Записки Ленинградского Ордена Ленина Горного Института. Том XIX, 1946
Annales de l'Institut des Mines à Leningrad. Vol. XIX, 1946

К вопросу организации маркшейдерских замеров при разработке каменноугольных месторождений

Проф. *Д. А. Казаковский*

On the organization of minesurveying measurements of coal deposits

Проф. *D. A. Kazakovsky*

По своей идее задача маркшейдерских замеров является простой, однако практическое ее решение при условии обеспечения необходимой точности в ряде случаев становится сложным и требует применения специальных приемов.

Особенную сложность эта задача приобретает в условиях месторождений неметаморфизованных углей платформенного типа, характеризующихся сложной структурой пластов, непостоянством мощности, зольности и объемного веса и интенсивным выветриванием угля при хранении в штабелях.

В 1944 г. нами была проведена работа по изучению вопроса маркшейдерских замеров на Черемховском месторождении (Иркутский бассейн), являющемся месторождением указанного типа. Полученные результаты, которыми мы хотим поделиться в настоящей статье, можно с успехом использовать и на ряде других месторождений.

Так как при маркшейдерских замерах в рассматриваемых условиях наиболее трудным является точное определение объемного веса угля, то мы и остановимся на результатах нашей работы именно по этому вопросу.

I. Определение объемного веса угля в целике

а) Общие замечания

Основываясь на физической характеристике углей рассматриваемого типа месторождений, можно заранее утверждать, что их объемный вес в целике зависит от следующих факторов:

1) объемного веса материала органической массы, 2) содержания и характера внутренней (конституционной) золы, 3) содержания в угольной массе пустой породы (из прослойков) и характера этой породы и 4) влажности угольной массы.

Бóльшая часть шахт Черемховского месторождения разрабатывает так называемый „Главный пласт Черемховской каменноугольной свиты". Вышележащий пласт свиты — Малый — промышленным является на ряде ограниченных участков и разрабатывается только на одной из шахт месторождения (шахта № 5).

Две шахты разрабатывают так называемый Нижний пласт Владимирского горизонта. Главный пласт вследствие большой мощности при разработке разделяется на три слоя: Верхний, Средний (Подкалочный) и Нижний (Зумпфовый).

В настоящее время разрабатывается главным образом Верхний слой. Нижний слой на ряде шахт не разрабатывается вследствие выклинивания. На ряде других шахт этот слой хотя и имеет рабочую мощность, но разрабатывается в весьма ограниченных размерах вследствие трудности управления кровлей и возникновения подземных пожаров.

Пласты имеют сложную структуру и представляют собой пачку перемежающихся прослойков угля и пустой породы. Уголь представлен двумя основными типами: блестящими углями и матовыми с рядом переходных разностей полублестящих и полуматовых углей. Блестящие угли являются наименее зольными, а матовые наиболее зольными углями. Блестящие угли в основном приурочены к верхним пачкам пластов. Нижние пачки, как правило, представлены матовыми углями, а средние — переходными разностями. В площадном отношении блестящие угли приурочены к центральной части месторождения, а матовые к окраинной.

Содержание конституционной (внутренней) золы в углях Черемховского месторождения колеблется в широких пределах — от нескольких процентов в блестящих углях до 30 и редко 40% — в матовых.

Для Главного пласта, в соответствии с распределением отдельных типов угля, зольность увеличивается от висячего к лежачему боку и от центральной части месторождения к его окраинам.

б) Зависимость объемного веса угля от содержания внутренней золы и влажности

Пусть плотная угольная масса в целике содержит разновидности материала (компоненты) A, B, C, соответственно занимающие объемы V_1, V_2, V_3 и имеющие объемные веса R_1, R_2, R_3.

В этом случае объемный вес плотной угольной массы в целике ($R_ц$) будет равен:

$$R_ц = \frac{V_1R_1 + V_2R_2 + V_3R_3}{V_1 + V_2 + V_3} \qquad (1)$$

или в общем виде

$$R_ц = \frac{\Sigma V_iR_i}{V}, \qquad (2)$$

где V — объем, занимаемый угольной массой в целике.

Выражение (2) можно записать также в таком виде:

$$R_ц = \frac{100}{\sum_{1}^{n} \frac{C_i}{R_i}}, \qquad (3)$$

где C_i — содержание в процентах отдельных разновидностей материала угольной массы; R_i — объемный вес отдельных разновидностей материала угольной массы.

Воспользуемся выражением (3) для вывода аналитической зависимости между объемным весом чистого угля и содержанием в нем внутренней золы. Для этого обозначим:

R_y — объемный вес материала органической массы угля при естественной влажности; $A_в$ — процент содержания внутренней золы при естественной влажности угля; $R_з$ — объемный вес материала внутренней золы при естественной влажности; R_n — объемный вес чистого угля при естественной влажности.

В соответствии с принятыми обозначениями на основании выражения (3) имеем:

$$R_n = \frac{100\,R_з R_y}{100\,R_з - (R_з - R_y)\,A_в}. \tag{4}$$

Так как зольность угля обычно дается в пересчете на абсолютно сухое топливо, то необходимо установить соотношение между зольностью угля при естественной влажности ($A_в$) и зольностью абсолютно сухого топлива ($A_в^c$). Простыми рассуждениями, которые мы здесь опускаем, можно показать, что

$$A_в^c = A_в. \tag{5}$$

В соответствии с этим выведенное соотношение (4) можно записать в таком виде:

$$R_n = \frac{100\,R_з R_y}{100\,R_з - (R_з - R_y)A_в^c}. \tag{6}$$

Согласно приводимым ниже данным объемный вес органической массы черемховских углей при естественной влажности колеблется в пределах 1,25—1,28.

