,3    | 24,2 | 33,7 | 66,3 | 4,5                        |
| Группа «мягких» углей, дробленая, сито закрыто             | 0                                 | 0     | 0,9   | 5,0  | 9,4  | 29,7 | 10,4    | 44,6 | 15,3 | 84,7 | 1,9                        |

В случае, если сито полностью закрыто железным листом, весь уголь «мягкой» группы идет на дробилку, что приводит к увеличению содержания класса < 3 мм в готовом продукте до 84,7 % и снижению среднего диаметра угольных частиц с 4,5 до 1,9 мм или в 2,4 раза.

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что при переходе от работы с полностью закрытой отсеивающей поверхностью на работу при ее

полном раскрытии содержание класса < 3 мм в готовом продукте незначительно снижается (с 84,7 до 79,3 %). И в том и в другом случае в готовом продукте практически полностью отсутствуют зерна крупнее 13 мм (1,0-0,7 %) и в небольших количествах (6,7-5,0 %) присутствуют зерна крупность 6-13 мм, которые (учитывая их высокую спекаемость) не представляют опасности, как центры трещинообразования.

Таблица 6

**Содержание и свойства классов крупности «твердой» группы углей до и после дробления**

| Гранулометрический состав, % |          | Технический анализ, % |                |                  | Спекаемость по Рога, ед. RI |
|------------------------------|----------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------------|
| классы крупности, мм         | выход, % | A <sup>d</sup>        | V <sup>d</sup> | V <sup>daf</sup> |                             |
| <b>Недробленая</b>           |          |                       |                |                  |                             |
| +3,0                         | 61,8     | 8,7                   | 32,7           | 36,1             | 48                          |
| - 3,0                        | 38,2     | 8,2                   | 32,1           | 34,9             | 61                          |
| Общая проба                  | 100,0    | 8,5                   | 32,4           | 35,6             | 53                          |
| <b>Дробленая</b>             |          |                       |                |                  |                             |
| +3,0                         | 22,8     | 9,1                   | 33,9           | 37,2             | 51                          |
| - 3,0                        | 77,2     | 7,4                   | 32,9           | 35,6             | 54                          |
| Общая проба                  | 100,0    | 7,8                   | 33,1           | 35,9             | 53                          |

Таблица 7

**Петрографические характеристики классов крупности  
дробленной «твердой» группы углей**

| Классы крупности, мм | Выход, % | 1.3 Петрографический состав (без минеральных примесей), % |    |    |   |      | Средний показатель отражения витринита, % | Стадии метаморфизма витринита, % |  |             |             |
|----------------------|----------|---|----|----|---|------|---|----------------------------------|--|-------------|-------------|
|                      |          |   |    |    |   |      |   | 0,50 - 0,64                      | 0,65 - 0,89  | 0,90 - 1,19 | 1,20 - 1,39 |
|                      |          | Vt  | Sv | I  | L | Σ ОК |   | R <sub>o</sub>                   | марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита |             |             |
|                      |          |   |    |    |   |      | ДГ  | Г                                | Ж  | К           |             |
| +3                   | 22,8     | 54  | 0  | 39 | 7 | 39   | 0,79                                      | 14                               | 70   | 15          | 1           |
| - 3                  | 77,2     | 69  | 0  | 27 | 4 | 27   | 0,84                                      | 13                               | 57   | 29          | 1           |
| Итого                | 100,0    | 66  | 0  | 30 | 4 | 30   | 0,83                                      | 13                               | 60   | 26          | 1           |

Прежде чем перейти к рассмотрению указанных данных, нужно отметить следующее. Как известно, одним из главных показателей оптимальности измельчения групп углей и шихт является обеспечение максимальной однородности свойств классов крупности в получаемом готовом продукте [1-4]. Именно с этих позиций будут оцениваться группы

углей, полученные в результате измельчения в производственных условиях.

Из данных табл. 6 видно, что крупные классы (>3 мм) «твердой» недробленной группы углей имеют более высокие зольность и выход летучих веществ и меньшую спекаемость по сравнению с более мелкими классами.

