

5. Ходжаев Р.Ш. Экономическая эффективность эксплуатации сложных угольных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 247 с.
6. Свойства пород и устойчивость горных выработок / [авт. текста Усаченко Б.М.] – К.: Наук. думка, 1979. – 136 с.
7. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: учебник для вузов. – К.: Новый друк, 2004. – 400 с.
8. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Д.: АРТ ПРЕСС, 2004. – 132 с.

На основі теоретичних досліджень стійкості приконтурної області обводненого породного масиву в зонах тектонічних порушень отримано аналітичний вираз, що встановлює взаємозв'язок межі міцності породного масиву на одноосний стиск від часу, що пройшов після моменту прориву води у виробку. По-

казано, що об'єм вивалоутворення лінійно зростає зі збільшенням водопритоку в гірничу виробку.

**Ключові слова:** *стійкість, приконтурна область, обводненість, тектонічне порушення, межа міцності*

On the basis of theoretical researches of marginal region of watered rock massif stability, it is obtained the analytical expression setting intercommunication of rock massif tensile strength on monaxonic compression from time, passing after the moment of water inrush to mine working located in the area with tectonic violations. It is shown that the volume of rush formation increases in linear way as the water inflow to mine working rises.

**Keywords:** *stability, marginal region, watering, tectonic violation, tensile strength*

*Рекомендовано до публікації д.т.н., О.М. Шашенком  
Дата надходження рукопису 15.07.10*

УДК 622.272:624.191.5

© Харин С.А., 2010

С.А. Харин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СРЕДСТВ БУРЕНИЯ ПРИ ПРОХОДКЕ ГЛАВНОГО КВЕРШЛАГА ГОРИЗОНТА ВТОРОЙ СТУПЕНИ ВСКРЫТИЯ

S.A. Kharin

## RESEARCH OF PRODUCTIVITY OF DRILLING TOOLS WHEN DRIVING MAIN CROSSCUT OF HORIZON OF THE SECOND STAGE OF OPENING

Проведены исследования параметров, влияющих на интенсивность проходки выработок шахты и рациональную организацию строительства. Показано, что производительность средств бурения, позволяющая обеспечить данную скорость проходки выработки, возрастает по мере сокращения продолжительности строительства горизонта второй ступени вскрытия, причем зависимость производительности бурения от времени строительства горизонта может быть описана степенной функцией.

**Ключевые слова:** *производительность, бурение, шахта, горизонт, проходка, скорость, ступень вскрытия, функция, удельный коэффициент прироста производительности бурения по фактору времени*

Для строительства шахт на больших глубинах вопросы рациональной организации работ приобретают особую остроту. В этой связи выполним анализ эксплуатационной производительности средств бурения, позволяющей обеспечивать скорости проведения главного квершлага горизонта 2-й ступени вскрытия, которая отвечает директивному времени строительства этого горизонта. Производительность бурения шпуров в забое выработки в зависимости от скорости ее проходки может быть найдена по формуле

$$B = \frac{N_{\text{шп}}}{\frac{T'_c}{l_{\text{ш}}} - \frac{\eta \mu S}{P_{\text{нгр}}} - \frac{\eta W_{\text{кр}}}{P_{\text{кр}}}},$$

причем  $T'_c = T_c - t_{\text{зрж}} - t_{\text{всп}} - \sum t_{\text{пзкл}}$ ,

где  $B$  – эксплуатационная производительность бурения шпуров в забое выработки, м/ч;  $N_{\text{шп}}$  – число шпуров в забое выработки;  $T'_c$  – время проходческого цикла, приходящееся на операции бурения шпуров, погрузки породы и крепления выработки, ч;  $l_{\text{шп}}$  – глубина шпуров, м;  $\eta$  – коэффициент использования шпуров (КИШ);  $\mu$  – коэффициент излишка сечения (КИС);  $S$  – площадь сечения выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  $P$  – производительность погрузки породы в массиве, м<sup>3</sup>/ч;  $W_{\text{кр}}$  – объем работ по креплению выработки набрызгбетоном, м<sup>2</sup>;  $K$  – производительность крепления выработки набрызгбетоном, м<sup>2</sup>/ч;  $T_c$  – общее время проходческого цикла, ч;  $t_{\text{зрж}}$  – время зарядки шпуров, ч;  $t_{\text{всп}}$  – сумма времени на вспомогательные операции, ч;  $\sum t_{\text{пзкл}}$  – сумма времени на подготовительно-заключительные операции, ч.

## РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

При времени строительства горизонта  $T_{гор} = 108$  мес. (таблица), для его обеспечения, при скоростях проходки вентиляционного квершлага 10 м/мес., штрека 15 м/мес., засечек 10 м/мес. при темпах сооружения околостволь-

ных дворов 250 м<sup>3</sup>/мес. (главного и флангового стволов) в пределах главного направления будет необходимо поддержание скорости проведения главного квершлага на уровне 28,2 м/мес.

Таблица

Динамика производительности проходческих операций

Главный квершлаг				Скорость, м/мес.		
Время строительства горизонта 108 мес.						
При скорости проходки околоствольных дворов 250 м <sup>3</sup> /мес.						
Скорость, м/мес.	Производительность			Вентиляционный квершлаг	Штрек	Засечки
	бурения, м/ч	погрузки, м <sup>3</sup> /ч	крепления, м <sup>2</sup> /ч			
1	2	3	4	5	6	7
28,2	10,820	12	10	10	15	10
	20,230	5	5			
	14,257	10	5			
	11,240	10	10			
	10,430	15	10			
	9,790	15	15			
	9,470	20	15			
	9,197	20	20			
	12,870	5	20			
	8,874	25	25			
20,2	8,770	30	25	10	20	10
	6,980	12	10			
	9,970	5	5			
	8,260	10	5			
	8,390	5	10			
	7,150	10	10			
	6,810	15	10			
	6,840	10	15			
	6,530	15	15			
	6,260	20	20			
15,8	6,110	25	25	10	30	10
	6,020	30	30			
	6,650	5	5			
	5,850	10	5			
	5,270	10	10			
	5,080	15	10			
	4,930	15	15			
	4,770	20	20			
6,91	4,680	25	25	25	25	25
	4,630	30	30			
	2,250	5	5			
	2,060	10	10			
	2,010	15	15			
	1,980	20	20			
4,92	1,970	25	25	50	50	50
	1,960	30	30			
	1,520	5	5			
	1,470	10	5			
	1,430	10	10			
	1,410	15	15			
94,8	1,400	20	20	50	50	50
	1,390	25	25			
	84,250	15	15			
	54,180	20	20			
	44,620	25	25			
	39,930	30	30			
55	37,950	10	10	60	60	60
	25,300	15	15			
	21,680	20	20			
	19,970	25	25			
	18,970	30	30			
43,1	При скорости проходки околоствольных дворов 400 м <sup>3</sup> /мес.					
	22,450	10	10	50	50	50
	17,330	15	15			
	15,550	20	20			
	14,650	25	25			
14,110	30	30				

Рассмотрим, при каких сочетаниях производительности средств бурения шпуров в забое выработки, погрузки породы и крепления (в случае нанесения на кровлю и стены выработки слоя набрызгбетона как временной крепи) будет возможно соблюдение указанной скорости проходки главного квершлага. В данном случае возможно весьма большое сочетание различных величин эксплуатационных производительностей, например, таких:

- производительность бурения 20,23 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 5 м<sup>3</sup>/ч породы в массиве и 5 м<sup>2</sup>/ч площади кровли и стен выработки (высокая производительность бурения в сочетании с весьма низкими производительностями погрузки и крепления);

- производительность бурения 11,24 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 10 м<sup>3</sup>/ч и 10 м<sup>2</sup>/ч (средние по уровню значения всех производительностей);

- производительность бурения 9,197 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 20 м<sup>3</sup>/ч и 20 м<sup>2</sup>/ч (сравнительно низкая производительность бурения в сочетании со сравнительно высокими производительностями погрузки и крепления).