Исходя из этого, вычислим по формуле (6) численные значения R_n для различных величин $R_з$ и $A_в^c$. При этом $A_в^c$ будем придавать значения от 0 до 30%, т. е. до возможного предела в условиях Черемховского месторождения (табл. 1).

Таблица 1

Численные значения R_n, найденные по формуле (6)

R_y	$R_з$	$A_в^c$	R_n	$\frac{\Delta R_n}{\Delta A_в^c}$	Среднее $\frac{\Delta R_n}{\Delta A_в^c} = K$
1,25	2,20	0	1,24	0,005	0,006
		10	1,29	0,006	
		20	1,35	0,007	
		30	1,42		
1,25	2,40	0	1,24	0,006	0,007
		10	1,30	0,007	
		20	1,37	0,008	
		30	1,45		
1,25	2,50	0	1,24	0,007	0,008
		10	1,31	0,007	
		20	1,38	0,008	
		30	1,46		

Как следует из табл. 1 вследствие медленного изменения ΔR_n объемному весу чистого угля с содержанием внутренней золы $A_в^c$ процентов можно придать следующее линейное выражение:

$$R_n = R_y + K \cdot A_в^c, \tag{7}$$

где R_y — объемный вес органической массы угля при естественной влажности; $A_в^c$ — содержание внутренней золы в процентах; K — изменение объемного веса угля на $1^0/_0$ изменения содержания внутренней золы.

Величину коэффициента K и постоянной R_y можно определить по данным опыта. Проще всего это сделать по данным лабораторного определения объемного веса и зольности угля на образцах небольшого размера.

Полученные таким образом данные можно разделить на две группы, а осреднив их составить систему двух уравнений:

$$\left.\begin{aligned} R_{n_1} &= R_y + KA_{в_1}^c \\ R_{n_2} &= R_y + KA_{в_2}^c \end{aligned}\right\}, \tag{8}$$

где R_{n_1} и $A_{в_1}^c$ — средние значения объемного веса и зольности образцов первой группы; R_{n_2} и $A_{в_2}^c$ — то же образцов второй группы.

Вычитая из первого уравнения второе, получаем:

$$\Delta R_n = K \cdot \Delta A_в^c. \tag{9}$$

Из соотношений (8) и (9) можно далее получить

$$K = \frac{\Delta R_n}{\Delta A_в^c} \tag{10}$$

и

$$R_y = R_n - KA_в^c, \tag{11}$$

где R_n и $A_в^c$ — средние значения объемного веса и зольности всех образцов.

В лабораториях Ленинградского Горного Института и треста Востсибуголь в 1944 г. по нашему заданию было произведено определение объемного веса, рабочей влажности и зольности различных типов угля ряда шахт Черемховского месторождения.

Определение объемного веса производилось методом гидростатического взвешивания на образцах чистого угля весом до 200—300 г (с предварительным насыщением образцов водой взамен парафинирования).

Всего было произведено около 50 определений. Полученные данные после группировки и обработки в соответствии с приведенными выше соотношениями (10) и (11) позволили получить численные значения K и R_y выражения (7), приведенные к средним значениям рабочей влажности образцов той или иной шахты. В результате было установлено, что $K = 0{,}007$ и имеет постоянное значение для всех образцов. Величина R_y оказалась равной 1,25 для всех шахт, кроме шахты Владимир. Для шахты Владимир R_y оказалось равным 1,22.

Сравнение численных значений объемного веса образцов, вычисленных по формуле (7) и полученных опытным путем, показало их сходимость в пределах округления не только для средних, но также и для всех без исключения единичных значений.

Таблица 2

Сравнение объемного веса чистого угля по данным лабораторного определения и вычисленного по формуле (7) для образцов верхнего слоя главного пласта шахты № 7

№ образцов	R_y	Зольность угля	Объемный вес, вычисленный по формуле (7)	Объемный вес по данным лабораторного определения, приведенный к средней рабочей влажности образцов	Разность
1	1,25	4,31	1,28	1,28	0
2		1,08	1,26	1,26	0
3		1,25	1,26	1,25	+ 0,01
4		0,75	1,26	1,26	0
5		12,41	1,34	1,34	0
6		11,93	1,33	1,33	0
7		25,05	1,43	1,43	0
8		12,97	1,34	1,33	+ 0,01
	Среднее	8,72	1,31	1,31	0

Для иллюстрации в табл. 2 приводятся результаты указанного сравнения для образцов Верхнего слоя Главного пласта шахты № 7.

Подобное совпадение аналитического подсчета с данными опыта наблюдалось и по всем другим шахтам.

Это обстоятельство со всей очевидностью указывает на существование точной линейной зависимости между объемным весом и содержанием внутренней золы для углей Черемховского месторождения.

На точность увязки веса добытого угля с весом отгруженного угля (при соответствующем учете остатков на складе) оказывает влияние различие влажности отгружаемого угля и угля в целике. Ввиду этого объемный вес органической массы угля (R_y) должен быть, вообще говоря, приведен к средней влажности отгружаемого угля. Это приведение можно сделать по следующей простой формуле:

$$R_y = R_y' + 0{,}012\,(W_0 - W_p), \tag{12}$$

где R_y — приведенный объемный вес органической массы угля; R_y' — объемный вес органической массы угля по данным лабораторного определения; W_0 — средняя влажность отгружаемого угля; W_p — средняя рабочая влажность образцов.

