

УСТАНОВЛЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДОБЫЧИ И ВЕСА ВАГОНЕТКИ ПО БЛОКАМ ПРИ ОТСУТСТВИИ НА ШАХТЕ ВЕСОВОГО ХОЗЯЙСТВА

В. И. АКУЛОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

При отсутствии на шахте весового хозяйства добыча рудной массы за отчетный месяц по отдельным блокам устанавливается или по статистическому учету, или по маркшейдерским замерам. По маркшейдерским замерам можно установить добычу только для тех блоков, в которых возможна инструментальная съемка очистного забоя.

Определение добычи по статистическому учету основано на ежесменном бирочном учете количества вагонеток, поступивших с каждого блока.

При статистическом учете необходимо знать вес вагонетки для каждого блока, который обычно устанавливается непосредственным взвешиванием раз в месяц или раз в квартал, а иногда и через более длительный промежуток времени.

Распространение веса вагонетки, полученного из выборочного взвешивания, на все вагонетки, поступившие с блока в течение месяца, является одной из причин, наблюдаемых на практике значительных отклонений статистической добычи в целом по шахте от фактической. Поэтому при отсутствии весового хозяйства практически всегда возникает задача корректирования статистической добычи блоков в соответствии с фактической добычей рудной массы в целом по шахте.

Фактическая добыча рудной массы в целом по шахте за отчетный месяц при отсутствии весового хозяйства достаточно точно может быть определена по балансу движения рудной массы на поверхности для случая, когда она не обогащается, т. е. является товарной рудой, или по балансам движения товарной руды и хвостов, или по товарной руде, полученной за отчетный месяц, для случая, когда рудная масса обогащается.

При определении по товарной руде, полученной за отчетный месяц, фактической добычи рудной массы в целом по шахте исходят из следующей системы уравнений:

$$Q_T + Q_x = Q_0; \tag{1}$$

$$Q_T C_T + Q_x C_x = Q_0 C_0,$$

где Q_T — добыча товарной руды за месяц;

Q_x — количество хвостов за месяц;

Q_0 — фактическая добыча рудной массы в целом по шахте за месяц;
 C_T , C_x и C_0 — содержание металла соответственно в товарной руде, хвостах и в рудной массе, выданной на поверхность по шахте.
 Решив систему уравнений (1) относительно Q_0 , получим:

$$Q_0 = Q_T \frac{C_T - C_x}{C_0 - C_x}, \quad (2)$$

Определение фактической добычи рудной массы в целом по шахте по формуле (2) производится на некоторых рудниках, например, на руднике Темир-Тау Кузнецкого металлургического комбината.

Корректирование статистической добычи блоков в соответствии с фактической добычей рудной массы в целом по шахте может быть выполнено двумя способами:

- 1) по балансу рудной массы,
- 2) по балансу рудной массы и металла.

При корректировании добычи отдельных блоков по балансу рудной массы невязка между статистической добычей в целом по шахте и фактической распределяется пропорционально статистической добыче. Такой способ корректирования статистической добычи блоков не учитывает как степень загруженности вагонеток из различных блоков, так и правильность определения их веса. Вследствие чего добыча блоков, установленная, исходя из баланса рудной массы, может в значительной степени отличаться от действительной.

Близкая сходимость корректированной добычи к действительной, как показали наши исследования, получается при установлении добычи блоков по балансам рудной массы и металла, выданных на поверхность в целом по шахте. Способ корректирования статистической добычи блоков по балансам рудной массы и металла, выданных на поверхность, в литературе еще не разработан, поэтому в дальнейшем остановимся на его теоретической стороне.

