Записки Ленинградского ордена Ленина ордена Трудового Красного знамени горного института, т. XXXIII, вып. I, 1956 г.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЕМКОСТИ ВАГОНЕТКИ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Н. Т Карелин

Вопрос о выборе рациональных размеров (емкости) рудничных вагонеток для подземного транспорта уже в течение двадцати лет обсуждается в отечественной горнотехнической литературе.

В первый период развития механизации горной промышленности, когда наши заводы еще только приступали к освоению серийного выпуска вагонеток и электровозов, необходима была такая постановка задачи и такое ее решение, которое могло бы дать ответы на вопросы, выдвинутые конструкторами о том, какими должны быть основные габаритные размеры проектируемых ими вагонеток. Попытки решения вопроса в этой плоскости нашли свое отражение, например, в работах Л. В. Некоза [1] и А. И. Милованова [2].

Позднее, когда был освоен серийный выпуск нескольких типов вагонеток и электровозов и были проведены унификации вагонеток, установившие определенный минимум их стандартных типо-размеров, назрела необходимость решения вопроса о выборе размеров вагонетки уже в иной плоскости. Теперь вопрос этот начали выдвигать уже не конструкторы, создавшие к этому времени ряд типовых вагонеток и таким образом в основном выполнившие свою задачу, а инженеры-проектировщики. Их же интересовал другой вопрос: как выбрать из числа имеющихся стандартных вагонеток наивыгоднейшую для заданных условий эксплуатации.

Попытки решить задачу в этой плоскости в последние годы были предприняты Ф. М. Ануфриюком [3], С. И. Лопатиным [4] и др. Исследования базировались на принципиально различных исходных предпосылках, а следовательно, и методика решения задачи предлагалась различная. Одни авторы за основу принимали технические факторы — удобство маневрирования, погрузки, разгрузки вагонетки и т. п. Другие исследователи, оставляя в стороне технические факторы, учитывали только экономические — например стоимость транспортирования. Наконец, третьи пытались в какой-то степени учесть оба рода факторов.

Однако ни один из предложенных способов решения вопроса о выборе наивыгоднейшей емкости вагонетки до сих пор не получил применения в практике работы проектирующих организаций. Выбор емкости вагонетки для строящихся и реконструируемых шахт производят или на основе весьма общих, часто спорных, положений, или, опираясь на сфор-

лированные в приказах руководящие указания Министерства угольной промышленности, которые, естественно, не могут отразить всей специфики условий работы подземного рельсового транспорта в различных горногеологических условиях.

Предлагавшиеся методы решения вопроса не «привились» в проектных организациях, повидимому, потому, что, с одной стороны, эти методы обладают существенными недостатками (или не учитывают все влияющие факторы, или базируются на устаревших данных, или чрезвычайно сложны и громоздки для практического пользования), с другой стороны, сами проектирующие организации, зачастую, все еще слишком инертны в использовании и практической проверке последних достижений отечественной горной науки. Нет сомнения, что широкое использование предлагавшихся способов позволило бы быстро вскрыть их недостатки, объединить достоинства отдельных способов и получить, таким образом, единый, проверенный практикой метод решения.

В настоящей статье приводятся соображения, позволяющие вскрыть зависимость между емкостью имеющихся стандартных вагонеток и стоимостью подземного рельсового транспорта на угольных шахтах и на основе анализа предлагается метод расчетного определения наивыгоднейшей (оптимальной) емкости вагонетки для заданных условий эксплуатации.

Правильный выбор емкости вагонетки должен исходить не только из требования минимальной величины эксплуатационных расходов, но и учитывать чисто технические факторы, отражающие специфику организации транспорта на данном предприятии. Учет влияния этих факторов на рациональную емкость вагонетки можно производить в порядке последующей проверки выбранных по экономическим факторам параметров вагонетки. Эта вторая стадия решения вопроса в настоящей статье не рассматривается.

Можно предположить, что от емкости (габаритов) вагонетки зависит величина следующих расходов, часть которых только условно, в целях решения поставленной задачи, можно отнести к транспортным:

а) амортизации стоимости электровозов, вагонеток и откаточных выработок;

б) ремонтных расходов на электровозы, вагонетки и откаточные выработки;

в) стоимости электроэнергии, расходуемой на откатку и вентиляцию;

г) заработной платы обслуживающему персоналу.