Кроме рассмотренных, возможно также множество других вариантов сочетания производительностей средств бурения, погрузки и крепления, которые обеспечивают данную скорость проходки главного квершлага, увязанную со скоростями проведения других выработок горизонта, что в совокупности обеспечивает поддержание заданной продолжительности строительства.

Применение высоких или даже очень высоких уровней эксплуатационных производительностей средств погрузки и крепления в дальнейшем не приводит к заметному снижению уровня производительности бурового оборудования. Так, например, при  $P = 30$  м<sup>3</sup>/ч и  $K = 30$  м<sup>2</sup>/ч производительность средств бурения составит только 8,67 м/ч. Вместе с тем, обеспечить столь высокие производительности средств крепления и особенно погрузки весьма сложно.

При аналогичном времени строительства горизонта, но при скоростях проходки вентиляционного квершлага 10 м/мес., штрека уже 20 м/мес., засечек, как и ранее, 10 м/мес. будет необходимо поддержание темпов проведения главного квершлага на уровне 20,2 м/мес., что существенно ниже предыдущего случая. Здесь возможно также множество сочетаний различных величин эксплуатационных производительностей, например, таких:

- производительность бурения 9,97 м/ч (в 2,03 раза меньше, чем при аналогичных условиях, но скорости проходки главного квершлага 28,2 м/мес.) при производительностях погрузки и крепления соответственно 5 м<sup>3</sup>/ч породы в массиве и 5 м<sup>2</sup>/ч площади кровли и стен выработки (средняя производительность бурения в сочетании с весьма низкими производительностями погрузки и крепления);

- производительность бурения 7,15 м/ч (в 1,57 раза меньше) при производительностях погрузки и

крепления соответственно 10 м<sup>3</sup>/ч и 10 м<sup>2</sup>/ч (средние по уровню значения всех производительностей);

- производительность бурения 6,26 м/ч (в 1,47 раза меньше) при производительностях погрузки и крепления соответственно 20 м<sup>3</sup>/ч и 20 м<sup>2</sup>/ч (сравнительно низкая производительность бурения в сочетании со сравнительно высокими производительностями погрузки и крепления).

Очевидно, что при прочих равных условиях степень отличия производительности средств бурения при снижении скорости проходки главного квершлага будет уменьшаться при повышении соответствующих данной скорости значений производительностей погрузки и крепления.

Изменим, при прочих равных условиях, скорости проходки околоствольных дворов до 400 м<sup>3</sup>/мес. При ранее указанном времени строительства горизонта, но при скоростях проходки вентиляционного квершлага, штрека и засечек 50 м/мес., будет необходимо поддержание темпов проведения главного квершлага на крайне низком уровне – 4,92 м/мес. В данном случае, даже в большей степени, чем ранее, возможно весьма различное сочетание величин эксплуатационных производительностей, например, таких:

- производительность бурения 1,52 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 5 м<sup>3</sup>/ч и 5 м<sup>2</sup>/ч (очень низкая производительность бурения в сочетании с низкими производительностями погрузки и крепления);

- производительность бурения 1,39 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 25 м<sup>3</sup>/ч и 25 м<sup>2</sup>/ч. В данном случае ярко проявляется такая закономерность: возрастание в 5 раз по сравнению с предыдущим случаем производительности средств погрузки и крепления не приводит к какому-либо заметному изменению производительности бурения.

Возникает необходимость в многоуровневом комплексном подходе при обеспечении строительства горизонта, который выражается в следующем:

- скорости проведения всех выработок с учетом времени строительства горизонта должны быть сравнительно однородными по величине, т.е. технически приемлемой скорости проходки той или иной выработки при фиксированном общем времени строительства горизонта возможно достичь при столь же высокой скорости каждой выработки горизонта;

- эффективным с точки зрения обеспечения данной скорости проходки выработки должно быть сочетание сравнительно качественно однородных значений производительностей средств бурения, погрузки и крепления.