Введем обозначения:

- $q_1, q_2, \dots, q_n$ — добыча рудной массы соответственно из 1, 2, ..., n блока по статистическому учету;
 $(q_1), (q_2), \dots, (q_n)$ — поправка к статистической добыче рудной массы соответственно 1, 2, ..., n блока за счет корректирования;
 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ — корректированная добыча рудной массы соответственно 1, 2, ..., n блока;
 $C_1, C_2, \dots, C_n$ — содержание металла в рудной массе, добытой соответственно из 1, 2, ..., n блоков;
 Q_0 — фактическая добыча рудной массы в целом по шахте;
 C_0 — содержание металла в рудной массе, выданной на поверхность в целом по шахте;
 n — количество работающих блоков.

Корректированная добыча блоков должна удовлетворять двум следующим уравнениям:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = Q_0, \quad (3)$$

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + \dots + Q_n C_n = Q_0 C_0. \quad (4)$$

Уравнение (3) есть баланс рудной массы, а уравнение (4) — баланс металла, выданных на поверхность в целом по шахте.

Подставим в уравнение (3) и (4) вместо скорректированной добычи статистическую, получим

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n - Q_0 = \Delta Q. \quad (5)$$

$$q_1 C_1 + q_2 C_2 + \dots + q_n C_n - Q_0 C_0 = \Delta M, \quad (6)$$

где ΔQ — разность между статистической добычей рудной массы в целом по шахте и фактической, или невязка баланса рудной массы;

ΔM — невязка баланса металла.

Так как

$$\begin{aligned} Q_1 &= q_1 + (q_1), \\ Q_2 &= q_2 + (q_2), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$Q_n = q_n + (q_n),$$

то подставляя скорректированную добычу из (7) в уравнение (3) и (4) и учитывая равенства (5) и (6), получим

$$(q_1) + (q_2) + \dots + (q_n) + \Delta Q = 0, \quad (8)$$

$$(q_1)C_1 + (q_2)C_2 + \dots + (q_n)C_n + \Delta M = 0.$$

Система уравнений (8), полагая, что содержание металла в рудной массе как в целом по шахте, так и по отдельным блокам определено из опробования достаточно точно, содержит n неизвестных поправок $(q_1), (q_2), \dots, (q_n)$ к статистической добыче блоков. Следовательно, при $n > 2$ система уравнения (8) является неопределенной, для поправок $(q_1), (q_2), \dots, (q_n)$ можно получить бесчисленное множество значений.

Из всех поправок $(q_1), (q_2), \dots, (q_n)$, удовлетворяющих системе уравнений (8), найдем те поправки, которые удовлетворяют условию:

$$\sum_{i=1}^n \frac{(q_i)^2}{q_i} = \text{минимум}. \quad (9)$$

Поправки $(q_1), (q_2), \dots, (q_n)$, удовлетворяющие системе (8) и условию (9), вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} (q_1) &= q_1 \kappa_1 + q_1 C_1 \kappa_2, \\ (q_2) &= q_2 \kappa_1 + q_2 C_2 \kappa_2, \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ (q_n) &= q_n \kappa_1 + q_n C_n \kappa_2, \end{aligned} \quad (10)$$

где κ_1 и κ_2 — неопределенные множители, или коррелаты.

Коррелаты κ_1 и κ_2 определяются из системы нормальных уравнений:

$$\sum_{i=1}^n q_i \kappa_1 + \sum_{i=1}^n q_i C_i \kappa_2 + \Delta Q = 0, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i C_i \kappa_1 + \sum_{i=1}^n q_i C_i^2 \kappa_2 + \Delta M = 0,$$

где $\sum_1^n q_i$ — добыча рудной массы в целом по шахте по статистическому учету.