Выявим зависимость между емкостью вагонетки и величиной расходов по каждой из перечисленных статей.

1. Амортизация стоимости парка электровозов

Потребное инвентарное число электровозов

$$N = k_р k_н \frac{A_г}{mTA_э},$$

где $A_г$ — годовая производительность шахты, $т$;

$A_э$ — часовая производительность электровоза, $т/час$;

m — число рабочих смен в году;

T — число часов работы откатки в смену;

$k_р$ — коэффициент, учитывающий электровозы, находящиеся в резерве и ремонте, равный 1,2;

$k_н$ — коэффициент неравномерности работы откатки, равный 1,2.

Так как

$$A_э = \frac{Q_п}{T_р},$$

где $Q_п$ — полезный вес состава, $т$;
$T_р$ — продолжительность одного рейса, мин.,

то

$$N = \frac{1{,}44 A_г T_р}{60 Q_п m T}. \quad (1)$$

Полезный вес поезда определяется по общеизвестной формуле

$$Q_п = \frac{P[1000\mu - (w' + i + w_r + 110a)]}{w' + i + 110a} k, \quad (2)$$

где P — сцепной вес электровоза, $т$;
μ — коэффициент сцепления;
w' — коэффициент сопротивления движению;
i — уклон пути, ‰;
w_r — коэффициент дополнительного сопротивления на кривых;
a — ускорение пуска, $кг \cdot сек^2/м$;
$k = \frac{G}{G + G_0}$ — коэффициент полезного веса вагонетки;
G — грузоподъемность вагонетки, $т$;
G_0 — мертвый вес вагонетки, $т$.

Полагая $\mu = 0{,}2—0{,}25$, выражение (2) с достаточной для расчета точностью может быть записано в виде

$$Q_п = \frac{200PG}{(w' + r)(G + G_0)}, \quad (3)$$

где

$$r = i + w_r + 110a.$$

Используя эмпирическую формулу С. И. Лопатина [4], которая для случая пуска состава в ход имеет вид

$$w' = \frac{17{,}4}{\sqrt[3]{G + G_0}},$$

и учитывая, что для стандартных угольных вагонеток имеет место соотношение $G_0 = 0{,}48\ V$ (где V — геометрическая емкость кузова вагонетки, $м^3$), можно, положив насыпной вес угля $\gamma = 0{,}9\ т/м^3$, выражение (3) после преобразований переписать в виде

$$Q_п = \frac{130P}{\frac{15{,}5}{\sqrt[3]{V}} + r} \quad (4)$$

Подставив формулу (4) в выражение (1), получим

$$N = \frac{A_г T_р}{5400 P m T}\left(\frac{15{,}5}{\sqrt[3]{V}} + r\right) \quad (5)$$

Полагая далее стоимость одного электровоза равной c_1 руб. и срок службы его $\tau_э$ лет, определим искомую величину погашения стоимости электровозного парка на 1 $ткм$ $C_{эл}$ при длине откатки L $км$

$$C_{эл} = \frac{Nc_1}{A_г \tau_э L}, \ руб/ткм$$

или

$$C_{эл} = \frac{c_1 T_р}{5400 P m T \tau_э L}\left(\frac{15{,}5}{\sqrt[3]{V}} + r\right), \text{ руб/ткм.} \qquad (6)$$

2. Амортизация стоимости парка вагонеток

Амортизационные отчисления на погашение стоимости парка вагонеток обычно исчисляются с 1 m веса конструкции вагонетки. Взяв это положение за исходное, можно заключить, что зависимость рассматриваемого вида расходов от емкости вагонетки проявляется лишь постольку, поскольку изменяется показатель, называемый удельной тарой $k_т = \frac{G_0}{V}$. Этот показатель для стандартных вагонеток изменяется от 0,43 до 0,51. Пользуясь в расчете средним значением $k_т = 0{,}47$ и полагая его постоянным для всех вагонеток, допускаем максимальную ошибку $\frac{0{,}04}{0{,}47}\frac{100}{} = 8{,}5\%$, что вполне соответствует потребной точности рассматриваемого расчета и позволяет в дальнейшем эту статью расходов не учитывать.

