

А.Н. Роечко, В.В. Коваленко, С.А. Харин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И УДЕЛЬНОГО ВЕСА ВРЕМЕНИ ПРОХОДЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В СТВОЛАХ СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНЫ

В рамках різних умов сполучення продуктивності основних прохідницьких операцій досліджені темпи і структура витрат часу циклу. Отримано відповідні аналітичні залежності. Дослідження виконані в породах різної міцності.

В рамках различных условий сочетания производительности основных проходческих операций исследованы темпы и структура затрат времени цикла. Получены соответствующие аналитические зависимости. Исследования выполнены в породах разной крепости.

Within the framework of different terms of combination of the productivity of basic entry-driving operations rates and structure of expenses of time of cycle are investigational. The proper analytical dependences are got. Researches are executed in the breeds of different fortress.

Поддержание заданных темпов проходки горных выработок является важной задачей шахтного строительства. В этой связи представляет интерес исследование влияния различных факторов, таких как производительность средств бурения шпуров, погрузки породы и крепления на скорость и структуру проходческого цикла в шахтных стволах.

Исследование выполнено при фиксированном времени проходческого цикла при следующих условиях: проходка осуществляется обычным способом с применением буровзрывных работ по совмещенной схеме. Стволы закреплены монолитным бетоном.

Для ствола диаметром в проходке  $D = 6$  м при площади поперечного сечения  $S = 28,3$  м<sup>2</sup>, проходимого в породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протоdjяконова  $f = 12$  и эксплуатацион-

ной производительности бурового (обозначим ее  $B$ ) оборудования 6 м/ч и эксплуатационной производительности погрузочного ( $P$ ) оборудования 2 м<sup>3</sup>/ч (рис. 1, а), имеет место скорость проходки горной выработки 11,79 м/мес. Переход к большей производительности средств бурения, при неизменных прочих условиях, увеличивает темпы проходки выработки. Так, например, при эксплуатационной производительности 8 м/ч скорость проходки выработки возрастает до 13,02 м/мес., при эксплуатационной производительности 12 м/ч скорость увеличится до 14,43 м/мес. Высокие уровни производительности бурового оборудования при принятом нами низком значении производительности погрузки способствуют достижению лишь несколько больших темпов проходки. Так, при  $B = 30$  м/ч скорость возрастет только до 16,63 м/мес.