Решив систему нормальных уравнений (11), получим:

$$K_1 = - \frac{\Delta Q}{\sum_1^n q_i} - \frac{\sum_1^n q_i C_i}{\sum_1^n q_i} K_2, \quad (12)$$

$$K_2 = \frac{\frac{\Delta Q \sum_1^n q_i C_i}{\sum_1^n q_i} - \Delta M}{\sum_1^n q_i C_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n q_i C_i\right)^2}{\sum_1^n q_i}}. \quad (13)$$

Обозначим:

$$\bar{C} = \frac{\sum_1^n C_i q_i}{\sum_1^n q_i}, \quad (14)$$

где $\bar{C}$ — содержание металла в рудной массе, выданной на поверхность в целом по шахте по статистическому учету. В обозначении (14) формулы (12) и (13) примут вид

$$K_1 = \frac{\Delta Q}{\sum_1^n q_i} - \bar{C} K_2, \quad (15)$$

$$K_2 = \frac{\Delta Q \bar{C} - \Delta M}{\sum_1^n q_i C_i^2 - \bar{C}^2 \sum_1^n q_i}. \quad (16)$$

Формула (16), учитывая равенства (5), (6) и (14), примет вид:

$$K_2 = \frac{Q_0(C_0 - \bar{C})}{\sum_1^n q_i C_i^2 - \bar{C}^2 \sum_1^n q_i}. \quad (17)$$

Для удобства вычислений необходимо статистическую добычу блоков, т. е. $q_1, q_2, \dots, q_n$, в формулах (10), (15) и (17) выражать в десятках тысяч тонн, при этом указанные формулы примут вид:

$$\begin{aligned}(q_1) &= q_1' \kappa_1 + q_1' C_1 \kappa_2, \\(q_2) &= q_2' \kappa_1 + q_2' C_2 \kappa_2, \\&\vdots \\&\vdots\end{aligned}\tag{10a}$$

$$\begin{aligned}(q_n) &= q_n' \kappa_1 + q_n' C_n \kappa_2, \\ K_1 &= - \frac{\Delta Q}{\sum_i q_i'} - \overline{C} K_2,\end{aligned}\tag{15a}$$

$$K_2 = \frac{Q_0(C_0 - \bar{C})}{\sum_1^n q_i' C_i^2 - \bar{C}^2 \sum_1^n q_i'} \quad (17a)$$

$$q_i' = \frac{q_i}{10000}. \quad (18)$$

Правильность определения поправок $(q_1), (q_2), \dots, (q_n)$ контролируется равенством:

$$(q_1) + (q_2) + \dots + (q_n) = -\Delta Q. \quad (19)$$

Корректированная добыча по отдельным блокам вычисляется по формулам (7). Правильность определения корректированной добычи блоков контролируется равенствами (3) и (4).

Рассмотрим корректирование статистической добычи отдельных блоков для случая, когда в целом по шахте все вагонетки имеют по объему одинаковую загрузженность.

При одинаковой загрузженности по объему всех вагонеток по шахте фактическая добыча рудной массы по отдельным блокам составит:

$$\begin{aligned} Q_1^0 &= tq_1, \\ Q_2^0 &= tq_2, \\ &\vdots \\ Q_n^0 &= tq_n, \end{aligned} \tag{20}$$

где t — коэффициент загрузки по объему вагонеток.

Содержание металла в рудной массе, фактически выданной на поверхность в целом по шахте, будет:

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^0 C}{\sum_{i=1}^n Q_i^0} \quad (21)$$

или, учитывая равенства (20), получим:

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n q_i C_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (22)$$

Сравнивая формулы (14) и (22), отмечаем, что $C_0 = \bar{C}$. При $C_0 = \bar{C}$ корреляты K_1 и K_2 , исходя из формулы (15) и (17), равны:

$$K_1 = - \frac{\Delta Q}{\sum_1^n q_i}, \quad (23)$$

$$K_2 = 0. \quad (24)$$

Подставляя K_1 и K_2 из (23) и (24) в (10), получим:

$$\begin{aligned}(q_1) &= - \frac{\Delta Q}{\sum_1^n q_i} q_1, \\(q_2) &= - \frac{\Delta Q}{\sum_1^n q_i} q_2, \\&\vdots \\(q_n) &= - \frac{\Delta Q}{\sum_1^n q_i} q_n.\end{aligned}\tag{25}$$

Следовательно, при одинаковой загрузженности по объему всех вагонеток по шахте (при условии, что объемный вес рудной массы для отдельных блоков установлен достаточно точно и не изменяется в течение месяца), т. е. когда $C_0 = \overline{C}$, невязка между статистической добычей рудной массы в целом по шахте и фактической распределяется пропорционально добыче блоков по статистическому учету, что соответствует способу, применяемому на практике. При этом скорректированная добыча отдельных блоков будет удовлетворять как балансу рудной массы (3), так и балансу металла (4).