Как показывают данные, имеющиеся в распоряжении треста, средняя годовая влажность отгружаемого угля так же, как и средняя влажность угля в целике по отдельным шахтам, является относительно стабильной как для различных точек шахтного поля, так и для отдельных месяцев года (с колебаниями в пределах 1—2%).

Это обстоятельство позволяет без заметного ущерба для точности результатов ввести заранее некоторую постоянную поправку в величину R_y формулы (7) с тем расчетом, чтобы формула автоматически учитывала влияние влажности.

Таблица 3

Численные значения объемного веса органической массы угля R_y, приведенные к средней влажности отгружаемого угля

Шахты	Пласты	R_y
5,5 — бис, 8	Главный, Малый	1,25
Владимир	Нижний	1,26
им. Кирова, 10/16,	Главный	1,27
7, Храмцовский раз-	Главный	
рез, М. Артем,		
3, Забитуй	Нижний	1,28
Среднее по всем шахтам		1,26

В результате введения поправки за различие влажности образцов и отгружаемого угля были получены значения входящей в формулу (7) величины R_y, приведенные в табл. 3.

Полученные результаты небезынтересно сравнить с данными определения объемного веса, произведенного в 1939/40 г. на шахтах Черемховского месторождения, в соответствии с распоряжением Наркомата.

Определение объемного веса производилось методом опытной вырубки для чистых угольных пачек с параллельным анализом угля на зольность.

Всего за указанный период было проделано 91 определение, результатами которых и пользовались до настоящего времени при обработке маркшейдерских замеров. Как показывают данные табл. 4, результаты опытной

Таблица 4

Сравнение объемного веса, полученного пробной вырубкой и вычисленного аналитически по средней зольности

Наименование шахт и пластов, для которых было произведено определение объемного веса методом опытной вырубки	Данные опытной вырубки			Значение объемного веса, вычисленного по формуле (7)	Отклонение
	Количество определений	Средняя зольность чистых угольных пачек $A_в^c$	Средний объемный вес, приведенный к средней влажности угля по отгрузке		
Шахта им. С. М. Кирова					
1) Верхний слой Главного пласта	7	6,54	1,32	1,32	0
2) Нижний слой Главного пласта	3	17,86	1,36	1,39	— 0,03
Шахта № 7					
1) Верхний слой Главного пласта	7	6,38	1,32	1,32	0
2) Нижний слой Главного пласта	2	10,63	1,34	1,35	— 0,01

Продолжение таблицы 4

Наименование шахт и пластов, для которых было произведено определение объемного веса методом опытной вырубки	Данные опытной вырубки			Значение объемного веса, вычисленного по формуле (7)	Отклонение
	Количество определений	Средняя зольность чистых угольных пачек $A_в^c$	Средний объемный вес, приведенный к средней влажности угля по отгрузке		
Храмцовский разрез					
1) Верхний слой Главного пласта	6	6,72	1,33	1,33	0
2) Подкалочный слой Главного пласта	6	12,32	1,37	1,37	0
3) Нижний слой Главного пласта	5	11,08	1,36	1,36	0
Шахта М. Артем					
1) Верхний слой Главного пласта	12	12,32	1,37	1,37	0
Шахта № 5-бис					
1) Верхний слой Главного пласта	12	11,71	1,33	1,33	0
Шахта № 5					
1) Главный пласт	9	12,44	1,34	1,34	0
2) Малый пласт	2	8,88	1,30	1,31	— 0,01
Шахта № 8					
1) Верхний слой Главного пласта	10	15,36	1,36	1,36	0
2) Нижний слой Главного пласта	2	29,40	1,43	1,45	— 0,02
Среднее по всем шахтам		11,77	1,34	1,34	0

вырубки очень хорошо согласуются с результатами аналитического подсчета по формуле (7), если величину K принять равной 0,007, а величину R_y в соответствии с табл. 3.

в) Зависимость объемного веса угля от содержания породы (внешней золы)

Как уже указывалось выше, пласты Черемховского месторождения представлены перемежающимися прослойками угля и породы. Породные прослойки в свою очередь представлены „плитой" (кремнисто-углистые образования), глинами, глинистыми и углисто-глинистыми сланцами и реже песчаниками и аргиллитами. Все породы содержат некоторое непостоянное количество угля, достигающее 25—30%.

Характер породных прослойков в пределах отдельных шахтных полей имеет устойчивый характер. Наряду с этим мощность их подвержена колебаниям.

Произведенное определение объемного веса породы показало результаты, приведенные в табл. 5.

Таблица 5

Объемный вес породы из прослойков пластов Черемховского месторождения

№ п/п	Название пород	Объемный вес
1	Глины, глинистые сланцы	1,80—2,00
2	Углисто-глинистые сланцы	1,50—1,80
3	Плита и песчаник	2,00—2,30

Примечание. Объемный вес пород колеблется в зависимости от содержания в ней углистого вещества.