Таблица 8

**Содержание и свойства классов крупности «мягкой» группы углей**

| Гранулометрический состав, %       |          | Технический анализ, % |                |                  | Спекаемость по Ro <sub>g</sub> , ед. RI |
|------------------------------------|----------|-----------------------|----------------|------------------|---|
| классы крупности, мм               | выход, % | A <sup>d</sup>        | V <sup>d</sup> | V <sup>daf</sup> |   |
| Недробленная                       |          |                       |                |                  |   |
| +3,0                               | 33,7     | 8,9                   | 27,8           | 30,4             | 70                                      |
| - 3,0                              | 66,3     | 8,7                   | 28,0           | 30,7             | 75                                      |
| Общая проба                        | 100,0    | 8,8                   | 27,9           | 30,6             | 73                                      |
| Дробленная, сито открыто полностью |          |                       |                |                  |   |
| +3,0                               | 20,7     | 8,5                   | 29,9           | 32,7             | 72                                      |
| - 3,0                              | 79,3     | 8,5                   | 28,5           | 31,1             | 78                                      |
| Общая проба                        | 100,0    | 8,5                   | 28,8           | 31,4             | 77                                      |
| Дробленная, сито открыто на 50 %   |          |                       |                |                  |   |
| +3,0                               | 17,5     | 8,8                   | 28,9           | 31,7             | 69                                      |
| - 3,0                              | 82,5     | 8,0                   | 29,0           | 31,5             | 77                                      |
| Общая проба                        | 100,0    | 8,1                   | 29,0           | 31,5             | 76                                      |
| Дробленная, сито закрыто           |          |                       |                |                  |   |
| +3,0                               | 15,3     | 9,3                   | 27,7           | 30,6             | 66                                      |
| - 3,0                              | 84,7     | 8,3                   | 27,8           | 30,3             | 78                                      |
| Общая проба                        | 100,0    | 8,5                   | 27,8           | 30,4             | 76                                      |

После дробления различие в свойствах указанных классов крупности по зольности и выходу летучих веществ усиливается. Последнее объясняется тем, что в крупных классах концентрируются зерна маломутаморфизованных твердых углей, о чем свидетельствует повышенный выход летучих веществ и минимальные значения показателя отражения витринита (табл. 7). Повышенная зольность обусловлена наличием в классе > 3 мм значительного количества зерен дюрита, которые имеют высокую зольность и твердость. Это подтверждается высоким содержанием мацералов группы инертинита, которое

составляет 39 %. Таким образом, наличие значительного количества високозольных крупных зерен с повышенным выходом летучих веществ после дробления «твердой» группы крайне нежелательно, так как при коксовании они являются центрами трещинообразования, приводящими к снижению прочности кокса.

В связи с изложенным, необходимо было проверить влияние на качество кокса более тонкого измельчения группы «твердых» углей.

В табл. 6, 8, 10 приведены данные технического анализа (A<sup>d</sup>, V<sup>d</sup>, V<sup>daf</sup>) и спекающей способности по Ro<sub>g</sub>

классов крупности «твердой» и «мягкой» групп углей УПЦ-1 до и после дробления. Петрографические характеристики указанных выше классов крупности представлены в таблицах 7, 9.

У недробленной группы «мягких» углей содержание крупных классов > 3 мм почти в два раза ниже, чем у группы твердых углей (соответственно 34,3 и 61,8 %). При этом классы > 3 мм углей «мягкой» группы по зольности, выходу летучих веществ и спекающей способности по Рога близки к классам < 3 мм.

При дроблении «мягкой» группы углей до трех различных уровней измельчения за счет разной степени

раскрытия рассеивающей поверхности сита перед дробилкой отмечается некоторый рост зольности и снижение спекающей способности классов крупности > 3 мм сравнительно с классами крупности < 3 мм с ростом общего уровня измельчения. Петрографические характеристики классов крупности при этом мало различаются.

Таким образом, уровень измельчения «мягкой» группы углей, равный 79,3 % содержания класса 3-0 мм и полученный при полностью открытом сите, вполне приемлем с точки зрения однородности свойств в классах крупности.