Во всех остальных случаях, т. е. когда содержание металла $\bar{C}$, вычисленное по формуле (14), не равно фактическому C_0 , полученному из опробования, корректирование статистической добычи блоков необходимо производить, исходя из балансов рудной массы и металла, выданных в целом по шахте на поверхность, т. е. исходя из формул (10а), (15а) и (17а).

Покажем на примере целесообразность корректирования статистической добычи блоков, исходя из балансов рудной массы и металла, выданных на поверхность в целом по шахте.

Шахта, добывающая железную руду, имеет четыре блока в работе. Вес вагонетки, в зависимости от содержания железа в рудной массе, выражается уравнением

$$d = 0,8 + 0,035C, \quad (26)$$

где C — содержание железа в рудной массе в %.

Исходя из уравнения (26), в графе 3, табл. 1, вычислены фактические веса вагонеток для различных блоков.

Допустим, что при статистическом учете добычи принят в целом по шахте вес вагонетки равным 2,75 т. Необходимо, исходя из фактической добычи рудной массы в целом по шахте ($Q_0 = 76.040$ т) и содержанию в ней железа ($C_0 = 52,45$ %), установить наиболее вероятную добычу по отдельным блокам, полагая, что фактические веса вагонеток (графа 3, табл. 1) нам не известны.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

№ блоков	Колич. вагонет- ток, N	Фактич. вес ва- гонетки, (T)	Фактич. добыча, Q^0 (T)	Содержание железа, C_i (%)	Подсчет C_0 (%)		Колич-во железа, T $P=0,01Q_i^0C_i$
					$\frac{Q_0^i}{Q_0}$	$\frac{Q_i^0}{Q_0} C_i$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6,000	2,55	15,300	50	0,201	10,05	7,650
2	5,000	2,90	14,500	60	0,191	11,46	8,700
3	10,000	2,72	27,200	55	0,358	19,69	14,960
4	8,000	2,38	19,040	45	0,250	11,25	8,568
	29,000		76,040		1,000	52,45	39,878

В табл. 1 и 2 вычислена соответственно фактическая и статистическая добыча рудной массы по блокам и в целом по шахте, а также содержание железа C_0 (графы 6 и 7, табл. 1) по формуле (21) и $\bar{C}$ (графы 6 и 7, табл. 2) по формуле (14).

Таблица 2

№ блока	Кол-во ва- гонеток, N	Принятый вес вагонет- ки, T	Добыча по статистике, q_i , (m)	Содержание железа, C_i , (%)	Подсчет $\bar{C}$ (%)	
					$\frac{q_i}{\sum_{i=1}^4 q_i}$	$\frac{q_i}{\sum_{i=1}^4 q_i} C_i$
1	2	3	4	5	6	7
1	6,000	2,75	16,500	50	0,207	10,35
2	5,000	"	13,750	60	0,172	10,32
3	10,000	"	27,500	55	0,345	18,98
4	8,000	"	22,000	45	0,276	12,42
	29,000		79,750		1,000	52,07

Из таблицы 1 и 2, имеем:

$$Q_0 = 76,040 \text{ т}; \quad \Sigma = 79,750 \text{ т};$$

$$C_0 = 52,45 \text{ %}, \quad \bar{C} = 52,07 \text{ %}.$$

Разность ΔQ , исходя из (5), равна:

$$\Delta Q = 79,750 - 76,040 = 3710 \text{ т.}$$

В табл. 3 выполнено корректирование статистической добычи блоков, исходя из балансов рудной массы, т. е. по способу, применяемому на практике. В графе 6, табл. 3 указано количество железа, соответствующее корректированной добыче блоков, которое меньше фактически выданного на поверхность в целом по шахте (графа 8, табл. 1) на 284 тонны. В табл. 4 произведено корректирование статистической добычи блоков, исходя из балансов рудной массы и металла.