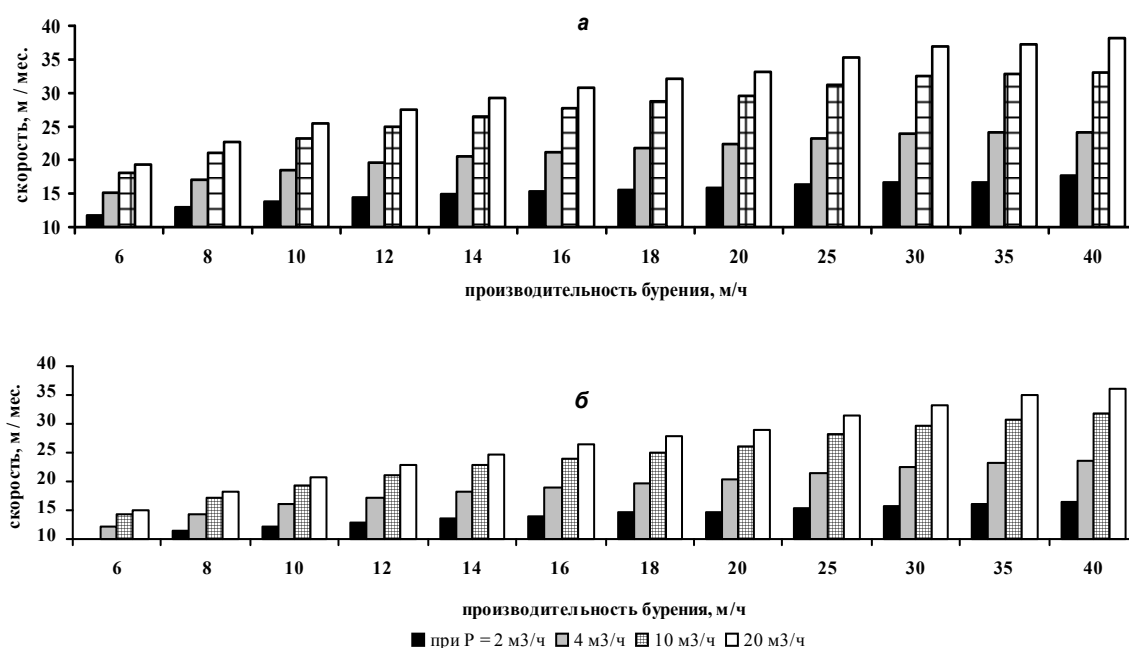


Рис. 1. Зависимость  $v$  от  $B$ : а – при  $f=12$ ; б – при  $f=18$

Характер зависимости  $v$  от  $B$  при  $P = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  для ствола  $D = 6 \text{ м}$  при  $f = 12$  с достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,9709$  может быть описан логарифмической зависимостью (табл. 1)

$$v = 2,8071\text{Ln}(B) + 7,2636.$$

Увеличим производительность погрузки породы последовательно до  $P = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $P = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $P = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$  и рассмотрим, аналогично предыдущему, изменение скорости проходки ствола при разных значениях  $B$ . Сочетание увеличившейся производительности средств погрузки породы и достаточно больших значений производительности бурового оборудования позволяет наблюдать заметное возрастание скорости проведения ствола (рис. 1, а). Для таких случаев приведем зависимости скорости проходки ствола от  $B$  и  $P$ , отражающие достаточно сложный характер изменения  $v$ :

- при  $P = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$   $v = 4,86\text{Ln}(B) + 7,2718$ ,
- при  $P = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$   $v = 8,1336\text{Ln}(B) + 4,5414$ ,
- при  $P = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$   $v = 10,1\text{Ln}(B) + 2,2021$ .

Аналогичным образом рассмотрим зависимость  $v$  от  $B$  при разных  $P$  для данного ствола, но при увеличении  $f$  до 18 (рис. 1, б). В этом случае при указанных значениях  $B$  и  $P$  будут иметь место более низкие скорости проходки, а общий характер зависимости  $v$  от этих параметров может быть описан соответствующими выражениями (табл. 1).

Таблица 1

Зависимости скорости проходки ствола от  $B$  и  $P$

Коэффициент крепости пород	$P, \text{ м}^3/\text{ч}$	Зависимость
$f = 12$	2	$v = 2,8071\text{Ln}(B) + 7,2636$ при $R^2 = 0,9709$
	4	$v = 4,86\text{Ln}(B) + 7,2718$ при $R^2 = 0,9662$
	10	$v = 8,1336\text{Ln}(B) + 4,5414$ при $R^2 = 0,9783$
	20	$v = 10,1\text{Ln}(B) + 2,2021$ при $R^2 = 0,9854$
$f = 18$	2	$v = 3,1129\text{Ln}(B) + 5,1441$ при $R^2 = 0,9703$
	4	$v = 5,5676\text{Ln}(B) + 3,1485$ при $R^2 = 0,9775$
	10	$v = 8,8755\text{Ln}(B) - 0,9691$ при $R^2 = 0,987$
	20	$v = 10,64\text{Ln}(B) - 3,4796$ при $R^2 = 0,9887$

Рассмотрим изменение структуры затрат времени основных операций проходческого цикла в стволе диаметром  $D = 6 \text{ м}$  при коэффициенте крепости пород  $f = 12$  по шкале проф. М.М. Протодяконова. При наименьших значениях эксплуатационной производительности средств бурения шпуров ( $B = 5 \text{ м/ч}$ ), погрузки породы ( $P = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  в массиве) и крепления ( $K = 1,23 \text{ м}^3/\text{ч}$  уложенного бетона) в структуре проходческого цикла будут несколько доминировать (рис. 2) затраты времени на погрузку породы –

37,06%, несколько меньшими будут затраты на бурение – 36,31% и более чем в 2 раза им уступает крепление – 17,42%. Примем этот вариант (a1) за базовый (табл. 2).