3. Амортизация стоимости прохождения и крепления откаточных выработок

Как известно, откаточные выработки служат не только для откатки, но и для других целей — например, вентиляции. Поэтому неправильно всю стоимость их проведения и поддержания относить на откатку. Однако при решении поставленного здесь вопроса это вполне допустимо, так как, относя на откатку всю сумму расходов, а не часть ее, мы получим завышенную стоимость откатки, но это не изменит положение точки минимума кривой $C = f(V)$ в отношении искомой величины абсциссы этой точки, соответствующей максимальной стоимости транспорта.

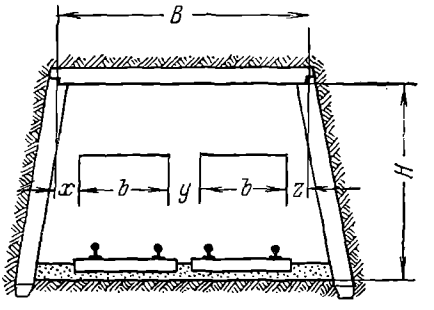


Рис. Сечение двухпутевой откаточной выработки

Стоимость прохождения и закрепления выработки длиной L км

$$C'_{пр} = c_2 S L 10^3, \text{ руб.}, \qquad (7)$$

где c_2 — стоимость 1 $м^3$ готовой выработки сечением S $м^2$, руб.

Согласно принятым на рис. 1 обозначениям,

$$S = BH(i_0 b + x + y + z) = (i_0 b + e)H, \qquad (8)$$

где i_0 — число параллельных рельсовых путей в выработке;
e — суммарная ширина зазоров, $м$;
b — ширина вагонетки, $м$.

В последнем выражении от емкости вагонетки V зависит ее ширина b. Для стандартных угольных вагонеток эта зависимость может быть выражена формулой $b = a\sqrt[3]{V}$, где a колеблется около 0,9 и;

следовательно, $b = 0{,}9\sqrt[3]{V}$ Подставляя это значение b в формулу (8) и затем (7), получим

$$C'_{\text{пр}} = c_2\,(0{,}9i_0\sqrt[3]{V} + e)\,HL10^3,\ \text{руб.}$$

или на 1 *ткм*

$$C_{\text{пр}} = \frac{c_2\,(0{,}9i_0\sqrt[3]{V} + e)\,H10^3}{A_{\text{г}}\tau_{\text{в}}},\ \textit{руб/ткм},\qquad (9)$$

где $\tau_{\text{в}}$ — срок службы выработки, лет.

4. Стоимость ремонта и смазки электровозов и вагонеток

Этот вид расходов складывается из расходов на ремонтные и смазочные материалы и заработной платы ремонтным рабочим. При применении аккумуляторных электровозов к ним должны быть прибавлены также расходы по содержанию аккумуляторных батарей и зарядных станций.

Как показывает анализ статистических материалов, годовые расходы на заработную плату ремонтным рабочим обычно составляют 6—8% от стоимости оборудования. Годовой расход на ремонтные материалы и ремонт батарей и зарядных станций составляет около 8% от стоимости электровозного парка. Годовые расходы на ремонтные материалы и смазку составляют 5—6% от стоимости парка вагонеток и 7—8% от стоимости парка электровозов. К этому необходимо прибавить еще и небольшие расходы на осуществление общего надзора и диспетчеризацию.

Указанные зависимости в пределах требуемой точности расчетов позволяют положить общую сумму отчислений на ремонт и смазку, равной 20% от стоимости парка электровозов и вагонеток.

Общая стоимость парка электровозов

$$C'_{\text{эл}} = c_1 N = \frac{c_1 A_{\text{г}} T_{\text{р}}}{5400PmT}\left(\frac{1{,}55}{\sqrt[3]{V}} + r\right)$$

Отчисления, приходящиеся на 1 *ткм*, составят

$$C_{\text{р. эл}} = \frac{0{,}2C'_{\text{эл}}}{A_{\text{г}}L},$$

т. е.

$$C_{\text{р. эл}} = \frac{c_1 T_{\text{р}}}{27\cdot 10^3 PmTL}\left(\frac{15{,}5}{\sqrt[3]{V}} + r\right)\qquad (10)$$

Аналогичным образом можно определить и величину отчислений на ремонт и смазку вагонеток, которые, очевидно, не зависят от емкости вагонетки по той же причине, что и амортизационные отчисления от погашения стоимости парка вагонеток.