На основании выражения (3) нетрудно вывести следующее выражение для поправки ($\Delta R_ц$) к объемному весу чистого угля за счет неизбежного вовлечения в добычу прослойков пустой породы:

$$\Delta R_ц = \frac{R_п C_п (R_{пор} - R_п)}{100 R_{пор} - C_п (R_{пор} - R_п)}, \qquad (13)$$

где $R_п$ — объемный вес материала чистых угольных пачек, $C_п$ — процентное участие мощности прослойков пустой породы в общей мощности породных прослойков, вовлекаемых в добычу; $R_{пор}$ — средний объемный вес материала прослойков пустой породы, вовлекаемых в добычу.

Так как содержание породы в угле обычно незначительно и выражается в размере нескольких процентов, то выведенную выше зависимость между $\Delta R_ц$ и содержанием в угле породы можно представить в линейном виде, а именно:

$$\Delta R_ц = K' \cdot C_п. \qquad (14)$$

Для определения коэффициента K' составим таблицу численных значений $\Delta R_ц$ для различных $R_{пор}$ и $C_п$, приняв объемный вес чистых угольных пачек $R_п$ равным 1,35 (табл. 6).

Таблица 6

Численные значения $\Delta R_ц$, вычисленные по формуле (13)

$R_п$	$R_{пор}$	$C_п$	$\Delta R_ц$	$K' = \frac{\Delta R_ц}{C_п}$
1,35	1,50	10	0,01	0,001
1,35	1,60	10	0,02	0,002
1,35	1,70	10	0,03	0,003
1,35	1,80	10	0,03	0,003
1,35	2,00	10	0,04	0,004
1,35	2,20	10	0,05	0,005
1,35	2,40	10	0,06	0,006
1,35	2,50	10	0,07	0,007

Таким образом, согласно данным табл. 5 и 6 увеличение объемного веса за счет присутствия породы из прослойков, идущих в добычу, может быть подсчитано из следующих соотношений:

1) При преобладании в угле в качестве загрязняющих пород глин, глинистых, углисто-глинистых сланцев и аргиллитов $\Delta R_ц = 0{,}003\ C_п$.

2) При преобладании „плиты" и песчаников $\Delta R_ц = 0{,}004\ C_п$.

Количество внешней золы в товарном угле шахт Черемховского месторождения в среднем колеблется около 5%, имея несколько повышенное значение для нижнего (более загрязненного) слоя Главного пласта и еще более повышенное при открытом способе разработки. В связи с этим поправку $\Delta R_ц$ с достаточной степенью точности можно принимать в соответствии с табл. 7.

Таблица 7

Численные значения поправки $\Delta R_ц$

Шахты	Пласты, слои	$\Delta R_ц$
Шахты с подземным способом разработки	Верхний слой пласта Главного при преобладании в загрязняющей уголь породе глин, глинистых, углисто-глинистых, сланцев и аргиллитов	+0,01
	Нижний слой Главного пласта, Верхний слой Главного пласта при преобладании „плиты" и аргиллитов. Малый пласт. Нижний пласт Владимирского горизонта	+0,02
Храмцовский разрез (открытые разработки)	Главный пласт при разработке с применением экскаваторов	+0,03

г) Аналитическое определение объемного веса

На практике до сих пор при определении объемного веса применялся исключительно способ опытной вырубки, который рекомендуется и последней инструкцией НКУП (см. „Инструкцию по учету добываемого угля", утвержденную НКУП 11 сентября 1943 г.).

Укрепившемуся мнению о том, что пробная вырубка является единственно надежным способом, в значительной мере способствовали работы кафедры Маркшейдерского дела Днепропетровского Горного Института. В результате этих работ доц. А. Е. Алифоновым (см. журнал „Уголь", № 146, 1939 г.) были сделаны необоснованно категорические выводы о невозможности пользоваться для определения объемного веса какими-либо способами, исключая способ опытной вырубки.

Поставим себе такой вопрос: насколько метод опытной вырубки является надежным и приемлемым в условиях, аналогичных условиям Черемховского месторождения?

При ответе на этот вопрос необходимо исходить из трудоемкости и сложности способа и возможной точности его результатов.

При наличии большого количества определений мы имели возможность оценить с большой степенью объективности погрешность единичных и средних значений объемного веса, полученных в 1939—1940 гг. опытной вырубкой. Так как в данном случае объемный вес зависит от зольности, эту оценку нельзя делать по отклонениям от среднего арифметического, а необходимо пользоваться следующими формулами:

$$M(R) = \pm\sqrt{\frac{\Sigma(R_n - R'_n)^2}{n}}; \qquad (15)$$

$$M(R_{ср}) = \pm\frac{M(R)}{\sqrt{n}} \qquad (16)$$

где $M(R)$ — средняя квадратическая ошибка единичного определения объемного веса; $M(R_{ср})$ — ошибка среднего значения объемного веса; $R_п$ — значения объемного веса по данным опытной вырубки; $R'_п$ — значения объемного веса, найденные по формуле (7); n — количество определений.

Произведя вычисления по формулам (15) и (16), мы пришли к следующим выводам:

1) Ошибки единичных значений объемного веса значительны и могут достигать $\pm 0{,}07$.

2) При сравнительно небольшом количестве определений (10—12), при котором способ становится весьма трудоемким, ошибка среднего значения объемного веса, как правило, не превышает 0,02 и является практически приемлемой.

Однако это еще далеко не означает, что найденные для отдельных шахт средние значения объемного веса можно считать отвечающими с указанной степенью точности истинному значению. Такое положение может иметь место лишь при следующих условиях:

1) когда зольность угля, использованного для определения объемного веса, отвечает средней зольности угля той или иной шахты;

2) если зольность угля остается неизменной при переходе горных работ за пределы тех участков, на которых производилось определение объемного веса.