Указанный многоуровневый подход позволяет обеспечить своевременное строительство горизонта, его значение особенно явно проявляется при ограниченном времени строительства.

С учетом отмеченного выше целесообразно использование более высоких скоростей проходки вентиляционного квершлага, штрека и засечек. Например, при темпах проведения всех других протяженных вы-

работок горизонта 25 м/мес. будет необходимым поддерживать скорость проходки главного квершлага только 11 м/мес. В данном случае возможно большое сочетание различных величин эксплуатационных производительностей, например, таких:

- производительность бурения 3,99 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 5 м<sup>3</sup>/ч и 5 м<sup>2</sup>/ч, что технически легко осуществимо;
- производительность бурения 3,45 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 10 м<sup>3</sup>/ч и 10 м<sup>2</sup>/ч.

По мере уменьшения сроков строительства горизонта будут иметь место в соответствующих случаях более высокие скорости проходки выработок, которые будут требовать и более высоких значений производительностей средств бурения (рис. 1).

При наиболее жестких временных условиях  $T_{\text{зоп}} = 36$  мес. и скорости сооружения околоствольных дворов 250 м<sup>3</sup>/мес., всех протяженных выработок на уровне 50 м/мес. будет необходимым обеспечить скорость проходки главного квершлага 94,8 м/мес., что возможно, в частности, сделать следующим образом:

– при производительности бурения 84,25 м/ч, погрузки и крепления соответственно 15 м<sup>3</sup>/ч и 15 м<sup>2</sup>/ч, в этом случае обеспечить интенсивность бурения технически крайне сложно;

– при производительности бурения 39,93 м/ч, погрузки и крепления соответственно 30 м<sup>3</sup>/ч и 30 м<sup>2</sup>/ч. В этом случае, даже при весьма высоких значениях производительностей погрузки и крепления, производительность бурения будет большой и в крепких породах весьма трудно осуществимой.

Можно утверждать, что в более значительной степени производительность средств бурения главного квершлага возможно снизить только при более высоких скоростях проходки других выработок. Например, при прочих равных условиях и темпах проходки протяженных выработок 60 м/мес. будет необходима скорость проведения главного квершлага уже 55 м/мес. Она может быть, в частности, обеспечена следующим образом:

– при производительности бурения 25,3 м/ч, погрузки и крепления соответственно 15 м<sup>3</sup>/ч и 15 м<sup>2</sup>/ч, в этом случае обеспечить интенсивность бурения технически возможно;

– при производительности бурения 21,68 м/ч при производительностях погрузки и крепления соответственно 20 м<sup>3</sup>/ч и 20 м<sup>2</sup>/ч.

Большой эффект дает сочетание сравнительно высоких темпов проведения не только протяженных выработок, но и околоствольных дворов. Так, например, при скорости сооружения околоствольных дворов 400 м<sup>3</sup>/мес., всех протяженных выработок на уровне 50 м/мес. будет необходимым обеспечить скорость проходки главного квершлага 43,1 м/мес., что возможно, в частности, сделать следующим образом: при производительности бурения 17,33 м/ч, а погрузки и крепления соответственно 15 м<sup>3</sup>/ч и 15 м<sup>2</sup>/ч, в этом случае обеспечить интенсивность бурения технически не сложно.

Таким образом, установлено, что сочетание качественно однородных высоких темпов проходки всех типов

выработок в рамках многоуровневого комплексного подхода при обеспечении строительства горизонта второй ступени вскрытия позволяет выполнить его своевременное строительство даже при весьма жестких временных условиях с технически возможными производительностями основных проходческих операций.

