

**ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА УГОЛЬНЫХ  
КОНЦЕНТРАТОВ НА ИХ НАСЫПНУЮ  
ПЛОТНОСТЬ**

© 2011 Белошапка И.В., Сикан И.И.,  
Василенко Б.Я., Мукина Н.В., Селин С.С.,  
Кобзарь О.А. (КХП ПАО «АМКР»),  
Дроздник И.Д., к.т.н.,  
Мирошниченко Д.В., к.т.н.,  
Иванова Е.В. (УХИН),  
Десна Н.А. (КМФ НМетАУ)

*В результате проведенных исследований установлено, что насыпная плотность угольных концентратов, вследствие повышения их влажности и окисленности, может достигать  $1 \text{ т/м}^3$ , что необходимо учитывать при заполнении силосов закрытого угольного склада.*

*As a result of the conducted researches it is established that the apparent density of coal concentrates, owing to the increase of their humidity and degree of oxidation, can reach the level of  $1 \text{ t/m}^3$  that it is necessary to take into account at the silos filling of the closed coal storage.*

Ключевые слова: угольные концентраты, насыпная плотность, влажность, степень окисленности.



Угледоготовительный цех коксохимического производства ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» имеет в своем составе закрытый угольный склад, который состоит из 68<sup>шт</sup> бункеров емкостью 2500 т каждый, сгруппированных в три очереди. Проектная мощность угледоготовительного цеха по производству угольной шихты составляет 30,8 тыс. т в сутки (с учетом коэффициента неравномерности поступления углей, равного 1,4) при производстве 4,5 млн. т металлургического кокса в год, а проектная емкость закрытого склада угля составляет 170 тыс. т, что обеспечивает пятисуточный запас углей.

Основное назначение угольных складов на коксохимических заводах – создание запасов угля, обеспечивающих нормальную работу производства, а также сглаживание и компенсация неравномерности поставки углей на завод. Преимуществами складов закрытого типа являются компактность, полная механизация перегрузочных операций, возможность использования склада как дозирочного отделения, защищенность угля от ветра, атмосферных осадков и отсутствие потерь угля при перегрузках.

В последнее время на КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» при замере остатков угольного сырья участились случаи несоответствия фактических данных расчетным. При наличии закрытого угольного склада большой емкости, решение этой проблемы является весьма актуальным.

С целью обнаружения причины данного несоответствия на базе КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» были проведены комплексные исследования.

При обычной практике остатки на закрытом складе измеряются путем умножения заданной величины насыпной плотности (в технологическом регламенте угледоготовительного цеха указана величина  $0,75 \text{ т/м}^3$ ) угольного концентрата на объем, который он занимает в силосе. Учитывая это, основной целью исследований было определение насыпной плотности угольных компонентов, участвующих в сырьевой базе КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Величина насыпной плотности является важной технологической характеристикой углей, оказывающей существенное влияние на производительность коксовых батарей, качество кокса и выход химических продуктов коксования. В литературе достаточно широко освещены вопросы влияния различных факторов на насыпную плотность углей. В основном это касается влажности, зольности и гранулометрического состава [1-3]. Также некоторые авторы [4-6] отмечают зависимость насыпной плотности углей от срока их хранения, то есть от их окисленности. Так, после хранения шихт на Кемеровском заводе в течение 3,5 месяцев увеличение насыпной плотности состави-

до 3,7 %. В результате окисления того же угля в сушильном шкафу при температуре 130-140 °С в течение 72 ч его насыпная плотность увеличилась на 8,5-10,6 % [4].

Исследования [5] показали, что в начальный период хранения угля в штабелях до 30-45 дней насыпная плотность в зависимости от марки угля увеличивается на 3-14 %; в период хранения 45-60 дней она относительно уменьшается, особенно у газовых и длиннопламенных углей; в дальнейшем, при хранении до 90-135 дней насыпная плотность снова повышается на 2-5 % в зависимости от марки угля и условий хранения.

Определение насыпной плотности угольных концентратов проводилось как в малом аппарате, так и в силосах.

Пробы шестнадцати угольных концентратов, входящих в заводскую сырьевую базу, были подвергнуты определению насыпной плотности в малом аппарате, установленном на предприятии. Методика определения насыпной плотности угольных концентратов и угольной шихты фактической влажности и крупности основана на определении массы угля, заполнившего мерный контейнер ( $V = 0,01 \text{ м}^3$ ) аппарата после сбрасывания с высоты 2000 мм.

Определение насыпной плотности в силосе происходило следующим образом. В опорожненный бункер закрытого склада загружался угольный концентрат, масса которого определялась с помощью весов фирмы «Шенк»; проводились замеры высоты загрузки угля в шести точках при помощи шнура с грузом (лота), после чего по градуировочной таблице определялся объем, занимаемый в силосе данным концентратом. Насыпная плотность концентрата в силосе рассчитывалась как отношение его массы к занимаемому объему.

