

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ УГЛЕЙ УПЦ-2  
ПАО «АКХЗ»**

**THE DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR  
DETERMINATION OF THE BULK DENSITY OF  
COAL AT COAL PREPARATION PLANT № 2 OF  
PJSC "AVDIIVKA COKE"**

© 2013 Скрипченко Н.П., к.т.н., Худокормов А.П.,  
Косминский А.В., Суханов А.А. (ПАО «АКХЗ»),  
Мирошниченко Д.В., к.т.н., Мещанин В.И.  
(ГП «УХИН»)

**Skipchenko N.P., PhD in technical sciences,  
Hudokormov A.P., Kosminskiy A.V., Sukhanov A.A.  
(PJSC "AVDIIVKA COKE"),  
Miroshnichenko D.V., PhD in technical sciences,  
Meschanin V.I. (SE "UKHIN")**

*Ранее проведенными работами установлено, что окисленность приводит к росту насыпной плотности, существенно увеличивая загрузку силосов закрытого склада угля. Показано, что значения насыпной плотности угля, определенные в различных аппаратах, значительно ниже, чем в силосах закрытого угольного склада. Разработана инструкция по учету остатков угля в УПЦ-2 ПАО «АКХЗ», позволяющая по данным определения насыпной плотности в аппарате ГП «УХИН» прогнозировать ее значения в силосах закрытого угольного склада.*

*Previous work found that the oxidation leads to increasing of bulk density with significantly increase of the loading of silos of closed coal storage. It is shown that the values of coal bulk density in different apparatus are significantly lower than in the closed coal storage silos. The instruction has been developed to incorporate residues of coal in the coal preparation plant № 2 of PJSC "AVDIIVKA COKE", allowing for determination of bulk density data in the apparatus of the SE "UKHIN" to predict its value in the silos of closed coal storage.*

Ключевые слова: уголь, окисленность, насыпная плотность.

Keywords: coal, oxidation, bulk density.

\*\*\*\*\*

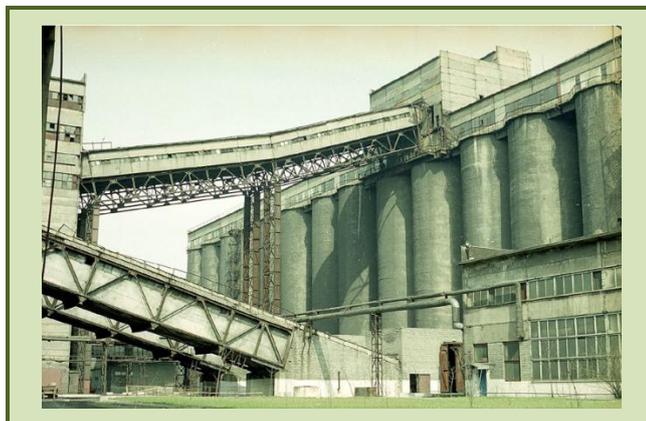
\*

**В**еличина насыпной плотности является важной технологической характеристикой угля, оказывающей существенное влияние на производительность коксовых батарей, качество кокса и выход химических продуктов коксования. В специальной литературе достаточно широко освещены вопросы влияния различных факторов на насыпную плотность угля. В основном это касается влажности, зольности и гранулометрического состава [1-3]. Также некоторые авторы [4-6] отмечают зависимость насыпной плотности угля от срока их хранения. Так, после хранения шихты на Кемеровском заводе в течение 3,5 месяцев увеличение насыпной плотности составило 3,7 %. В результате искусственного окисления этой же пробы шихты в сушильном шкафу при температуре 130-140 °С в течение 72 часов ее насыпная плотность увеличилась на 8,5-10,6 % [4].

Исследования [5] показали, что в начальный период хранения 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 сроков хранения.

В работе [7] приведены результаты исследования по определению влияния показателей качества угля (16 проб) на их насыпную плотность, значение которой определено непосредственно в силосе.

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



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 зерен – 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>.