Для месторождений рассматриваемого типа первое условие трудно выполнимо, а второе условие вообще не имеет места, так как зольность угля помимо резких колебаний по мощности пласта претерпевает изменения по мере подвигания горных выработок.

Подобные изменения зольности могут привести с течением времени к большим искажениям численных значений объемного веса, принятых по данным опытной вырубки. Как следует из табл. 8, численные значения объемного веса для отдельных шахт Черемховского месторождения, полученные в 1939—1940 гг. опытной вырубкой, уже в 1943 г., вследствие изменения зольности, оказались заниженными до 6%.

Установленная нами точная линейная зависимость между объемным весом и зольностью угля позволяет рекомендовать для условий Черемховского месторождения аналитический способ подсчета объемного веса. При этом способе, на основании выведенных выше соотношений, можно пользоваться следующей формулой:

$$R_ц = R_у + 0{,}007\ A^c_в + \Delta R_ц, \qquad (17)$$

где $R_ц$ — объемный вес угля в целике; $R_у$ — объемный вес материала органической массы угля, $A^c_ц$ — средняя зольность чистых угольных пачек в пределах разрабатываемых участков шахтного поля; $\Delta R_ц$ — поправка за счет вовлечения в добычу прослойков пустой породы.

Величина постоянной $R_у$ для отдельных шахт берется в соответствии с табл. 3. Для Главного пласта эта постоянная имеет одно и то же численное значение для всех его слоев, разрабатываемых в пределах той или иной шахты.

Входящая в выражение (17) средняя зольность чистых угольных пачек ($A^c_в$) берется по данным пластовых проб, отбираемых службой углеобогащения треста в связи с разработкой проектов стандарта зольности угля, по отдельным шахтам, пластам и слоям. Поправка $\Delta R_ц$, входящая в формулу (17), берется в соответствии с табл. 7.

Ввиду значительного различия зольности подсчет объемного веса необходимо производить отдельно по каждому из разрабатываемых пластов, а для

Главного пласта с подразделением по слоям. Пересмотр численных значений объемного веса производится по возможности ежегодно, с учетом последних данных пластовых проб.

Таблица 8

Сравнение объемного веса угля в целике, вычисленного аналитически по формуле (17) с фактически принятыми значениями на основании опытной вырубки

№ п/п	Шахты	Разрабатываемые пласты	Разрабатываемые слои	Средняя зольность чистых угольных пачек по данным опытной вырубки 1939—1940 гг.	Средняя зольность чистых угольных пачек по данным пластовых проб 1943 г.	Фактически принятый объемный вес по данным опытной вырубки	Объемный вес по данным аналитических подсчетов	Расхождение
1	им. С. М. Кирова	Главный	Верхний	6,54	9,60	1,34	1,35	—0,01
			Нижний	17,86	11,71	1,36	1,37	—0,01
2	№ 7	То же	Верхний	6,38	11,70	1,34	1,37	—0,03
3	Храмцовский разрез	„	Верхний Подкал Нижний	10,04	16,22	1,35	1,42	—0,07
4	М. Артем	„	Верхний	12,32	10,08	1,34	1,36	—0,02
			Нижний	—	16,95	1,36	1,42	—0,06
5	10/16	„	Верхний	—	15,64	1,34	1,39	—0,05
6	№ 5	Главный	Верхний	12,44	14,56	1,34	1,36	—0,02
		Малый	—	8,88	11,51	1,30	1,35	—0,05
7	№ 5-бис	Главный	Верхний	11,71	19,58	1,34	1,40	—0,06
8	№ 3	То же	То же	11,71	19,72	1,34	1,43	—0,09
9	№ 8	„	„	15,36	17,77	1,34	1,38	—0,04
10	Забитуй	Нижний	—	—	18,13	1,36	1,43	—0,07
11	Владимир	Нижний	—	—	11,50	1,36	1,36	0

д) Соображения о возможной точности аналитического способа

Погрешность результата при аналитическом методе подсчета объемного веса складывается из следующих ошибок:

1) Ошибки расчетной формулы.

2) Ошибки за счет колебания средней зольности чистых угольных пачек.

3) Ошибки за счет колебания влажности угля.

Ошибку за счет колебания содержания породы не следует принимать в расчет, поскольку содержание берется не фактическое, а по стандарту, и поскольку влияние изменения содержания породы практически ничтожно.

Ошибка расчетной формулы согласно приведенным выше данным не превышает 0,01.

Ошибка вследствие колебания средней зольности чистых угольных пачек равна:

$$M(R_{\text{д}}) = \pm 0{,}007 \cdot \Delta A_{\text{в}}{}^{\text{с}}. \qquad (18)$$

Изменение средней зольности чистых угольных пачек в течение года для отдельных шахт не превышает 1—2% для верхнего слоя Главного пласта и 4% для Нижнего слоя. При таком колебании зольности пределы колебания объемного веса будут выражаться согласно (18) в размере от 0,01 для Верхнего слоя, до 0,03 для Нижнего слоя.

Колебания влажности угля в целике и отгружаемого угля не превышают 2%. Таким образом отклонение от среднего значения влажности не превышает $\pm 1\%$.