Таблица 9

**Петрографические характеристики классов крупности,  
«мягкой» группы углей**

| Классы крупности, мм              | Выход, % | 1.4 Петрографический состав (без минеральных примесей), % |    |    |   |      | Средний показатель отражения витринита, % | Стадии метаморфизма витринита, %                                   |             |             |             |
|-----------------------------------|----------|---|----|----|---|------|---|--|-------------|-------------|-------------|
|                                   |          |   |    |    |   |      |   | 0,50 - 0,64  | 0,65 - 0,89 | 0,90 - 1,19 | 1,20 - 1,39 |
|                                   |          | Vt  | Sv | I  | L | Σ ОК | Ro  | марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита |             |             |             |
|                                   |          |   |    |    |   |      | Г   | Ж  | К           |             |             |
| Дробленая, сито открыто полностью |          |   |    |    |   |      |   |  |             |             |             |
| +3                                | 20,7     | 81  | 0  | 15 | 4 | 15   | 1,03                                      | 7  | 78          | 5           |             |
| - 3                               | 79,3     | 91  | 0  | 7  | 2 | 7    | 1,09                                      | 5  | 78          | 17          |             |
| Итого                             | 100,0    | 89  | 0  | 9  | 2 | 9    | 1,08                                      | 7  | 78          | 15          |             |
| Дробленая, сито открыто на 50 %   |          |   |    |    |   |      |   |  |             |             |             |
| +3                                | 17,5     | 87  | 0  | 11 | 2 | 11   | 1,06                                      | 7  | 84          | 9           |             |
| - 3                               | 82,5     | 92  | 0  | 7  | 1 | 7    | 1,07                                      | 5  | 86          | 9           |             |
| Итого                             | 100,0    | 91  | 0  | 8  | 1 | 8    | 1,06                                      | 6  | 85          | 9           |             |
| Дробленая, сито закрыто           |          |   |    |    |   |      |   |  |             |             |             |
| +3                                | 15,3     | 83  | 0  | 14 | 3 | 14   | 1,04                                      | 7  | 86          | 7           |             |
| - 3                               | 84,7     | 92  | 1  | 7  | 0 | 8    | 1,07                                      | 5  | 85          | 10          |             |
| Итого                             | 100,0    | 90  | 1  | 8  | 1 | 9    | 1,07                                      | 7  | 85          | 10          |             |

В то же время при полностью открытом сите существенно снижается расход электроэнергии на измельчение.

С учетом вышеизложенного были разработаны три варианта опытных шихт с разным уровнем измельчения отдельных групп углей и шихты в целом для проверки их в опытно-промышленных условиях методом ящичных коксований. Коксование первых двух вариантов должно было дать оценку влияния на качественные показатели кокса степени раскрытия рассеивающей поверхности при подготовке группы «мягких» углей. В первом варианте были использованы отобранные в производственных условиях дробленые продукты группы «твердых» углей и группы «мягких» углей при полностью открытом сите. Второй вариант также включал группу «твердых» и «мягких» углей в производственном измельчении, но при полностью закрытом сите на потоке «мягких» углей. И, наконец, в третьем варианте, который, по нашему мнению, является оптимальным, недробленая группа «твердых» углей была доизмельчена в лабораторных условиях до уровня 82 % содержания класса < 3 мм, что на 4,8 % больше, чем производственное измельчение (77,2 %). Дробленая «мягкая» группа углей вводилась в шихту при режиме работы с полностью открытым ситом. Соотношение в шихте УПЦ-1 групп «мягких» и «твердых» углей соответствовало заданному в производственных условиях и составляло соответственно 51 и 49 %.

Общий помол шихты УПЦ-1 для варианта 1 составил 78,3 %, для варианта 2 – 81,0 % и для варианта 3 - 80,6 % содержания класса 3-0 мм.

Указанные шихты были загружены в металлические ящики и прококсованы в промышленных коксовых камерах бат. № 5-6 коксового цеха № 2. Ящики с опытными шихтами загружали в две коксовые камеры №№ 161 и 259 по три ящика в средний люк. Температуры в контрольных вертикалах с машинной и коксовой стороны составили: на батарее № 5 – 1290 и 1320 °С; на батарее № 6 – 1270 и 1310 °С. Период коксования был равен 16 ч 30 мин.

Для полученных из опытных шихт ящичных коксов определяли выход сухого валового кокса, гранулометрический состав, средний диаметр кусков кокса и барабанную прочность.

Полученные результаты приведены в табл. 10. Коксы из опытных шихт вариантов 1-3 имеют близкие значения выхода сухого валового кокса на уровне 73,2-73,6 %, что обусловлено близостью выхода летучих веществ у шихт, из которых они получены.