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> масса загрузки увеличивается от 2025 до 2548 т или на 25,8 %.

Одновременно с загрузкой угля в силос проводили его отбор для определения влажности, зольности, окисленности и гранулометрического состава. Окисленность угля оценивали по методу ИГД АН СССР-УХИНа «Определение степени окисленности углей» [8]. В табл. 1 приведены значения показателей качества исследованных углей.

Таблица 1

**Значения показателей качества углей**

Показатель	Символ, единица измерения	Значение	
		максимальное	минимальное
Общая влага	$W^t, \%$	23,3	6,6
Аналитическая влага	$W^a, \%$	13,2	0,7
Зольность	$A^d, \%$	15,4	4,4
Показатель окисленности	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	54,0	1,0
Средний диаметр	$d_{\text{ср}}, \text{мм}$	15,76	1,76
Насыпная плотность в силосе	$BD^r, \text{т/м}^3$	0,979	0,852

В результате статистической обработки установлено, что в условиях данной выборки с насыпной плотностью наиболее тесно коррелируют следующие показатели качества угля:

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

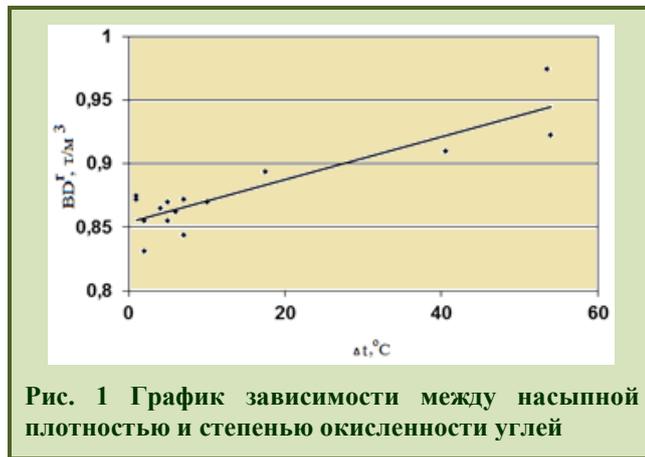
Значения зольности ( $r = 0,384$ ) и среднего диаметра зерен ( $r = 0,263$ ) менее тесно связаны с насыпной плотностью углей.

По полученным данным был построен график зависимости насыпной плотности углей от их окисленности (рис. 1).

По нашему и авторов [7] 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 сорбции влаги на поверхности угольных частиц [9, 10]. На поверхности угольных зерен вода образует тончайшую пленку, которая благодаря смачиванию способствует слипанию находящихся рядом частиц. По мере увеличения влажности (окисленности) угольной массы пленка воды на зернах увеличивается, сила сцепления ослабевает, что позволяет зернам двигаться свободнее, укладываться плотнее и, в конечном итоге, приводит к увеличению насыпной плотности угольных концентратов в силосах.

\*  $r$  - коэффициент корреляции



С учетом того факта, что угольный склад УПЦ-2 ПАО «АКХЗ» включает в себя 36 силосов с номинальным объемом 2855 м<sup>3</sup> каждого, становится актуальной разработка метода определения фактической насыпной плотности угля. Объективная оценка насыпной плотности угля необходима для предотвращения возможного переполнения силосов и учета имеющихся на складе остатков угля.

Для разработки метода определения насыпной плотности угля в условиях УПЦ-2 ПАО «АКХЗ» были проведены прямые замеры насыпной плотности в силосах закрытого склада по следующей методике. В опорожненный бункер закрытого склада закачивался угольный концентрат; проводились замеры высоты угля в шести точках при помощи шнура с грузом (лотом); по градуировочной таблице определялся объем, занимаемый в силосе данным концентратом. Одновременно с этим по железнодорожным весам определялась масса закачиваемого в силос угля.