Одновременно с загрузкой угля в силос проводился его отбор для определения влажности, зольности, окисленности, гранулометрического состава и насыпной плотности в малом аппарате.

Необходимо отметить, что окисленность оценивалась по методу ИГД АН СССР – УХИНа «Определение степени окисленности углей» [7]. Согласно этому методу для характеристики степени окисленности испытуемого угля определяют его максимальную и минимальную температуры возгорания путем добавки к навеске угля бензидина, обладающего свойством восстанавливать первоначальную температуру возгорания свежего неокисленного угля (максимальный предел) и путем низкотемпературного окисления угля пергидролом (минимальный предел). На основании полученных результатов рассчитывают степень окисленности ( $d_o$ , %) угля по формуле:

$$d_o = \frac{T_{B1} - T_B}{T_{B1} - T_{B2}} \cdot 100$$

где  $T_{B1}$  – максимальная температура возгорания (по бензидину), или температура возгорания свежего неокисленного угля, °С;

$T_{B2}$  – минимальная температура возгорания, т.е. температура возгорания угля, окисленного при заданных условиях пергидролом, °С;

$T_B$  – температура возгорания исследуемого угля, °С.

В упрощенном виде определяется только разность температур между максимальной температурой возгорания по бензидину и температурой возгорания исследуемого угля ( $\Delta t$ , °С).

Для исследования были отобраны семь угольных концентратов марки «Ж» (компания «Укркокс», ЦОФ «Киевская»), два угольных концентрата смеси марок «КЖ+К+КО» (ЦОФ «Восточная», Казахстан), шесть угольных концентратов марки «К» (ОФ «Донецксталь-МЗ», компания «Укркокс», ЦОФ «Северная», Россия) и один угольный концентрат смеси марок «К+КО+ОС» (ЦОФ «Северная», Россия). Всего шестнадцать проб.

В табл. 1 приведены значения показателей качества исследованных углей.

Таблица 1

Значения показателей качества углей

Показатель	Символ, ед. измерения	Численное значение		
		максимальное	минимальное	интервал изменения
1. Общая влажность	$W^t$ , %	23,3	6,6	16,7
2. Аналитическая влажность	$W^a$ , %	13,2	0,7	12,5
3. Зольность	$A^a$ , %	15,4	4,4	11,0
4. Степень окисленности (по упрощенному способу)	$\Delta t$ , °С	54,0	1,0	53,0
5. Средний диаметр частицы	$d_{cp}$ , мм	15,76	1,76	14,0
6. Насыпная плотность в малом аппарате	$(BD)^r$ , т/м <sup>3</sup>	0,975	0,824	0,151
7. Насыпная плотность в силосе	$(BD)^c$ , т/м <sup>3</sup>	0,979	0,852	0,127

Исходя из данных табл. 1, можно констатировать, что значения общей влажности изменялись от 6,6 до 23,3 %, аналитической влажности – от 0,7 до 13,2 %, зольности – от 4,4 до 15,4 %, среднего диаметра частицы – от 1,76 до 15,76 мм, окисленности – от 1 до 54 °С. Насыпная плотность исследованных угольных концентратов в силосе составляла 0,852-0,979 т/м<sup>3</sup>.

Учитывая данное обстоятельство, становится ясным, что несоответствие данных, определившее актуальность данных исследований, является следствием того факта, что реальная насыпная плотность угольных концентратов значительно превышает нормативную на предприятии – 0,75 т/м<sup>3</sup>.

Можно подсчитать, что при изменении насыпной плотности загружаемого в силос ( $V = 2700 \text{ м}^3$ ) угля от 0,75 до 0,98 т/м<sup>3</sup> его масса увеличивается от 2025 до 2548 т или на 25,8 %.

Для определения причин увеличения насыпной плотности исследованных угольных концентратов была проведена математическая обработка полученных статистических данных. Коэффициенты парной корреляции исследованных взаимосвязей между технологическими показателями угольных концентратов приведены в табл. 2.

Исходя из приведенных в таблице данных, можно сделать вывод, что в условиях данной выборки наиболее тесно коррелируют с насыпной плотностью следующие показатели качества угля:

- окисленность ( $r = 0,792$ );
- аналитическая влажность ( $r = 0,783$ );
- общая влажность ( $r = 0,666$ ).

Величины зольности ( $r = 0,384$ ) и среднего диаметра частицы ( $r = 0,263$ ) менее тесно связаны с насыпной плотностью углей.