5. Стоимость ремонта и поддержания откаточных выработок

Факторы, влияющие на величину стоимости ремонта и поддержания подземных выработок, чрезвычайно многообразны. К числу их относятся: крепость боковых пород и их свойства (водообильность, трещиноватость, твердость и пр.), сечение выработок, принятый способ крепления, стои-

мость крепежных материалов и рабочей силы, способ и скорость проведения выработок, система разработки, угол падения пласта, свойства воздуха вентиляционной струи и т. п.

Учет совокупного влияния всех этих факторов чрезвычайно труден. Не учесть же влияния этого вида расходов нельзя, так как их зависимость от сечения выработки, а следовательно, и емкости вагонетки, несомненна.

Полагая с известным допущением, что расходы на ремонт и поддержание выработок линейно пропорциональны их сечению и длине и постоянны во времени, можно искомую зависимость расходов от емкости вагонетки выявить следующим образом.

Положим, что известна величина c_3 — годовая стоимость ремонта и поддержания 1 *пог. м* выработки некоторого сечения S' Эта стоимость для проектируемой шахты может быть принята равной фактической стоимости ремонта и поддержания выработки такого же сечения на действующей шахте, работающей в одинаковых с проектируемой геологических и эксплуатационных условиях.

Тогда стоимость ремонта и поддержания 1 *пог. м* выработки сечения S может быть определена выражением

$$R = c_3 \frac{S}{S'}$$

Для выработки же длиной L *км* за время ее существования $\tau_в$ эта величина составит

$$C'_{рв} = c_3 \tau_в L \frac{S}{S'} 10^3, \text{ руб.}$$

Подставляя вместо S его значение

$$S = (0{,}9 i_0 \sqrt[3]{V} + e) H$$

и относя расходы к 1 *ткм*, получим

$$C_{рв} = \frac{c_3 (0{,}9 i_0 \sqrt[3]{V} + e) H 10^3}{A_г S'}, \text{ руб/ткм.} \qquad (11)$$

6. Стоимость электроэнергии, расходуемой на откатку

Удельный расход энергии для перемещения 1 m полезного груза на 1 *км*

$$a = \frac{a_{гр} (P + Q) + a_{пор} (P + Q_т)}{1000 Q_п}, \text{ квт-ч/ткм,} \qquad (12)$$

где $a_{гр}$ и $a_{пор}$ — удельные расходы энергии на токоприемнике для груженых и порожних поездов в предположении уклона равного сопротивления, учитывая потери от токоприемника до скатов коэффициентом η,

$$a_{гр} = a_{пор} = 2{,}72 \frac{w' + r}{\eta};$$

$Q = \frac{200P}{w' + r}$ — полный вес состава, m;

$Q_п = \frac{200P}{w' + r} \frac{1}{1 + k_т}$ — полезный вес состава, m;

$Q_т = \frac{200P}{w' + r} \frac{k_т}{1 + k_т}$ — мертвый вес состава, m.

Полагая $\eta = 1{,}15$ и принимая среднее значение коэффициента тары для стандартных угольных вагонеток $k_т = 0{,}55$, выражение (12) после преобразований можно записать в виде

$$a = \frac{(w' + r)^2 + 135\,(w' + r)}{27\,500}, \quad квт\text{-}ч/ткм.$$

Подставляя значение коэффициента сопротивления движению

$$w' = \frac{17{,}4}{\sqrt[3]{G + G_0}} = \frac{17{,}4}{\sqrt[3]{\gamma V + 0{,}47V}} = \frac{17{,}4}{\sqrt{0{,}9V + 0{,}47V}} = \frac{15}{\sqrt[3]{V}},$$

получим

$$a = \frac{1}{122\sqrt[3]{V^2}} + \frac{r + 67{,}5}{917\sqrt[3]{V}} + \frac{r\,(r + 135)}{27\,500}, \quad квт\text{-}ч/ткм.$$

В этом выражении значение первого члена $\frac{1}{122\sqrt[3]{V^2}}$ весьма мало по сравнению с другими членами. Пренебрегая им, допускаем ошибку, не превосходящую 4%.