При сохранении значений  $P$  и  $K$ , но возрастании производительности бурения будет наблюдаться следующая картина: при  $B = 10 \text{ м/ч}$  (вариант a2) удельный вес бурения заметно (в 1,59 раза) снизится и составит 22,8%, в то же время в еще большей степени усилится доминирование погрузки (до 46,55%), несколько возрастет доля крепления (21,88%).

В дальнейшем, по мере возрастания  $B$  (варианты a3-a8), наметившаяся ранее тенденция интенсивного роста удельного веса времени погрузки и менее заметного увеличения крепления, но сокращения доли бурения, сохранится: при  $B = 40 \text{ м/ч}$  (вариант a8) структура проходческого цикла приобретет следующий вид –  $B_{\text{уд}} = 7,04\%$ ,  $P_{\text{уд}} = 57,52\%$  и  $K_{\text{уд}} = 27,04\%$ .

Таким образом, при очень высоких значениях  $B$  и низких  $P$  и  $K$  доминирующее в структуре цикла время погрузки будет в 8,2 раза превосходить удельный вес бурения и в 2,13 раза крепления.

Таблица 2

Варианты условий исследования

Вариант, при $f=12$ / при $f=18$	Производительность операций		
	погрузки, $\text{м}^3/\text{ч}$	бурения, $\text{м/ч}$	крепления, $\text{м}^3/\text{ч}$
a1 / б1	2	5	1,23
a2 / б2	2	10	1,23
a3 / б3	2	15	1,23
a4 / б4	2	20	1,23
a5 / б5	2	25	1,23
a6 / б6	2	30	1,23
a7 / б7	2	35	1,23
a8 / б8	2	40	1,23
a9 / б9	4	5	1,23
a10 / б10	4	10	1,23
a11 / б11	4	15	1,23
a12 / б12	4	20	1,23
a13 / б13	4	25	1,23
a14 / б14	4	30	1,23
a15 / б15	4	35	1,23
a16 / б16	4	40	1,23
a17 / б17	10	5	1,23
a18 / б18	10	10	1,23
a19 / б19	10	15	1,23
a20 / б20	10	20	1,23
a21 / б21	10	25	1,23
a22 / б22	10	30	1,23
a23 / б23	10	35	1,23
a24 / б24	10	40	1,23
a25 / б25	20	5	1,23
a26 / б26	20	10	1,23
a27 / б27	20	15	1,23
a28 / б28	20	20	1,23
a29 / б29	20	25	1,23
a30 / б30	20	30	1,23
a31 / б31	20	35	1,23
a32 / б32	20	40	1,23

При в 2 раза более высоком и постоянном уровне производительности средств погрузки ( $P = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и сохранении прежней величины производительности крепления ( $K = 1,23 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и росте  $B$  будет иметь место следующее.