Таблица 10

**Выход, ситовый состав и прочность «ящичных» коксов**

| Вариант | Выход сухого валового кокса, $V_{вал.сух.}, \%$ | Ситовый состав, мм % |       |       |      |                     | Барабанная прочность, % |          |
|---------|---|----------------------|-------|-------|------|---------------------|-------------------------|----------|
|         |   | 80-60                | 60-40 | 40-25 | < 25 | средний диаметр, мм | $P_{25}$                | $I_{10}$ |
| 1       | 73,2  | 15,2                 | 45,2  | 16,9  | 7,7  | 50,2                | 89,7                    | 6,4      |
| 2       | 73,6  | 22,8                 | 53,9  | 15,8  | 7,5  | 49,0                | 90,9                    | 6,2      |
| 3       | 73,4  | 24,2                 | 54,8  | 13,8  | 7,2  | 49,8                | 92,2                    | 5,8      |

Содержание крупных классов 80-60 и 60-40 мм возрастает от первого к третьему варианту. Так, для кокса варианта 1 количество этих классов составляет соответственно 15,2 и 45,2 %, а для кокса варианта 3 – 24,2 и 54,8 %.

В то же время показатель замусоренности кокса (содержание класса крупности < 25 мм) снижается от первого к третьему варианту. Общая величина снижения замусоренности кокса составила 0,5 %. Соответственно на эту же величину увеличивается выход металлургического кокса, что заметно повышает эффективность использования предложенного уровня измельчения групп «мягких» и «твердых» углей. Средний диаметр кусков кокса для всех трех вариантов сходен и колеблется в пределах 49,0-50,2 мм.

Сравнение прочностных характеристик кокса вариантов № 1-2, полученных из шихт при полностью открытом и закрытом сите перед дробилкой на «мягких» углях, показало, что дробимость и истираемость у кокса из шихты второго варианта (сито полностью открыто) несколько лучше, чем у кокса из шихты первого варианта (сито полностью закрыто). Так, показатель  $M_{25}$  у кокса второго варианта на 1,2 % выше, чем у кокса первого варианта (соответственно 90,9 и 89,7 %), а показатель истираемости  $I_{10}$  ниже на 0,2 % (соответственно 6,2 и 6,4 %).

Схема подготовки шихты с повышением уровня измельчения «твердых» углей с 77,2 до 82,0 % содержания класса 3-0 мм при полностью открытом сите перед дробилкой на «мягких» углях с сохранением производственного уровня измельчения последних, равного 79,3 % класса 3-0 мм, позволила обеспечить получение наиболее прочного кокса по показателям  $P_{25}$  и  $I_{10}$ . Так, кокс третьего варианта по сравнению с коксом первого варианта лучше по показателю дробимости  $P_{25}$  и истираемости  $I_{10}$  соответственно на 2,5 и 0,6 %.

Таким образом, выполненная работа позволила сделать следующие основные выводы:

1. Применение технологически обоснованной схемы подготовки углей позволяет улучшить прочностные характеристики металлургического кокса и повысить его выход.
2. Оптимизация измельчения должна предусматривать научно-обоснованную степень измельчения групп «мягких» и «твердых» углей, что позволит избежать переизмельчения углей хороших марок, обеспечить рациональное соотношение классов крупности в шихте, подаваемой в камеры коксования, увеличить срок службы дробильных агрегатов и уменьшить расход электроэнергии на дробление.



3. В условиях сырьевой базы УПЦ-1 ПАО «Алчевсккокс» оптимальный уровень измельчения группы «твердых» углей составляет  $82\pm 1$  % содержания класса 3-0 мм; группу «мягких» углей необходимо измельчать с отсевом мелких классов перед дроблением, а содержание класса 3-0 мм для этой группы должно составлять  $79\pm 1$  %.

#### Библиографический список

1. **Заишквара В.Г.** Подготовка углей к коксованию / **Виктор Григорьевич Заишквара.** – М.: Металлургия, 1967. – 339 с.
2. **Грязнов Н.С.** Основы теории коксования / **Николай Сергеевич Грязнов.** – М.: Металлургия, 1976. – 304 с.
3. **Фомин А.П.** Определение оптимальной степени измельчения угольных шихт при подготовке их к коксованию / **А.П.Фомин, Н.С.Грязнов, Е.В.Беляев [и др.]** // Кокс и химия. – 1986. – № 5. – С. 20-22.
4. **Дроздник И.Д.** Совершенствование схем подготовки углей в условиях межбассейновой сырьевой базы коксования / **И.Д.Дроздник, Д.В.Мирошниченко, В.М.Ладыжинский [и др.]** // Углехимический журнал. – 2012. – № 3-4. – С. 17-24.

Рукопись поступила в редакцию 11.02.2013