Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLII, вып. 1, 1960 г.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ СПОСОБОВ УБОРКИ ПОРОДЫ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ

Н. И. Николаев

Как известно, погрузка породы при проведении вертикальных стволов шахт, занимая 60—80% времени проходческого цикла, является наиболее трудоемким и трудно поддающимся механизации процессом. Поэтому особо важное значение имеет выбор наиболее рационального способа погрузки породы. Основным критерием для этого обычно служит суммарная производительность машин на погрузке, т. е. учитывается только сокращение времени на погрузку и достигаемое за счет этого увеличение скорости проходки. При этом совершенно упускается себестоимость погрузки породы, которая оказывает существенное влияние на себестоимость сооружения ствола.

Предлагаемая статья имеет целью вскрыть зависимость между производительностью[1] и себестоимостью погрузки породы в стволах, а также показать, как оба эти фактора влияют на себестоимость сооружения ствола.

Рассмотрим вначале влияние производительности погрузки на себестоимость сооружения ствола.

С увеличением производительности погрузки скорость проходки возрастает. Пусть $t_п$ — время, необходимое для погрузки объема породы Q. Тогда производительность погрузки

$$P_{пгр} = \frac{Q}{t_п}. \qquad (1)$$

Скорость проведения ствола

$$v = \frac{L}{T}, \qquad (2)$$

где L и T — глубина и время проходки ствола.

Время T слагается из затрат времени на погрузку породы и на остальные процессы проходческого цикла t_0. Тогда

$$T = t_п + t_0. \qquad (3)$$

[1] Под производительностью погрузки породы понимается отношение всего объема породы, подлежащего погрузке, ко времени, затрачиваемому на погрузку этого объема.

Найдя значение $t_п$ из формулы (1) и подставив значение T в формулу (2), получим

$$v = \frac{L}{t_0 + \frac{Q}{P_{пгр}}}. \qquad (4)$$

Так как в задачу исследования входит только выяснение зависимости скорости проходки от производительности погрузки, то величины L, t_0 и Q предполагаются постоянными.

Как показывает исследование, уравнение (4) является уравнением гиперболы, причем с увеличением производительности погрузки возрастание скорости проходки замедляется. Изменение этой скорости в свою очередь оказывает влияние на себестоимость сооружения ствола.

Слагающие себестоимость расходы (прямые нормируемые, общешахтные и накладные) не однородны. Часть их изменяется прямо пропорционально скорости проходки, часть остается постоянной в течение определенного промежутка времени. К постоянным затратам относится большая часть, около 80%, общешахтных и 70—80% накладных расходов. С изменением скорости проходки сумма этих затрат в себестоимости 1 *м* ствола меняется, сумма же пропорциональных затрат остается постоянной.

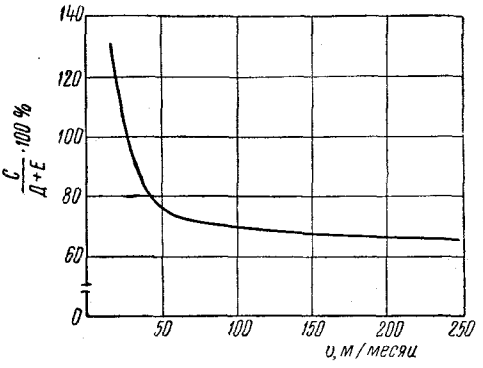


Рис. 1. Зависимость себестоимости сооружения 1 *м* ствола от скорости проходки

Зависимость себестоимости ствола от скорости проходки

$$C = D + E\frac{v_н}{v}, \qquad (5)$$

где D и E — сметная сумма соответственно пропорциональных и постоянных расходов с себестоимости 1 *м* ствола;

$v_н$ — сметный норматив проходки;

v — фактическая скорость проходки.

Равенство (5) является уравнением гиперболы, общий вид которой представлен на рис. 1. Как видно из рисунка, при малых скоростях проходки увеличение темпов сопровождается резким снижением себестоимости. Дальнейшее увеличение темпов проходки дает все уменьшающийся экономический эффект. Следовательно, в том случае, когда увеличение производительности погрузки сопровождается ростом ее себестоимости, экономия от увеличения скорости проходки может оказаться меньше приращения себестоимости погрузки. Приращение себестоимости погрузки, очевидно, является экономически оправданным до тех пор, пока не превысит получаемую от увеличения темпов экономию, т. е. до момента

$$\Delta C = \Delta c, \qquad (6)$$

где ΔC — экономия за счет приращения темпов проходки;

Δc — приращение себестоимости погрузки.