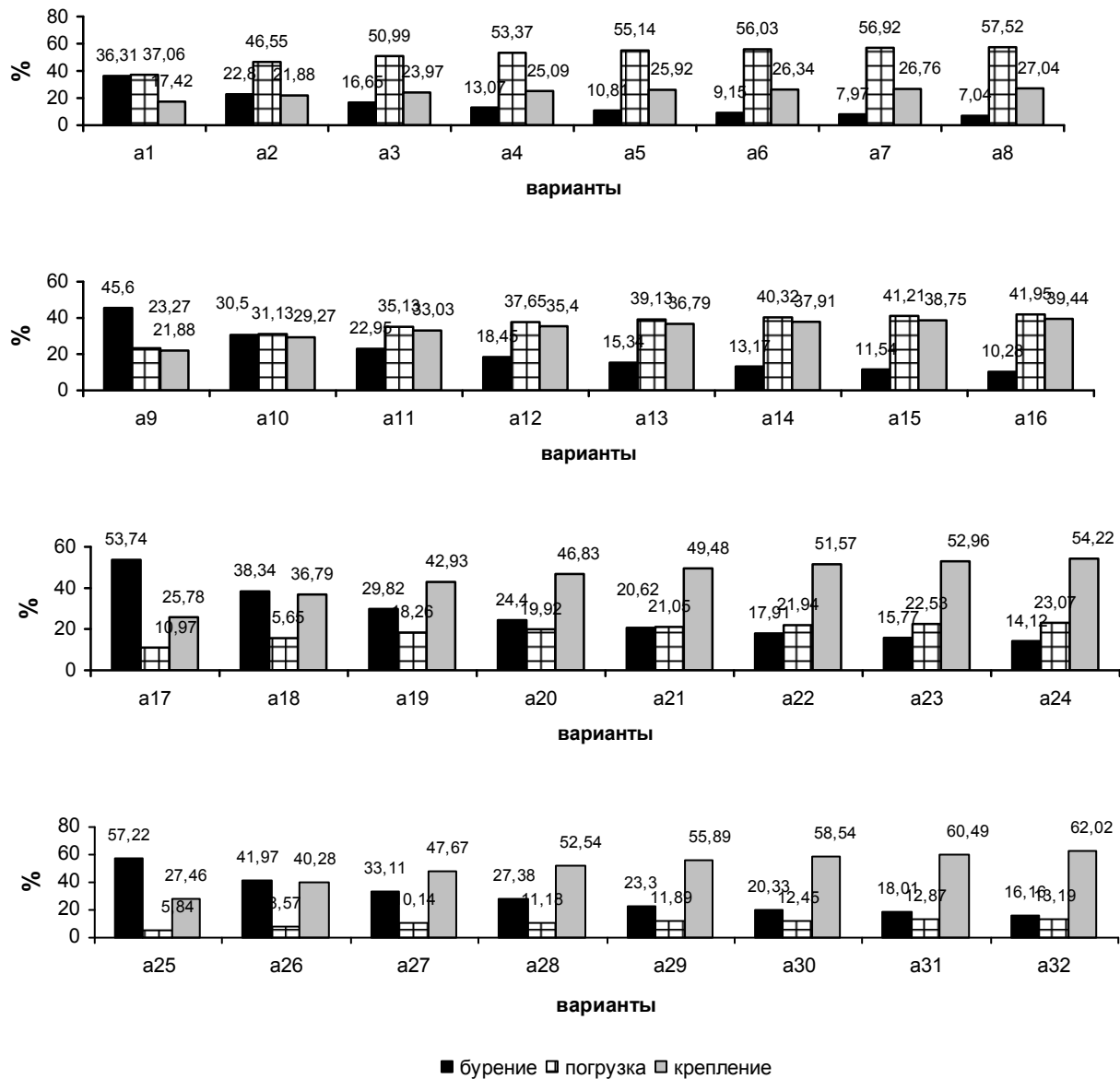


Рис. 2. Структура затрат времени операций при проходке ствола  $D = 6$  м при  $f = 12$

При  $B = 5$  м/ч (вар. а9) в структуре цикла будет доминировать бурение  $B_{y0} = 45,6\%$ , удельный вес погрузки и крепления будет в 2 раза меньшим. При  $B = 10$  м/ч доля бурения резко сократится – до 30,5%, примерно на таком же уровне будут находиться погрузка и крепление. Дальнейший рост  $B$  приводит к следующим изменениям: заметному снижению удельного веса бурения и возрастанию долей погрузки и крепления. При  $B = 40$  м/ч (вар. а16) имеет место следующее:  $B_{y0} = 10,88\%$ ,  $P_{y0} = 41,95\%$  и  $K_{y0} = 39,44\%$ .