В соответствии с этим общая ошибка объемного веса, принятого по данным аналитического подсчета, даже в наиболее неблагоприятных случаях (Нижний слой) не превышает величины $\pm\sqrt{(0{,}01)^2+(0{,}03)^2+(0{,}01)^2} = \pm 0{,}03$, что в относительном выражении дает $\pm\frac{0{,}03\cdot 100}{1{,}4}=\pm 2\%$. Для Верхнего слоя Главного пласта с более устойчивой зольностью эта ошибка не превышает величины: $\pm\sqrt{(0{,}01)^2+(0{,}01)^2+(0{,}01)^2}=\pm 0{,}02$, или около 1%. Согласно табл. 8 ошибка принимаемых в настоящее время значений объемного веса (по данным опытной вырубки (1939—1940 гг.) имеет систематический характер по знаку и достигает даже для верхнего слоя Главного пласта 6%.

Как видим, предлагаемый способ аналитического подсчета значительно точнее способа пробной вырубки. С точки же зрения трудоемкости, аналитический способ не идет ни в какое сравнение со способом опытной вырубки, так как не требует никаких лабораторных или полевых работ и базируется на данных, которые берутся в готовом виде.

По указанным причинам этот способ может найти широкое применение и на других месторождениях.

II. Определение объемного веса в штабелях

а) Общие замечания

Угли типа черемховских по физическим и химическим свойствам относятся к весьма неустойчивым углям, подверженным активному изменению при хранении в штабелях. С физической стороны изменение угля выражается в измельчении его, обязанным, главным образом, колебаниям влажности. Изменение крупности угля начинается с поверхности штабеля и постепенно развивается внутрь его. Наиболее интенсивно процесс изменения протекает в первые месяцы хранения, а впоследствии после образования достаточно толстой оболочки из мелкого угля этот процесс резко замедляется и наконец практически затухает. Даже при длительном хранении (до 2 лет) на глубине 1—1,5 м от поверхности штабеля уголь не претерпевает заметных изменений.

Как следует из приведенных ниже данных с течением времени происходит усадка штабеля (уменьшение высоты). На основании этого можно утверждать, что коэффициент разрыхления угля в штабеле (K_m) с течением времени уменьшается как для всего штабеля в целом, так и для внешнего слоя его, затронутого процессом выветривания.

Инструкцией по учету добываемого угля, утвержденной НКУП 11/IX-1943 г. рекомендуются следующие способы определения объемного веса угля в штабелях:

1) Путем замера кубатуры и взвешивания угля из отвала правильной формы.

2) Загрузкой угля в железнодорожный вагон с последующим взвешиванием угля на вагонных весах и замером его кубатуры.

3) Насыпкой угля в ящик правильной формы с последующим взвешиванием угля на десятичных весах.

С точки зрения трудоемкости наиболее простым является третий способ, который и нашел вследствие этого наиболее широкое применение на практике.

Первый и второй способы не получили широкого распространения вследствие более сложной организации опыта.

Что же касается точности, то эти способы, особенно при неоднородном (по крупности и зольности) угле, нет оснований относить к наиболее точным способам, что объясняется главным образом возможным несоответствием характеристики взвешиваемого угля средней характеристике его по отдельным штабелям. При таких условиях в практическом отношении все же наиболее приемлемым является третий способ, как наименее трудоемкий и наиболее простой.

Наряду с этим применительно к рассматриваемым условиям этот способ нуждается в некоторых изменениях по сравнению с указаниями, изложенными в Инструкции НКУП.

Необходимо выяснить также влияние различия коэффициентов разрыхления угля в штабеле и насыпного угля.

Поправка, которую следует придавать объемному весу насыпного угля при определении объемного веса угля в штабеле, в нормальном случае не превышает 4—5%, вследствие чего ее достаточно знать приближенно с относительной точностью до 25—30%.

б) Определение объемного веса угля в штабелях по объемному весу насыпного угля

При условии неизменности массы угля при хранении можно написать:

$$\frac{R_ш}{R_н} = \frac{K_н}{K_ш}, \tag{19}$$

где $K_н$ — коэффициент разрыхления насыпного угля; $R_н$ — объемный вес насыпного угля; $K_ш$ — коэффициент разрыхления угля в штабеле; $R_ш$ — объемный вес угля в штабеле.

Величины $R_н$ и $K_ш$ можно заменить их приближенными значениями, отвечающими углю со средней характеристикой, а именно: $R_н = 0{,}90$; $K_ш = 1{,}50$. В результате вместо (19) получим:

$$R_ш = R_н + 0{,}60(K_н - K_ш) = R_н + \Delta R_н. \tag{20}$$

Величину $\Delta R_н$ можно рассматривать как ту поправку, которую необходимо придать объемному весу насыпного угля, чтобы получить объемный вес угля в штабеле. Поправка $\Delta R_н$ зависит от усадки штабеля при хранении. Так, если относительную усадку штабеля обозначить через μ%, то нетрудно показать, что

$$\Delta R_н \approx \frac{\mu}{100}. \tag{21}$$

Относительная укладка штабеля μ в свою очередь зависит от первоначальной крупности угля, высоты штабеля и длительности его хранения. Как усадка μ, так и поправка $\Delta R_н$ складываются из двух величин, т. е.

$$\mu = \mu' + \mu''; \tag{22}$$

$$\Delta R_н = \Delta R_н' + \Delta R_н''. \tag{23}$$

Величины μ' и $\Delta R_н'$ обязаны уплотнению штабеля в момент его закладки вследствие собственного веса. Величины μ'' и $\Delta R_н''$ обязаны уплотнению

штабеля в зависимости от длительности хранения. Численные значения μ' и $\Delta R_н'$ были определены нами посредством сдавливания угля: в трубе $h = 1$ м, $F = 4$ дм², а величины μ'' и $\Delta R_н''$ — посредством нивеллировки реперов, заложенных в штабеля с различным сроком хранения. Результаты наблюдений приводятся в табл. 9.