Вследствие сложности определения насыпной плотности угля непосредственно в силосах, на основании МУ 34-70-050-83 (РД 34.09.107) «Методические указания по инвентаризации угля и горючих сланцев на электростанциях» и СОУ 10.1.00186080.002-2006 «Правила виконання маркшейдерських замірів та підрахунку обсягів видобутку вугілля за їх результатами» [11] определение проводилось также в железнодорожных вагонах, загруженных этим же углем. Использовалось не менее трех вагонов для каждого угольного концентрата. Уголь в вагоне тщательно разравнивался, с помощью металлической рулетки производили измерение высоты, длины и ширины занимаемого им в вагоне пространства с последующим вычислением его объема. Насыпная плотность определялась как отношение массы угольного концентрата (разница между массой брутто и массой тары) к занимаемому им объему.

Результаты определения насыпной плотности (в силосах и вагонах) сравнивали с насыпной плотностью этого же концентрата, определенной в аппарате ГП «УХИН» согласно «Методики определения плотности насыпной массы рядовых и обогащенных углей, концентратов и шихты для коксования в аппарате УХИНа» [12]. Сущность данного метода заключается в определении веса сбрасываемого с высоты 2 м угля в приемный контейнер фиксированного объема ( $V = 70,5 \text{ дм}^3$ ).

Отличительной особенностью аппарата ГП «УХИН» является достаточно большой объем приемного бункера, что, в отличие от других известных методов [9, 12, 13], позволяет анализировать угли большой крупности и максимально моделировать реальный процесс заполнения силоса закрытого склада.



В табл. 2 приведены результаты определения насыпной плотности в силосах (вагонах) и в аппарате ГП «УХИН» угольных компонентов сырьевой базы ПАО «АКХЗ».

Насыпная плотность угольных концентратов, входящих в сырьевую базу ПАО «АКХЗ»

№ п/п	Происхождение компонента	Марка	Насыпная плотность, т/м <sup>3</sup>	
			аппарат ГП «УХИН», BD <sub>m</sub> <sup>r</sup>	силос (вагон), BD <sup>r</sup>
1	Ш. «Южно-Донбасская №3»	Г	0,890	0,960
2	Ш. «Степная»	Г	0,975	1,050
3	ЦОФ «Добропольская»	Г	0,853	0,904
4	Шихта УПЦ-1	Г+Ж	0,758	0,899
5	Шихта УПЦ-1	Г+Ж	0,720	0,789
6	Ш. «Распадская»	ГЖ	0,860	1,000
7	ЦОФ «Дуванская»	Ж	0,766	0,940
8	Ш. «Щегловская Глубокая»	К	1,307	1,390
9	ЦОФ «Донецксталь-МЗ»	К	0,885	0,982
10	ГОФ «Зиминка»	СС	0,813	0,870
11	Разрез «Кедровский»	СС	0,837	0,888

Данные табл. 2 свидетельствуют, что значения насыпной плотности углей, полученные в аппарате ГП «УХИН», ниже, чем при определении непосредственно в силосах (вагонах).

На рис. 2 приведена графическая зависимость показателей насыпной плотности, определенных в силосе (вагоне) и аппарате ГП «УХИН».



**Рис. 2** Взаимосвязь показателей насыпной плотности, определяемой в силосе или вагоне (BD<sup>r</sup>) и аппарате ГП «УХИН» (BD<sub>m</sub><sup>r</sup>)

Математическое описание приведенной на рис. 2 графической зависимости представлено ниже (1).

$$BD^r = 0,1371 + 0,9483BD_m^r;$$

$$R^2 = 0,93 \%; SE = 0,04 \text{ т/м}^3 \quad (1),$$

где BD<sup>r</sup> – насыпная плотность угля в силосе (вагоне), т/м<sup>3</sup>;

BD<sub>m</sub><sup>r</sup> – насыпная плотность угля в аппарате ГП «УХИН», т/м<sup>3</sup>;

R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации, %;

SE – стандартная ошибка, т/м<sup>3</sup>.