Рассмотрим далее изменение структуры проходческого цикла при  $P = 10$  м<sup>3</sup>/ч и  $K = 1,23$  м<sup>3</sup>/ч. В этом случае при низких значениях производительности бурения ( $B = 5$  м/ч, вар. а17) в сильной степени (и более выражено, чем в соответствующем случае, но при  $P = 4$  м<sup>3</sup>/ч, вар. а9) доминирует удельный вес бурения –  $B_{y0} = 53,74\%$ , в 5 раз ему уступает удельный вес погрузки –  $P_{y0} = 10,97\%$  и достаточно велика доля времени креп-

ления –  $K_{y0} = 39,44\%$ . В отличие от предыдущих случаев, за счет высокого значения производительности средств погрузки в вариантах а17-а24 в структуре цикла всегда соблюдается условие  $P_{y0} < K_{y0}$ , а при достаточно больших значениях  $B$  в структуре заметно преобладают затраты времени на крепление, значительно им уступают затраты на погрузку и еще меньшим становится удельный вес бурения, что иллюстрируется, например, вар. а24, в котором  $B_{y0} = 14,12\%$ ,  $P_{y0} = 23,07\%$  и  $K_{y0} = 54,22\%$ .

Наконец, при  $P = 20$  м<sup>3</sup>/ч,  $K = 1,23$  м<sup>3</sup>/ч и различных значениях  $B$  структура проходческого цикла изменится следующим образом. Во всех случаях (вар. а25-а32) удельный вес погрузки породы будет наименьшим, по мере роста  $B$  будет снижаться удельный вес бурения и уже при  $B > 10$  м/ч он станет меньше доли крепления. В варианте а32 структура примет вид:  $B_{y0} = 16,13\%$ ,  $P_{y0} = 13,19\%$  и  $K_{y0} = 62,02\%$ .