Таблица 9

Величина поправки к объемному весу насыпного угля за счет его уплотнения в штабеле

Первоначальная крупность угля, заложенного в штабель (крупность неизменного угля)	Продолжительность хранения угля в штабеле	Высота штабеля	Поправка за уплотнение ($\Delta R_н$)	
			при сухой погоде	при дождливой погоде
Уголь рядовой	До 1 мес.	Для любой	0,01	0,04
» »	» 2 »	высоты	0,02	0,06
» »	» 6 »	в пределах	0,02	0,07
» »	Свыше 1 года	до 10 м	0,07	
Уголь мелкий, класса —5+0	Свежей укладки	5	0,03	
		10	0,06	

Как показали опыты, высота штабеля оказывает заметное влияние на уплотнение мелкого угля и практически ничтожное на уплотнение рядового угля. Большое влияние на уплотнение рядового угля оказывают атмосферные осадки (дожди).

в) Определение объемного веса насыпного угля

Объемному весу насыпного угля ($R_н$) можно придать следующее выражение:

$$R_н = \frac{R_ц}{K_н}, \qquad (24)$$

где $R_ц$ — объемный вес плотной угольной массы (в целике); $K_н$ — коэффициент разрыхления насыпного угля.

Коэффициент разрыхления насыпного угля зависит от следующих факторов: 1) крупности угля, 2) размеров сосуда, в который насыпается уголь.

Для рядового угля черемховских шахт (характеристика крупности которого приводится в табл. 10), $K_н = 1{,}50$. Отсюда в соответствии с (17) и (24) изменению объемного веса насыпного угля в зависимости от колебания зольности, крупности и влажности его можно придать следующее выражение:

$$\partial R_н = 0{,}6\,\partial K_н + 0{,}005\,\partial A_в^c + 0{,}003\,\partial C_п + 0{,}008\,\partial W, \qquad (25)$$

где $\partial R_н$ — изменение объемного веса насыпного угля, в зависимости от изменения крупности угля, зольности и влажности; $\partial K_н$ — изменение коэффициента разрыхления угля; $\partial A_в^c$ — изменение среднего содержания внутренней золы; $\partial C_п$ — изменение содержания породы в пробе, ∂W — изменение влажности угля в пробе.

Таблица 10

Примерная характеристика крупности товарного угля шахт Черемховского месторождения (при подземном способе разработки.)

Классы угля	Выход, (в %)
— 25+ 0	60,0
— 50+ 25	8,0
—100+ 50	12,0
—150+100	10,0
+150	10,0

Произведенные опыты по определению коэффициентов разрыхления рядового (табл. 10) и мелкого угля дали следующие результаты: коэффициент разрыхления рядового угля равен 1,50, а мелкого (класса —5 мм) — 1,56. Таким образом, за счет изменения крупности угля в указанных пределах изменение объемного веса, согласно выражению (25), может достигать 0,04 или в относительном исчислении $\frac{0{,}04 \cdot 100}{0{,}90} = 4\%$.

Для того чтобы крупность угля не влияла на точность определения его объемного веса из старых штабелей, уголь нельзя брать из верхней выветрившейся корки.

Из выражения (25) следует далее, что колебания содержания внутренней золы в угле вызывают в два раза большее изменение объемного веса, чем колебание содержания породы.

В соответствии с формулированными положениями необходимо рекомендовать следующий способ определения входящего в выражение (20) объемного веса насыпного угля ($R_н$):

1) При определении $R_н$ необходимо стремиться к тому, чтобы отобранная проба как по вещественному составу, так и по крупности угля отвечала средней характеристике неизмененного угля и чтобы отобранная проба была составлена из угля, не затронутого процессом выветривания (измельчения). В этих целях необходимо:

а) уголь, ссыпаемый в ящик, брать в нескольких точках штабеля;

б) в штабелях со сроком хранения свыше 2 мес. уголь брать с глубины не менее 0,5 м, а с продолжительностью хранения свыше 2 мес. — с глубины не менее 1 м от поверхности штабеля.

2) Во избежание искажения естественного коэффициента разрыхления насыпного угля вследствие ограниченных размеров ящика необходимо:

а) при засыпке угля в ящик к стенкам его и сверху укладывать мелкий уголь, а в середину — крупные куски вперемежку с мелким углем;

б) после засыпки угля в ящик поверхность угля тщательно выравнивать на уровне стенок посредством срезания деревянной рейкой.

При соблюдении рекомендованных правил нет необходимости придавать ящику большие размеры. Можно вполне ограничиться размером $1 \times 1 \times 1$ м

Выводы

Замеры добычи и штабелей на складах относятся к одной из важных задач маркшейдерской службы.

Решение этой задачи с необходимой точностью встречает особенно большие трудности в условиях месторождений неметаморфизованных углей платформенного типа. В этих условиях основное внимание должно быть уделено методике определения объемного веса угля в целике и в штабелях.