Таблица 3

№ блока	Добыча по статистике, $q_i (T)$	Поправка к добыче, $(q_i) = -\frac{\Delta Q}{\sum_1^4 q_i} q_i$	Корректированная добыча, $Q_i = q_i + (q_i), (m)$	Содержание железа, $C_i, (\%)$	Количество железа, $P=0,01 Q_i C_i, (m)$
1	2	3	4	5	6
1	16,500	-768	15,732	50	7,866
2	13,750	-640	13,110	60	7,866
3	27,500	-1,279	26,221	55	14,422
4	22,000	-1,023	20,977	45	9,440
	79,750	-3,710	76,040		39,594

Из табл. 1 имеем:

$$\sum_1^4 q_i' = 7,98; \quad \sum_1^4 q_i' C_i^2 = 21,867.$$

Подставляя Q_0 , C_0 , $\bar{C}$, $\sum_1^4 q_i'$ и $\sum_1^4 q_i' C_i^2$ в формулу (17) получим:

$$\kappa_2 = \frac{76,040(52,45 - 52,07)}{21,867 - 52,07^2 \cdot 7,98} = 125,09.$$

Подставляя ΔQ , $\bar{C}$, $\sum_1^4 q_i'$ и κ_2 в формулу (15а), получим:

$$\kappa_1 = -\frac{3710}{7,98} - 52,07 \cdot 125,09 = -6978,36.$$

В графе 9, табл. 4 указаны вероятные поправки к статистической добыче отдельных блоков, вычисленные по формуле (10а).

Из табл. 4, графы 9 имеем:

$$(q_1) + (q_2) + (q_3) + (q_4) = -3705.$$

Указанная сумма поправок должна равняться $-\Delta Q$, т. е. -3710 т , поэтому недостающие пять тонн, образовавшиеся за счет округлений, распределяем по одной тонне на блоки 1, 2 и 4 и две тонны на блок 3.

В графе 10, табл. 4 указана корректированная добыча блоков, вычисленная по формулам (7).

В графе (11), табл. 4, указано количество железа, соответствующее корректированной добыче.

В целом по шахте, исходя из корректированной добычи, выдано на поверхность 39.877 *t* железа. Фактически выдано на поверхность 39.878 *t* железа (графа 8, табл. 1).

Следовательно, корректированная добыча блоков (графа 10, табл. 4) удовлетворяет как балансу рудной массы (3), так и балансу металла (4). Сравнивая добычу блоков, корректированную, исходя из баланса рудной массы (графа 3, табл. 5), и балансов рудной массы и металла (графа 6, табл. 5), отмечаем, что добыча блоков, корректированная, исходя из баланса рудной массы, т. е. по способу, применяемому на практике, отклоняется от фактической до 10,2 %, добыча же блоков, корректированная исходя из балансов рудной массы и металла, отклоняется от фактической не более чем 0,16 %.

Разобранный пример показывает, что добыча блоков, установленная исходя из балансов рудной массы и металла, приближается к действительной. Поэтому при отсутствии на шахте весового хозяйства необходимо добычу рудной массы по отдельным блокам устанавливать, исходя из балансов рудной массы и металла.

Для случая, когда возможна инструментальная съемка очистных забоев, т. е. для случая, когда по маркшейдерским замерам можно точно определить объем выработанного пространства по каждому блоку, добыча блоков, установленная исходя из балансов рудной массы и металла, может быть использована для контрольного определения объемного веса рудной массы в массиве.