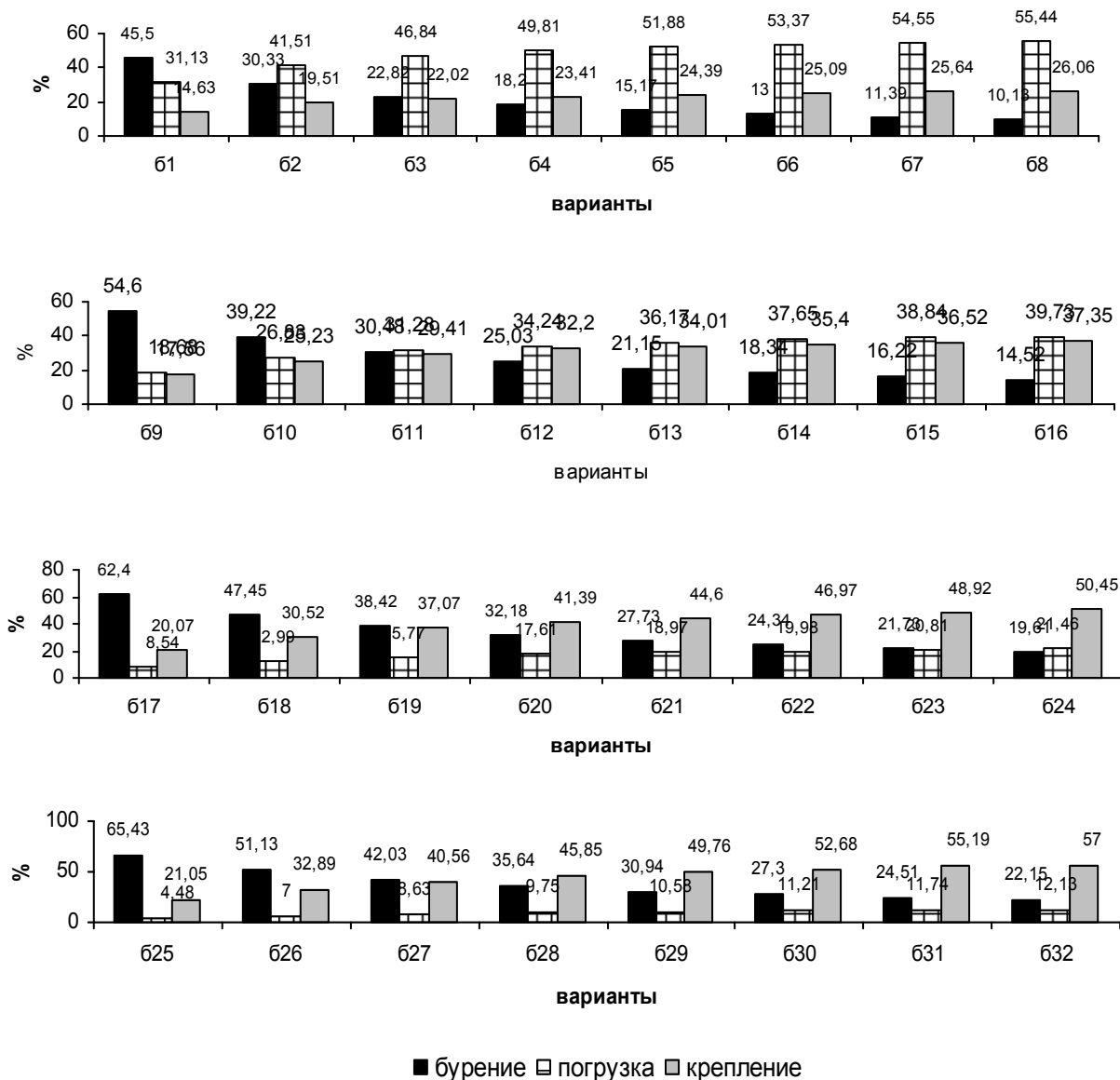


Рис. 3. Структура затрат времени операций при проходке ствола  $D = 6$  м при  $f = 18$

Одинаковые скорости проходки ствола могут быть достигнуты при различном сочетании эксплуатационных производительностей средств, применяемых для бурения шпуров, погрузки породы и крепления. Соответственно, в этом случае будут иметь место разные продолжительности тех или иных операций проходческого цикла и его структура. Так, например, скорость проходки  $v \approx 18$  м/мес. обеспечивается при таких значениях производительности –  $B = 40$  м<sup>3</sup>/ч,  $P = 2$  м<sup>3</sup>/ч,  $K = 1,23$  м<sup>3</sup>/ч и структуре – приведенной выше (вар. а8). Эта же скорость может быть достигнута при –  $B = 10$  м<sup>3</sup>/ч,  $P = 4$  м<sup>3</sup>/ч,  $K = 1,23$  м<sup>3</sup>/ч и структуре –  $B_{уд} = 30,5\%$ ,  $P_{уд} = 31,13\%$  и  $K_{уд} = 29,27\%$  (вар. а10).

Скорость  $v \approx 23$  м/мес также возможна при различных условиях, производительности –  $B = 10$  м<sup>3</sup>/ч,  $P = 10$  м<sup>3</sup>/ч,  $K = 1,23$  м<sup>3</sup>/ч и структуре –  $B_{уд} = 38,34\%$ ,  $P_{уд} = 15,65\%$  и  $K_{уд} = 36,79\%$  (вар. а18), а также и при  $B = 25$  м<sup>3</sup>/ч,  $P = 4$  м<sup>3</sup>/ч и  $K = 1,23$  м<sup>3</sup>/ч и структуре –  $B_{уд} = 15,34\%$ ,  $P_{уд} = 39,13\%$  и  $K_{уд} = 36,79\%$  (вар. а13).

При переходе к условиям  $c f = 18$  (вар. 61-632) основные тенденции изменения структуры проходческого цикла сходны с предыдущими (рис. 3), однако во всех соответствующих случаях удельный вес бурения будет заметно большим, а погрузки и крепления – несколько меньшим, чем при  $f = 12$ . Это связано с возрастанием объемов бурения при увеличении крепости пород, в которых осуществляется строительство.

Таким образом, рассмотренный выше достаточно широкий диапазон условий сочетания производительности проходческих операций позволил установить закономерности изменения темпов строительства стволов и соответствующей им структуры затрат времени проходческого цикла.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.Й. Федоренком 11.11.09