Зависимость производительности средств бурения главного квершлага от продолжительности строительства горизонта при скоростях проходки протяженных выработок, кроме главного квершлага, 25 м/мес. и скорости сооружения околоствольных дворов 250 м<sup>3</sup>/мес., при производительностях средств погрузки и крепления соответственно 15 м<sup>3</sup>/ч и 15 м<sup>2</sup>/ч (рис. 1) может быть отражена степенной функцией

$$B = 5 \cdot 10^{10} \cdot T_{\text{зоп}}^{-5,1957} \text{ при } R^2 = 0,8266,$$

а соответственно при 50 м/мес. и 400 м<sup>3</sup>/мес.

$$B = 35695 \cdot T_{\text{зоп}}^{-2,2066} \text{ при } R^2 = 0,96.$$

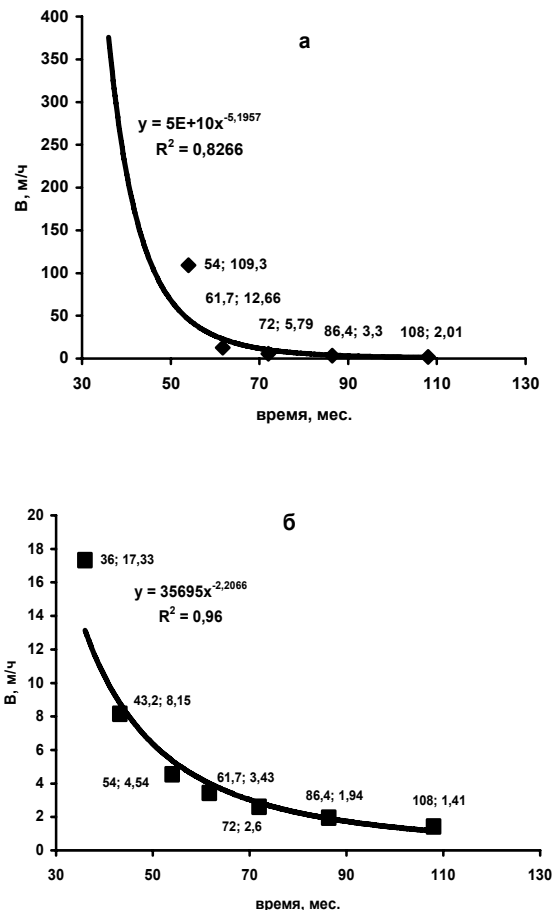


Рис. 1. Зависимость производительности средств бурения от времени: а) при скоростях проходки протяженных выработок 25 м/мес., околоствольных дворов 50 м<sup>3</sup>/мес.; б) то же соответственно при 50 м/мес. и 400 м<sup>3</sup>/мес.

Для оценки соотношения роста эксплуатационной производительности средств бурения и изменения продолжительности строительства горизонта введем следующий показатель, именуемый удельным коэффициентом прироста производительности бурения по фактору времени ( $K_{BT}$ )

$$K_{BT} = \frac{\frac{B_i}{T_i}}{\frac{B_0}{T_0}} = \frac{B_i T_0}{B_0 T_i},$$

где  $K_{BT}$  – удельный коэффициент прироста производительности бурения по фактору времени;  $B_i$  – эксплуатационная производительность средств бурения, м/ч.;  $B_0$  – эксплуатационная производительность средств бурения для базовых условий, м/ч.;  $T_0$  – базовая продолжительность сооружения горизонта, мес.;  $T_i$  – продолжительность сооружения горизонта, мес.

Рассмотрим динамику изменения удельного коэффициента прироста производительности бурения по фактору времени (рис. 2).