Обозначая затем через c_4 стоимость 1 *квт-ч* электроэнергии, получим формулу для определения стоимости электроэнергии, расходуемой на откатку,

$$C_{э.\,о} = c_4 \left[\frac{r + 67{,}5}{917\sqrt{V}} + \frac{r\,(r + 135)}{27\,500} \right], \quad руб/ткм. \tag{13}$$

7. Стоимость электроэнергии, расходуемой на вентиляцию

Стоимость электроэнергии, расходуемой на преодоление депрессии *пог. м* выработки сечением S *м*^{2},

$$C'_{э.\,в} = \frac{htQ_в c_4}{102}, \text{ руб/год,}$$

где $h = \frac{\alpha p Q_в^2}{S^3}$ *мм* вод. ст. — депрессия 1 *пог. м* выработки;

$t = 365 \cdot 24 = 8760$ — годовое число часов работы вентилятора;

$Q_в$ — количество воздуха, проходящего по выработке, *м*^{3}/*сек*;

α — коэффициент сопротивления движению воздуха по выработке;

p — периметр выработки, *м*.

Таким образом, стоимость электроэнергии, отнесенная к 1 *ткм*,

$$C_{э.\,в} = \frac{8760 \alpha c_4 Q_в^3 10^3}{102 \eta A_г} \cdot \frac{p}{S^3}, \quad руб/ткм,$$

где η — к. п. д. вентилятора.

Для откаточных выработок имеет место зависимость

$$p \approx 1{,}8S$$

и, следовательно (рис. 1),

$$p = 1{,}8S = 1{,}8BH = 1{,}8\,(i_0 b + e)\,H,$$

где $b = 0{,}9\sqrt[3]{V}$.

Подставляя значения p, S и b в формулу для $C_{э.в}$ получим

$$C_{э.в} = \frac{200 a c_4 Q_в^3 10^3}{\eta A_г i_0^2 H^2 \left(\sqrt[3]{V} + \frac{e}{0{,}9 i_0}\right)}, \quad руб/ткм. \tag{14}$$

Это сложное для целей дальнейшего анализа уравнение может быть упрощено следующим образом.

Введем обозначение

$$\left(\sqrt[3]{V} + \frac{e}{0{,}9 i_0}\right)^2 = k \sqrt[3]{V}.$$

и вычислим значение k для различных стандартных емкостей вагонеток.

Оказывается (полагая, согласно ПТЭ, $e = 1{,}0$ *м*), величина k изменяется для одноколейных выработок ($i_0 = 1$) от 4,55 до 4,67, а для двухколейных ($i_0 = 2$) от 2,92 до 3,4. Принимая средние значения $k_1 = 4{,}64$ и $k_2 = 3{,}16$, мы, как показывает расчет, допустим максимальную ошибку для одноколейных выработок $\pm 2\%$ и для двухколейных $\pm 7\%$.

Эта вполне допустимая величина ошибок позволяет записать выражение (14) в виде

$$C_{э.в} = \frac{2 a c_4 Q_в^3 10^5}{\eta A_г i_0^2 H^2 k_i \sqrt[3]{V}}, \quad руб/ткм, \tag{15}$$

где $k_i = 4{,}64$ для одноколейных выработок;

$k_i = 3{,}16$ для двухколейных выработок.