Но

$$\Delta C = C_1 - C_2, \tag{7}$$

где C_1 и C_2 — себестоимость проведения 1 *м* ствола со скоростью соответственно v_1 и v_2.

В свою очередь,

$$C_1 = D + E\frac{v_н}{v_1}, \tag{8}$$

а

$$C_2 = D + E\frac{v_н}{v_2}. \tag{9}$$

Заменив v_2 через v_1K, где

$$K = \frac{v_2}{v_1} \tag{10}$$

и подставив значения C_1 и C_2 в формулу (7), после простейших математических преобразований получим

$$v_1 = \frac{Ev_н}{K\Delta C}(K-1) \tag{11}$$

или, согласно равенству (6),

$$v_1 = \frac{Ev_н}{K\Delta c}(K-1). \tag{12}$$

Для удобства исследования подставим в формулу (10) значения v_1 и v_2, найденные из формулы (4). После преобразований получим

$$K = \frac{1}{(1-d) + \frac{dP_{пгр_1}}{P_{пгр_2}}}, \tag{13}$$

где d — доля для времени, затрачиваемого на погрузку породы, в общем времени проходческого цикла, равная $\frac{t_п}{T}$.

В свете изложенного рассмотрим экономическую эффективность способов погрузки породы с применением грузчиков БЧ-1 и КС-2 в стволах диаметром в свету 7,5 *м*.

Как известно, для погрузки породы в стволах такого диаметра применяются три, четыре и пять грузчиков БЧ-1. С уменьшением этого числа грузчиков затраты труда на погрузку породы с 1 *м* ствола почти не изменяются, а производительность одного грузчика не только не увеличивается, но в некоторых случаях даже уменьшается, что объясняется увеличением расстояния подтягивания. При проходке, например [1], ствола № 1 шахты «Ветка-Глубокая», где уборка породы производилась двумя грузчиками БЧ-1, производительность одного грузчика (в целике) составила 3,2 *м*³/*час* или 5,87 *м*³/*час* (разрыхленной породы). При определении производительности грузчика не учитывались затраты времени на подготовительно-заключительные операции. С учетом этих затрат производительность грузчика будет несколько меньше приводимой ниже производительности одного грузчика при уборке породы одновременно тремя грузчиками.

Для выяснения зависимости производительности и трудоемкости погрузки породы от числа грузчиков использовались хронометражные наблюдения за работой трех, четырех и пяти грузчиков в стволах шахт «Буденновская-Глубокая» и «Мушкетовская-Заперевальная» № 2, проводившиеся нормативно-исследовательской станцией, а также самим автором. Приток воды не превышал 6 $м^3/час$. Коэффициент крепости пород 4—8 по шкале М. М. Протодьяконова. Наблюдения производились способом фотоучет — графический с точностью до 1 мин. Полученные средние производительности погрузки породы (по 12 циклам) сведены в таблицу.

Таблица

Число грузчиков	Трудоемкость уборки породы на 1 *м* ствола, чел.-мин.	Производительность уборки породы, $м^3разр/час$	Производительность одного грузчика, $м^3разр/час$
3	4700	16,9	5,64
4	5450	21,1	5.28
5	5950	23,2	4,64

При определении продолжительности погрузки породы учитывались затраты времени на: 1) приведение забоя в безопасное состояние; 2) спуск и подготовку грузчиков к работе; 3) уборку породы; 4) подъем грузчиков: 5) зачистку забоя. Время простоев из подсчета исключалось, чем устранялось влияние на производительность случайных факторов и глубины ствола.

При определении трудоемкости погрузки породы на 1 *м* ствола учитывались затраты труда в человеко-минутах на: 1) приведение забоя в безопасное состояние; 2) спуск и подготовку БЧ-1 к работе; 3) погрузку породы в бадьи; 4) прием и отправку бадей; 5) подачу сигналов и откачку воды насосом НПП в бадьи; 6) разборку породы и зачистку забоя; 7) подготовку к подъему и подъем БЧ-1; 8) отдых рабочих.