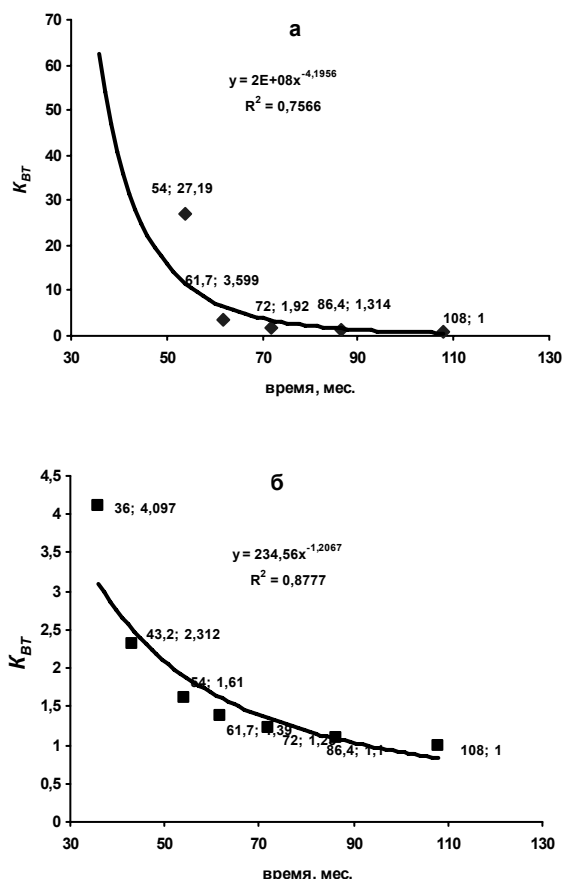


Рис. 2. Зависимость  $K_{BT}$  от времени: а) при скоростях проходки протяженных выработок 25 м/мес., околоствольных дворов 50 м<sup>3</sup>/мес.; б) то же соответственно при 50 м/мес., и 400 м<sup>3</sup>/мес.

При скоростях проходки протяженных выработок 25 м/мес., околоствольных дворов 250 м<sup>3</sup>/мес. имеет место

$$K_{BT} = 2 \cdot 10^8 \cdot T_{\text{зоп}}^{-4,1956} \text{ при } R^2 = 0,7566.$$

При скоростях проходки протяженных выработок 50 м/мес., околоствольных дворов 400 м<sup>3</sup>/мес. зависимость приобретает вид

$$K_{BT} = 234,56 \cdot T_{\text{зоп}}^{-1,2067} \text{ при } R^2 = 0,8777.$$

Очевидно, что удельный коэффициент прироста производительности бурения по фактору времени подчиняется степенной зависимости.

Таким образом, установлено, что производительность средств бурения, позволяющая обеспечить данную скорость проходки выработки, возрастает по мере сокращения продолжительности строительства горизонта второй ступени вскрытия, причем зависимость производительности бурения от времени строительства горизонта может быть описана степенной функцией. Сочетание качественно однородных высоких темпов проходки всех типов выработок в рамках многоуровневого комплексного подхода при обеспечении строительства горизонта второй ступени вскрытия позволяет выполнить его своевременное строительство даже при весьма жестких временных условиях с технически возможными производительностями основных проходческих операций. Для оценки соотношения роста эксплуатационной производительности средств бурения и изменения продолжительности строительства горизонта предложен показатель, именуемый удельным коэффициентом прироста производительности бурения по фактору времени.

Проведено дослідження параметрів, що впливають на інтенсивність проходки виробок шахти і раціональну організацію будівництва. Показано, що продуктивність засобів буріння, що дозволяє забезпечити дану швидкість проходки виробок, зростає у міру скорочення тривалості будівництва горизонту другого рівня розкриття, причому залежність продуктивності буріння від часу будівництва горизонту може бути описана ступеневою функцією.

**Ключові слова:** продуктивність, буріння, шахта, горизонт, проходка, швидкість, рівень розкриття, функція, питомий коефіцієнт приросту продуктивності буріння по чиннику часу

Researches of parameters influencing on mine working driving intensity and rational organization of building have been conducted. It is shown that the productivity of drilling tools which allows providing required speed of mine working driving increases as far as duration of building of horizon of the second stage of opening reduces, thus the drilling productivity dependence on time of horizon building can be described by a power function.

**Keywords:** productivity, drilling, mine, horizon, organization, driving, speed, stage of opening, function, specific coefficient of increase of the productivity of the drilling on the factor of time

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.С. Зеленським. Дата надходження рукопису 18.06.10.