8. Заработная плата обслуживающему персоналу

Если c_5 — полная сменная заработная плата бригады, обслуживающей один электровоз, и $N_р = \frac{N}{k_р}$ — число рабочих электровозов, то полная годовая заработная плата всем бригадам

$$C_{зар} = c_5 \frac{N}{k_р} m.$$

Подставив значение N из выражения (5) и отнеся этот вид расходов к 1 *ткм*, получим

$$C_{зар} = \frac{c_5 T_р}{6500 PTL} \left(\frac{15{,}5}{\sqrt[3]{V}} + r\right), \quad руб/ткм. \tag{16}$$

Вычислив таким образом величины расходов по отдельным статьям, найдем полную стоимость откатки 1 *ткм* C. Для этого просуммируем выражения (6), (9), (10), (11), (13), (15) и (16) и после алгебраических преобразований получим

$$C = \frac{A}{\sqrt[3]{V}} + B \sqrt[3]{V} + D, \tag{17}$$

де коэффициенты A и B определяются из выражений:

$$A = \frac{\frac{c_1}{\tau_э} + \frac{c_1}{5} + \frac{4}{5} c_5 m}{350 PmL \frac{T}{T_р}} + \frac{c_4 (r + 67{,}5)}{917} + \frac{2\alpha c_4 Q_в 3{\cdot}10^5}{\eta A_г i_0^2 H^2 k_i} \qquad (18)$$

$$B = \frac{0{,}9 i_0 H 10^3}{A_г} \left(\frac{c_2}{\tau_в} + \frac{c_3}{S'} \right), \qquad (19)$$

а величина свободного члена D не имеет значения для целей дальнейшего анализа.

Дальнейшее решение поставленной задачи сводится к отысканию значения аргумента V в уравнении (17), соответствующего минимуму функции C. Такое решение, произведенное обычным способом математического анализа (приравнивание нулю первой производной функции (17) и решение полученного уравнения относительно V), даст следующую формулу для вычисления оптимальной емкости вагонетки

$$V_0 + \sqrt{\left(\frac{A}{B}\right)^3} \qquad (20)$$

Таким образом, после предварительного вычисления коэффициентов A и B определение V_0 по формуле (20) не вызывает затруднений. Однако формула (20) выведена из предположения, что аргумент V функции (17) изменяется непрерывно, т. е. что функция (17) графически изображается непрерывной кривой. Естественно, что такое предположение не соответствует возможностям, которыми располагает инженер, решающий вопрос о выборе емкости вагонетки при проектировании шахт, так как он может выбрать только одну из стандартных емкостей. Как правило, вычисление по формуле (20) даст значение емкости, не соответствующее стандартному. Чтобы решить вопрос, какую же вагонетку из стандартных — соседнюю бóльшую или меньшую — в данном случае принять, необходимо произвести ряд дополнительных вычислений, делающих такой способ выбора вагонетки по трудоемкости мало отличающимся от часто применяемого в горном деле метода вариантов.

Вместе с тем возможно простое, требующее только одного вычисления, решение уравнения (17) в смысле отыскания наивыгоднейшего возможного (стандартного) значения емкости V_c, соответствующего минимальному значению функции (17). Для этого воспользуемся методом решения, предложенным Л. Д. Шевяковым применительно к функциям, аргумент которых может иметь только целочисленные значения [5, 6, 7].

Обозначив интервал между соседними величинами емкости стандартных вагонеток через δ ($\delta = 1{,}1$ $м^3$), имеем

$$\frac{A}{\sqrt[3]{V_i + \delta}} + B \sqrt[3]{V_i + \delta} = \frac{A}{\sqrt[3]{V_i}} + B \sqrt[3]{V_i}, \qquad (21)$$

где v_1 — некоторая фиктивная (нестандартная) емкость, которая на величину, не превышающую δ, меньше искомой стандартной наивыгоднейшей емкости, соответствующей минимуму функции C.

Решив уравнение (21) относительно V_i находим

$$V_i = -\frac{\delta}{2} + \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \left(\frac{A}{B}\right)^3}. \qquad (22)$$

Так как известно, что V_i обязательно несколько меньше искомого V_c, то в качестве решения задачи без дополнительных вычислений принимаем ближайшее большее, чем V_i, стандартное значение емкости V_c.

Иногда V_i, вычисленное по формуле (22), может оказаться равным одному из стандартных значений V_{c_1}. В этом случае, с точки зрения величины расходов, безразлично, какой емкости принять вагонетку — V_{c_1} или следующей большей V_{c_2}.