При корректировании статистической добычи блоков, исходя из балансов рудной массы и металла, учитывается в какой-то мере фактический вес вагонеток, который, как известно, зависит от содержания металла в рудной массе и ее крупности, полноты загрузки вагонетки и чистоты очистки ее на опрокиде.

При корректировании статистической добычи блоков, исходя только из баланса рудной массы, фактический вес вагонеток совершенно не учитывается, вследствие чего возможны значительные отклонения корректированной добычи блоков от действительной.

Необходимо отметить, что при установлении добычи блоков, исходя из балансов рудной массы и металла, степень приближения корректированной добычи блоков к действительной зависит от точности определения металла в рудной массе отдельных блоков и в целом по шахте.

Точность, с которой определяется содержание металла в рудной массе отдельных блоков и в целом по шахте по данным ежемесячного правильно поставленного опробования, вполне достаточно для определения корректированной добычи блоков, исходя из балансов рудной массы и металла.

В заключение рассмотрим установление веса вагонетки для отдельных блоков.

Средний вес вагонетки за отчетный месяц для каждого блока может быть вычислен по формуле:

$$d = \frac{Q}{N}, \quad (27)$$

где Q — корректированная добыча блока за отчетный месяц;
 N — количество вагонеток, поступивших за отчетный месяц с блока,

Таблица 4

№№ блоков	Добыча по статисти- ке, q_i , (м)	Содер- жание железа, C_i , (%)	$q'_i = \frac{q_i}{10^4}$	$q'_i C_i$	$q'_i C_i^2$	$q'_i \kappa_1$	$q'_i C_i \kappa_2$	$(q_i) = q'_i \kappa_1 +$ $+ q'_i C_i \kappa_2$, (м)	Корректиро- ванная до- быча, $Q_i = q_i + (q_i)$, (м)	Кол-во же- леза, $P =$ $= 0,01 Q_i C_i$, (м)	Вес ваго- нетки, $d_i = \frac{Q_i}{N_i}$ (м)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16,500	50	1,65	82,50	4,125	-11,514	10,320	-1,194 ⁻¹	15,305	7,652	2,551
2	13,750	60	1,38	82,80	4,968	-9,630	10,358	+728 ⁻¹	14,474	8,686	2,895
3	27,500	55	2,75	151,25	8,319	-19,191	18,920	-271 ⁻²	27,227	14,975	2,723
4	22,000	45	2,20	99,00	4,555	-15,352	12,384	-2,968 ⁻¹	19,031	8,564	2,379
	79,750		7,98		21,867	55,687	5,1982	-3,705	76,040	39,877	

Таблица 5

№№ бло- ков	Фактическая добыча, Q_i^0 (м)	Корректированная добыча, исходя из баланса рудной массы			Корректированная добыча, исходя из балансов рудной массы и металла		
		Q_i , (м)	абсолютная ошибка, $\Delta Q = Q_i - Q_i^0$, (м)	относительная ошибка, $\frac{\Delta Q}{Q_i^0} \cdot 100\%$	Q_i , (м)	абсолютная ошибка $\Delta Q_i = Q_i - Q_i^0$, (м)	относительная ошибка $\frac{\Delta Q_i}{Q_i^0} \cdot 100\%$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	15,300	15,732	+432	2,8	15,305	+5	0,03
2	14,500	13,110	-1,390	9,6	14,477	-23	0,16
3	27,200	26,221	-979	3,6	27,227	+27	0,10
4	19,040	20,977	+1,937	10,2	19,031	-9	0,05
	76,040	76,040	+2,369		76,040	+32	
			-2,369			-32	

Для рассмотренного нами примера в графе 12, табл. 4, указаны для блоков средние веса вагонеток, вычисленные по формуле (27). Сравнивая вычисленные веса вагонеток (графа 12, табл. 4) с фактическими (графа 3, табл. 1), отмечаем их хорошую сходимость.