Таблица 2

Коэффициенты парной ( $r$ ) корреляции исследованных связей

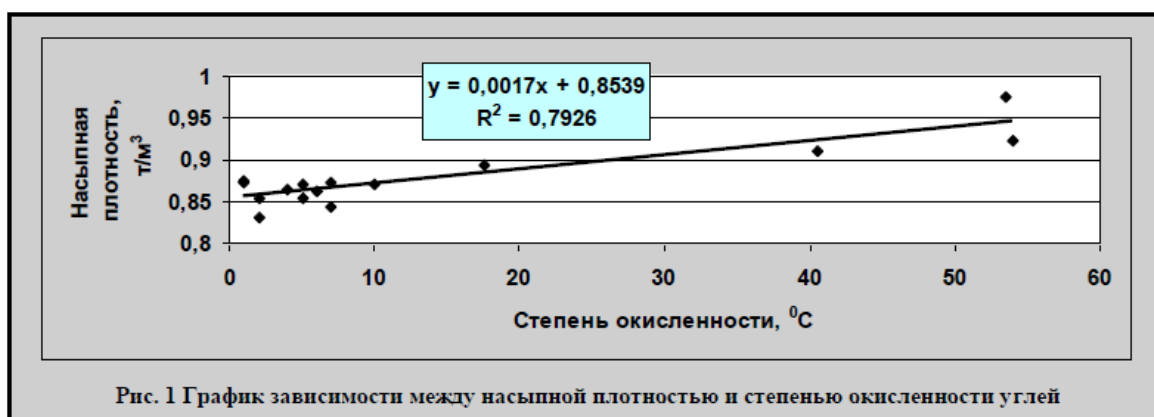
	$W_t^r$	$W^a$	$A^d$	$\Delta t$	$d_{cp}$	$(BD)^f$
$W_t^r$	-	0,864	0,497	0,893	0,206	0,666
$W^a$	0,864	-	0,317	0,966	0,364	0,783
$A^d$	0,497	0,317	-	0,301	-0,275	0,384
$\Delta t$	0,893	0,966	0,301	-	0,263	0,792
$d_{cp}$	0,206	0,364	-0,275	-0,312	-	0,263
$(BD)^f$	0,666	0,783	0,384	0,792	-0,312	-

По полученным данным был построен график зависимости насыпной плотности от окисленности, как наиболее коррелирующего показателя (рис. 1).

Анализируя график и приведенную на рисунке математическую зависимость, можно констатировать, что увеличение окисленности угольного концентрата на 10 °С приводит к росту его насыпной плотности на 0,017 т/м<sup>3</sup>.

По нашему мнению, механизм увеличения насыпной плотности углей вследствие повышения их окисленности может быть описан следующим образом.

Окисление угля сопровождается ростом общей и аналитической влажности в результате физической и химической сорбции влаги на поверхности угольных частиц [8, 9]. На поверхности угольных частиц вода образует тончайшую пленку, которая благодаря силам смачивания способствует слипанию находящихся рядом зерен. По мере увеличения влажности (окисленности) угольной массы пленка воды на зернах увеличивается, сила сцепления ослабевает, что позволяет зернам двигаться свободнее и укладываться плотнее. В конечном итоге это приводит к увеличению насыпной плотности угольных концентратов в силосах.



В целом, по итогам данного исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. Насыпная плотность угольных концентратов вследствие повышения их влажности и окисленности может достигать  $1 \text{ т/м}^3$ , что необходимо учитывать при эксплуатации силосов закрытого склада угля.

2. Необходимо включить в схему контроля прибывающих угольных концентратов определение степени их окисленности и учитывать данный показатель при заполнении бункеров закрытого угольного склада.

#### Библиографический список

1. Калач Н.И. О влиянии различных факторов на насыщенную массу угольной шихты / Калач Н.И. // Кокс и химия. – 1976. – № 9. – С. 9-10.

2. Златин Л.Е. Оптимальное измельчение и насыпная масса угольной шихты / Златин Л.Е., Пицуткина Л.М., Кузеванова А.В., Штейн А.Л., Денисов А.М. // Кокс и химия. – 1972. – № 5. – С. 6-9.

3. Златин Л.Е. Влияние различных факторов на насыщенную массу углей и шихт / Златин Л.Е., Пицут-

кина Л.М., Швед В.С., Денисов А.М., Кузеванова А.В. // Кокс и химия. – 1974. – № 3. – С. 8-10.

4. Агроскин А.А. Насыпной вес углей для коксования / Агроскин А.А., Григорьев С.М., Петренко И.Г., Питтин Р.Н. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 176 с.

5. Заиквара В.Г. Подготовка углей к коксованию / Заиквара Василий Григорьевич. – М.: Metallurgia, 1967. – 339 с.

6. Десна Н.А. Использование окисленных углей при коксовании (Обзор) / Десна Н.А., Мирошниченко Д.В. // Кокс и химия. – 2011 – № 5. – С. 2-9.

7. Скляр М.Г. Химия твердых горючих ископаемых. Лабораторный практикум / Скляр М.Г., Тютюнников Ю.Б. – Киев: Вища школа, 1985. – 247 с.

8. Панасейко С.П. Влияние влаги на процесс низкотемпературного окисления каменных углей / Панасейко С.П. // ХТТ. – 1974. – № 1. – С. 26-30.

9. Михайлов Н.М. Физические свойства топлива и борьба с затруднениями на топливоподаче электростанций / Михайлов Н.М., Шарков А.Т. – М.: Энергия, 1972. – 264 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.03.2011