Изложенный способ определения наивыгоднейшей стандартной емкости вагонетки справедлив при наличии в схеме откатки всего одного откаточного участка, на протяжении которого величины, входящие в формулы (18) и (19), имеют постоянное значение. На практике чаще приходится иметь дело с более сложными случаями, когда в систему откатки входит ряд откаточных участков с различными значениями величин в формулах (18) и (19). Тогда методика определения V_c усложняется, но принципиально остается той же.

Выделим в системе откатки x откаточных участков таким образом, чтобы на протяжении каждого из них значения величин в формулах (18) и (19) оставались неизменными. Вычислив значения коэффициентов A и B для каждого из участков, по формуле (17) определим стоимость откатки 1 *ткм* на каждом из них, а просуммировав эти стоимости и разделив сумму на число участков x, найдем среднюю стоимость откатки 1 *ткм* по шахте

$$C_{ср} = \frac{\sum_1^x \left[\frac{A}{\sqrt[3]{V}} + B\sqrt[3]{V} + D\right]}{x}.$$

Решая это уравнение методом Л. Д. Шевякова, находим

$$V_i = -\frac{\delta}{2} + \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \left(\frac{\sum_1^x A}{\sum_1^x B}\right)^3} \qquad (23)$$

а в качестве решения задачи, как и раньше, принимаем ближайшее большее, чем V_i стандартное значение емкости V_c.

Наконец, если в системе откаточных участков, кроме участков, оборудованных электровозной откаткой, имеются также оборудованные канатным транспортом, то формула для вычисления V_i принимает вид

$$V_i = -\frac{\delta}{2} + \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \left(\frac{\sum_1^{x_1} A + \sum_1^{x_2} A'}{\sum_1^{x_1+x_2} B}\right)^3} \qquad (24)$$

где x_1 и x_2 — число откаточных участков, оборудованных соответственно электровозной и канатной откаткой.

Величина же коэффициента A' для участков с канатной откаткой вычисляется по формуле

$$A' = \frac{c_3(r + 67{,}5)}{917} + \frac{2\alpha c_4 Q_в 3 \cdot 10^5}{\eta A_г i_0^2 H^2 k_i} \qquad (25)$$

Формула эта более проста, чем формула (18) ввиду того, что на этих участках отсутствуют расходы, связанные с эксплуатацией электровозов, а появляющиеся вместо них другие расходы, как показывают специальные расчеты, практически от емкости вагонетки не зависят.

Выражение (24) охватывает все возможные случаи организации подземного рельсового транспорта на шахте и является в этом смысле универсальным, т. е. применимым как для простейших, так и для сложных схем откатки. Необходимо, однако, отметить, что при построении его нами не учитывались расходы по проведению и поддержанию стволов вертикальных шахт при клетевых подъемах. Поэтому изложенный метод выбора наивыгоднейшей емкости вагонетки справедлив лишь для шахт, оборудованных скиповым подъемом или подъемом по наклонным стволам. В тех же случаях, когда габаритные размеры вагонетки найденной оптимальной емкости V_c требуют увеличения сечения подъемного ствола при клетевом подъеме (сверх необходимого по условиям вентиляции), выгодность применения вагонетки такой емкости должна быть дополнительно проверена по величине расходов на прохождение, крепление и поддержание подъемного ствола.

Литература

1. Некоз А. В. Метод выбора наивыгоднейшего тоннажа рудничной вагонетки. «Уголь и железо», 1926, № 12—13.
2. Милованов А. И. К вопросу о выборе наивыгоднейшего тоннажа рудничного вагончика. Изд. Московской горной академии, 1928.
3. Ануфриюк Ф. М. Выбор типа и емкости рудничной вагонетки для шахт Кривбасса. «Горный журнал», 1939, № 1—2.
4. Лопатин С. И. Выбор грузоподъемности шахтной вагонетки. Московский горный институт. Научные труды. 1950, вып. 8.
5. Шевяков Л. Д. Новый метод решения некоторых задачи горного дела. Известия АН СССР, ОТН, 1946, № 7.
6. Шевяков Л. Д. Новый метод расчета наивыгоднейших пролетов моста. Известия АН СССР, ОТН, 1949, № 6.
7. Шевяков Л. Д. К вопросу об определении числа вагонов в поезде. «Горный журнал», 1948, № 7.