Установим, исходя из средних весов вагонеток отдельных блоков, вычисленных по формуле (27), эмпирическую формулу для определения веса вагонетки в зависимости от содержания металла в рудной массе.

Вес вагонетки при одинаковой ее загрузенности по объему из отдельных блоков, в основном, определяется содержанием металла в рудной массе, поэтому эмпирическую формулу для определения веса вагонетки можно представить в виде:

$$d = A + BC, \quad (28)$$

где d — вес вагонетки;

A и B — постоянные коэффициенты, подлежащие определению;

C — содержание металла в рудной массе в %.

Значение коэффициентов A и B формулы (8) найдем, исходя из условия

$$\sum_1^n (d_i - d_i^0)^2 = \text{минимум}, \quad (29)$$

где d_i — вычисленный вес вагонетки по формуле (28) для i блока;

d_i^0 — средний вес вагонетки для i блока, вычисленный по формуле (27).

Подставляя значение d_i из (28) в (29), получим:

$$\sum_1^n (A + BC_i - d_i^0)^2 = \text{минимум}. \quad (30)$$

Исходя из условия (30) для определения коэффициентов A и B , получим два нормальных уравнения вида:

$$nA + \sum_1^n C_i B - \sum_1^n d_i^0 = 0, \quad (31)$$

$$\sum_1^n C_i A + \sum_1^n C_i^2 B - \sum_1^n d_i^0 C_i = 0.$$

Решив систему нормальных уравнений (31), получим вероятные значения коэффициентов A и B .

Установим для веса вагонетки, рассмотренного нами примера эмпирическую формулу, имеющую вид (28).

Вычисление коэффициентов и свободных членов нормальных уравнений (31) сведено в табл. 6.

В графе 2, табл. 6 указаны средние веса вагонеток для блоков (графа 12, табл. 4), вычисленные по формуле (27), исходя из корректированной добычи (графа 10, табл. 4). Из табл. 6 имеем:

$$n = 4; \quad \sum_1^4 C_i = 210; \quad \sum_1^4 C_i^2 = 11,150;$$

$$\sum_1^4 d_i^0 = 10,548; \quad \sum_1^4 d_i^0 C_i = 558,07.$$

Таблица 6

№ блока	Средний вес вагонетки, d_i^0 (T)	Содержание железа, C_i (%)	C_i^2	$d_i^0 C_i$	Вычисление веса вагонетки по формуле $d_i = 0,831 + 0,0344 C_i$		
					0,831	$0,0344 C_i$	$d_i(m)$
1	2,551	50	2500	127,55	0,831	1,720	2,551
2	2,895	60	3600	173,70	0,831	2,064	2,895
3	2,723	55	3025	149,76	0,831	1,892	2,723
4	2,379	45	2025	107,06	0,831	1,548	2,379
	10,548	210	11150	558,07			

Следовательно, система нормальных уравнений (31) примет вид:

$$4A + 210B - 10,548 = 0, \quad (32)$$

$$210A + 11,150B - 558,070 = 0.$$

Решив систему нормальных уравнений (32), получим:

$$A = 0,831; \quad B = 0,0344.$$

Таким образом, для рассмотренного примера эмпирическая формула (28) примет вид:

$$d = 0,831 + 0,0344 C. \quad (32)$$

Сравнивая формулы (26) и (32), отмечаем хорошую их сходимость. В графе 8, табл. 6, вычислены веса вагонеток для блоков, исходя из формулы (32). Абсолютная сходимость весов вагонеток, вычисленных по формуле (32), с исходными средними весами (графа 2, табл. 6) объясняется исключительно тем, что средние веса вагонеток, вычисленные по формуле (27), строго следуют уравнению (26). Практически всегда веса вагонеток, вычисленные по эмпирической формуле, будут отличаться от исходных средних весов вагонеток, вычисленных по формуле (27), при этом значительные отклонения будут указывать на неодинаковую загрузку вагонеток из различных блоков.