Как видно из приведенной таблицы, вместе с ростом производительности погрузки при увеличении числа грузчиков растет и ее трудоемкость. Одновременно производительность одного грузчика падает. Вследствие сложности учета фактические затраты машино-смен на 1 *м* ствола принимаются при трех грузчиках согласно сметным расчетам. Предполагается, что затраты машино-смен при четырех и пяти грузчиках увеличиваются прямо пропорционально увеличению числа грузчиков и обратно пропорционально увеличению производительности погрузки.

Согласно изложенному выше, затраты машино-смен грузчиков БЧ-1 на 1 *м* ствола составят:

при трех грузчиках . . . . 2,98 машино-смен;

при четырех грузчиках . . $2{,}98\frac{4}{3}\frac{16{,}9}{21{,}1} = 3{,}18$ машино-смен;

при пяти грузчиках . . . . $2{,}98\frac{5}{3}\frac{16{,}9}{23{,}2} = 3{,}61$ машино-смен.

При средней тарифной ставке на погрузке породы 81 руб. и средней стоимости машино-смены БЧ-1 для Донбасса 40 р. 20 к. расчетная себестоимость погрузки породы на 1 *м* ствола без премий составит:

при трех грузчиках

$$\frac{4700 \cdot 81}{60 \cdot 6} + 2{,}98 \cdot 40{,}2 = 1178 \text{ руб.},$$

при четырех грузчиках

$$\frac{5450 \cdot 81}{60 \cdot 6} + 3{,}18 \cdot 40{,}2 = 1355 \text{ руб.};$$

при пяти грузчиках

$$\frac{5950 \cdot 81}{60 \cdot 6} + 3{,}61 \cdot 40{,}2 = 1485 \text{ руб.}$$

Значение K, согласно формуле (13), для трех и пяти грузчиков по сравнению с четырьмя грузчиками находится по данным приведенной выше таблицы

$$K = \frac{1}{(1 - 0{,}7) + \frac{0{,}7 \cdot 21{,}1}{16{,}9}} = 0{,}851;$$

$$K = \frac{1}{(1 - 0{,}7) + \frac{0{,}7 \cdot 21{,}1}{23{,}2}} = 1{,}069.$$

Входящее в формулу (13) значение $d = 0{,}7$ найдено как среднее на основании анализа затрат времени на 659 проходческих циклов при погрузке породы четырьмя грузчиками БЧ-1 в стволах диаметром в свету 7,5 *м*.

Значение Δc определяется как разность себестоимостей погрузки

$$\Delta c_{3-4} = 1178 - 1355 = -177 \text{ руб.};$$

$$\Delta c_{5-4} = 1485 - 1355 = +130 \text{ руб.}$$

Сметную сумму постоянных расходов в себестоимости 1 *м* ствола получим, исходя из условий шахты «Мушкетовская-Заперевальная» № 2, где на общешахтные расходы падает 7290 руб., из них на постоянные 5850 руб. Накладные расходы составляют 27% от суммы прямых затрат, из них 21,6%, или 3950 руб. постоянных. Всего постоянных расходов на 1 *м* ствола при $v_н = 26$ *м/месяц* 9810 руб.

Подставив значения Δc, E, $v_н$ и K в формулу (12), получим при введении четвертого грузчика

$$v = \frac{9810 \cdot 26}{0{,}851\,(-177)}(0{,}851 - 1) = 252 \text{ } м/месяц$$

или для трех грузчиков $252 \cdot 0{,}851 = 215$ *м/месяц*. При введении пятого грузчика

$$v = \frac{9810 \cdot 26}{1{,}069\,(+130)}(1{,}069 - 1) = 126 \text{ } м/месяц.$$

Полученные значения скорости показывают, что экономия от увеличения темпов будет превышать приращение себестоимости погрузки в результате введения четвертого грузчика при скорости 215 *м/месяц*, а пятого — при 126 *м/месяц* (рис. 2).

Таким образом, увеличение числа грузчиков эффективно только до определенных значений скорости. В каждом конкретном случае эти значения скорости, очевидно, будут несколько отличны от приведенных выше. Но так как скорости проходки, которые могут обеспечить и обес-

печивают грузчики БЧ-1, как правило, лежат значительно ниже приведенных скоростных пределов, то тенденция к снижению себестоимости ствола при увеличении числа грузчиков сохраняется. Поэтому при использовании для погрузки породы грузчиков БЧ-1 необходимо ориентироваться на максимально возможное их число.