В рассматриваемой статье предлагается впервые разработанный автором метод аналитического подсчета объемного веса угля в целике. При этом методе необходимо пользоваться формулой:

$$R_ц = R_у + KA_в^c + \Delta R_{ц_3} \qquad (1)$$

где $R_ц$ — объемный вес угля в целике, принимаемый при маркшейдерских подсчетах добычи; R_y — объемный вес органической массы угля; K — изменение объемного веса в связи с изменением содержания внутренней золы на 1%, $A_в^c$ — содержание внутренней золы в процентах, $\Delta R_ц$ — поправка к объемному весу за счет вовлечения в добычу породы из прослойков пласта.

Входящие в выражение (1) величины R_y и K легко могут быть найдены по данным лабораторных определений объемного веса угля на гидростатических весах.

Величина $\Delta R_ц$ может быть подсчитана по данным средней характеристики зольности товарного угля, а величина $A_в^c$ — по данным пластовых проб. Как показали опытные определения, проведенные на Черемховском месторождении, аналитический метод обеспечивает точность результата в пределах $1—2\%$ и является значительно менее трудоемким, чем обычно применяемый метод опытной вырубки. Точность метода опытной вырубки в ряде случаев не превышает 10%.

Проведенные опыты по определению объемного веса угля в штабелях показали, что в указанных условиях наиболее точные результаты дает определение при помощи ящика размером $1 \times 1 \times 1$ м.

К полученному таким образом объемному весу насыпного угля придается поправка за счет уплотнения угля в штабеле. Для рядового (по крупности) угля с продолжительностью хранения свыше 1 года поправка равна $+8\%$. Поправка практически не зависит от высоты штабеля. Для угля со сроком хранения до 1 года поправка в значительной степени зависит от количества атмосферных осадков (дождя). Так, при хранении угля от 2 до 6 месяцев поправка при сухой погоде равна $+2\%$, а при дождливой $+8\%$. При хранении угля до 1 месяца поправка при сухой погоде равна $+1\%$, а при дождливой $+4{,}5\%$.

Zusammenfassung

Die Messung der Gewinnung und der Stabeln in den Lagern ist die wichtigste Aufgabe des Markscheidediensts.

Die genaue Lösung dieser Aufgabe stösst auf besonders grosse Schwierigkeiten in den Bedingungen der Lagerstätte, die unmethamorphisierte Kohle des Plattformtypus bezitzen. In diesen Bedingungen muss die Hauptaufmerksamkeit der Methodik der Bestimmung des Volumengewichts der Kohle in der Bergfeste und in den Stabeln geschenkt werden.

In dem von uns betrachteten Artikel wird zum erstenmal vom Verfasser die ausgearbeitete Methode der analytischen Berechnung des Volumengewichts der Kohle in der Bergfeste vorgeschlagen.

Bei dieser Methode lässt sich folgende Formel ableiten

$$R_ц = R_y + K A^c{}_в + \Delta R_ц, \qquad (1)$$

wo $R_ц$ — das angenommene Volumengewicht der Kohle in der Bergfeste bei Markscheiderechnungen ist; R_y — das Volumengewicht der organischen Masse der Kohle; K — ist die Veränderung des Volumengewichts im Zusammenhang mit der Veränderung der Quantität der Innen-Asche auf 1%; $A_в^c$ — die Quantität der Innen-Asche in $\%\%$. ΔR_g — die Zulage des Volumengewichts durch Hineinziehung in die Gewinnung des Gesteins aus dünnen Flötzen. Man kann die Grössen der Formel nach den Angaben der Laboratorium-Bestimmungen des Volumengewichts der Kohle in den hydrostatischen Gewichten leicht finden.

Auch kann man die Grössen o R_y nach den Angaben der mittleren Charakteristik der Asche der Marktkohle errechnen, aber die Grösse $A_в^c$ nach den

Angaben der Flötz Proben. Wie die durchgeführten Versuchs-Definitionen in den Lagerstätten in Tscheremchowo zeigen, sichert die analytische Methode die Pünktlichkeit des Resultats in den Grenzen 1—2% und ist bedeutend weniger zeitraubend als die gewöhnlich angewandte Methode des Versuchs-Aushauens.

Die Genauigkeit der Methode des Versuchs-Aushauens übersteigt in einigen Fällen nicht 10%.

Die durchgeführten Versuche der Definition des Volumengewichts der Kohle in Stabeln haben gezeigt, dass die am meisten genauen Resultate in bezeichneten Bedingungen eine Bestimmung mittels eines Kastens vom Umfang $1 \times 1 \times 1$ m geben. Dem auf so eine Art erhaltenen Volumengewicht der aufgeschüttenen Kohle wird eine Zulage mittels der Abdichtung der Kohle in Stabeln zugefügt.

Bei der gewöhnlichen über 1 Jahr aufbewahrten (Grösse) ist die Lulage gleich 8%. Die Zulage hängt praktisch nicht von der Höhe des Stabels ab.

Bei der bis 1 Jahr aufbewahrten Kohle, hängt die Zulage in gewissem Grad von der Quantität der atmosphärischen Niederschläge ab.

So z. B. ist bei der Aufbewahrung der Kohle von 2 bis 6 Monaten die Zulage bei trockenem Wetter + 2%, aber bei Regenwetter + 8%.

Bei der Aufbewahrung der Kohle bis zu einem Monat ist die Zulage bei trockenem Wetter gleich + 1%, aber bei Regenwetter + 4,5%.