Анализируя рис. 2, а также уравнение (1), можно констатировать четкую линейную зависимость между исследованными показателями. Таким образом, по данным определения насыпной плотности в аппарате ГП «УХИН» можно с достаточной точностью вычислять значения насыпной плотности угольных концентратов в силосах.

На базе проведенных исследований была разработана и внедрена в производственный процесс «Инструкция по учету остатков угольных концентратов в силосах закрытого склада углеподготовительного цеха №2 ПАО «АКХЗ».

### Выводы

1. Величина насыпной плотности углей является важным показателем, существенно влияющим на работу углеподготовительного цеха предприятия.

2. Определение насыпной плотности углей в лабораторных аппаратах существующих конструкций дает существенно заниженные результаты по сравнению с определением этого показателя в силосах закрытого склада.

3. Разработана Инструкция, позволяющая прогнозировать значения насыпной плотности углей по результатам ее измерения в аппарате ГП «УХИН».

1. **Калач Н.И.** О влиянии различных факторов на насыпную массу угольной шихты / **Н.И.Калач** // Кокс и химия. – 1976. – № 9. – С. 9-10.
2. **Златин Л.Е.** Оптимальное измельчение и насыпная масса угольной шихты / **Л.Е.Златин, Л.М.Ишутина, А.В.Кузванова, А.Л.Штейн, А.М.Денисов** // Кокс и химия. – 1972. – № 5. – С. 6-9.
3. **Златин Л.Е.** Влияние различных факторов на насыпную массу углей и шихт / **Л.Е.Златин, Л.М.Ишутина, В.С.Швед, А.М.Денисов, А.В.Кузе-ванова** // Кокс и химия. – 1974. – № 3. – С. 8-10.
4. **Агроскин А.А.** Насыпной вес углей для коксования / **А.А.Агроскин, С.М.Григорьев, И.Г.Петренко, Р.Н.Питин.** – М.: Издательство АН СССР, 1956. – 176 с.
5. **Заиквара В.Г.** Подготовка углей к коксованию / **Василий Григорьевич Заиквара.** – М.: Металлургия, 1967. – 339 с.
6. **Десна Н.А.** Использование окисленных углей при коксовании (Обзор) / **Н.А.Десна, Д.В.Мирошниченко** // Кокс и химия. – 2011. – № 5. – С. 2-9.
7. **Белошанка И.В.** Влияние качества угольных концентратов на их насыпную плотность / **И.В.Белошанка, И.И.Сикан, Б.Я.Василенко, Н.В.Му-кина, С.С.Селин, О.Я.Кобзарь, И.Д.Дроздник, Д.В.Мирошниченко, Е.В.Иванова, Н.А.Десна** // Углекимический журнал. – 2011. – № 3-4. – С. 9-12.
8. **Скляр М.Г.** Химия твердых горючих ископаемых. Лабораторный практикум / **М.Г.Скляр, Ю.Б.Тютюнников.** – Киев: Вища школа, 1985. – 247 с.
9. **Панасейко С.П.** Влияние влаги на процесс низкотемпературного окисления каменных углей / **С.П.Панасейко** // ХТТ. – 1974. – № 1. – С. 26-30.
10. **Михайлов Н.М.** Физические свойства топлива и борьба с затруднениями на топливоподаче электростанций / **Н.М.Михайлов, А.Т.Шарков.** – М.: Энергия, 1972. – 264 с.
11. СОУ 10.1.00186080.002-2006 «Правила виконання маркшейдерських замірів та підрахунку обсягів видобутку вугілля за їх результатами». – Київ: Мінвуглепром України, 2006. – 36 с.
12. **Методика определения плотности насыпной массы рядовых и обогащенных углей, концентратов и шихты для коксования в аппарате УХИНа.** – Харьков: ГП «УХИН», 2006. – 5 с.
13. **Аттестат на методику по определению насыпной плотности массы шихты на аппарате Геккер-Мамута.** – Харьков: УХИН, 2001. – 4 с.

Рукопись поступила в редакцию 29.05.2013