С другой стороны, и механизированная погрузка породы остается наиболее трудоемким процессом проходческого цикла, что обусловливает высокую ее себестоимость (затраты на заработную плату составляют около 90% себестоимости погрузки). Поэтому особо важное значение приобретает применение погрузочных машин, позволяющих наряду с увеличением производительности погрузки значительно снизить ее трудоемкость. В этом отношении заслуживает особого внимания создание комплексных проходческих агрегатов, полностью механизирующих процесс уборки породы. Одним из них является комплекс оборудования для проходки стволов шахт КС-2.

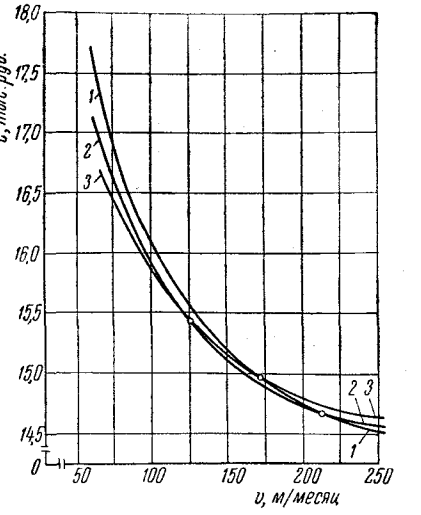


Рис. 2. Сравнение себестоимости сооружения 1 *м* ствола при применении трех (*1*), четырех (*2*) и пяти (*3*) грузчиков БЧ-1

Пневматические грейферные грузчики этого комплекса имеют емкость зачерпывающего органа 0,38 $м^3$. На погрузке породы задалживается всего четыре проходчика: два на механическом вождении грейферов и два в забое ствола на установке и отправке бадей и откачке воды насосом НПП.

Хронометражные наблюдения за работой двух грузчиков проводились нормативно-исследовательской станцией в ноябре 1957 г. во время промышленных испытаний комплекса КС-2 на клетевом стволе шахты «Чайкино-Глубокая» № 2 диаметром в свету 7,5 *м*. Средние результаты этих наблюдений, пересчитанные на 1 *м* ствола, следующие:

трудоемкость уборки породы, чел.-мин.	1230
затраты, машино-смен	1,26
производительность погрузки, $м^3разр/час$	29,8
время погрузки породы, час.	3,76
общее время проведения 1 *м* ствола, час:	
без учета потерь времени	6,67
с учетом потерь времени	10,1

Сокращение трудоемкости привело к значительному (почти в два раза по сравнению с БЧ-1) уменьшению себестоимости погрузки. Действительно, при стоимости 1 машино-смены КС-2 301 р. 80 к. и средней тарифной ставке на уборке породы грузчиками КС-2 82 р. 50 к. расчетная себестоимость погрузки на 1 *м* ствола составит

$$c = \frac{1230 \cdot 82{,}5}{6 \cdot 60} + 1{,}25 \cdot 301{,}8 = 659 \text{ руб.}$$

Определяя по формуле (2)

$$v = \frac{P_{\text{пгр}} d}{S_{\text{прох}}},$$

(где $S_{прох}$ — сечение ствола в проходке) скорость проходки в зависимости от производительности погрузки получим, что при производительности погрузки пятью грузчиками БЧ-1 23,2 *м³разр/час* может быть обеспечена скорость проходки до 100 *м/месяц*, в то время как производительность двух грузчиков КС-2 29,8 *м³разр/час* обеспечивает при прочих равных условиях устойчивые темпы проходки около 110 *м/месяц*.

Экономия за счет повышения скорости проходки и снижения себестоимости погрузки на 1 *м* ствола составит около 1250 руб. (5% сметной стоимости). Для получения аналогичного экономического эффекта при пяти грузчиках БЧ-1 необходимо, чтобы эти грузчики обеспечивали скорость 170 *м/месяц*. Такие темпы могут быть достигнуты при производительности погрузки около 65 *м³разр/час*. По сравнению же со сметной себестоимостью при обычных способах проходки грузчик КС-2 позволяет снизить себестоимость 1 *м* ствола примерно на 8150 руб. (35%) и, кроме того, резко уменьшить интенсивность работ в забое ствола и в свою очередь сократить возможность травматизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данчич В. В. и Чумак С. А. Анализ работы погрузочных машин для проходки стволов. Сб. «Исследования по шахтному строительству». Углетехиздат, 1954.

2. Гузеев А. Г. Организация погрузки породы пневматическими грузчиками. Углетехиздат, 1957.