

2. Незнученность проблемы подтверждается тем, что не учитывается характер закономерностей, где преобладает влияние случайных явлений и качественная сторона технологии, зависящая от сагрегированности составных частей (способа производства работ, средств механизации и режима проведения рабочих процессов во времени и пространстве).

3. Основное влияние технологии проявляется в интенсификации строительно-монтажных работ. Поэтому наиболее полно можно определить экономической эффективностью при внедрении новой технологии в представленных количественных зависимостях (1,2).

4. В интенсификации строительно-монтажных работ концентрируются результаты деятельности строительной организации. Этот фактор определяет стоимость строительно-монтажных работ. Только совокупность рассмотрения экономических результатов интенсификации строительно-монтажных работ и определения экономической эффективности в различных сферах ее образования обеспечивает правильное решение задачи (формула 3).

Библиографический список

1. **Стоев И.С., Стоев П.И.** Технология и организация строительства вертикальных стволов шахт. Донецк, ЦБНТИ, 1994. — 212 с.
2. **Уманский П.Я.** Общешахтные расходы при строительстве и реконструкции шахт. — М.: Препар, 1968.
3. **Евдокимов Ф.И., Стоев И.С.** Технология и экономика сооружения вертикальных стволов шахт. — М.: Недра, 1981 — 224 с.
4. **Иванов Н.И., Евдокимов Ф.И.** Моделирование организации шахтного строительства. — М.: «Недра», 1975.
5. **Иванов Н.И., Евдокимов Ф.И.** Стоимость и сроки строительства шахт. — М.: «Недра», 1966.
6. **Блинов П.А., Стоев И.С.** Расчет эффективности скоростного сооружения стволов. ЦНИЭИ-уголь, 1975. — № 4.
7. **Блинов П.А., Стоев И.С.** Метод оценки экономической эффективности сооружения вертикальных стволов шахт. — В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. — Киев, «Техника», 1974. — № 58.
8. **Иванов Н.И.** Экономико-математическое моделирование развития горных работ на шахтах. Донецк: ДонУГИ, 1966.

© Борщевский С.В., Формос В.Ф., Лабинский К.Н.,
Дрюк А.А., Сирачев А.Ж., 2005

УДК 622.25

Канд. техн. наук БОРЩЕВСКИЙ С.В. (ДонНТУ)

МНОГОФАКТОРНЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Проведенные исследования позволили определить влияние средних количественных значений параметров технологии на скорость (продолжительность) проходки и производительность труда. Однако связь между этими и другими параметрами, влияние их на производственный процесс в различных условиях этими методами не могли быть установлены.

Установить закономерности возможно используя многофакторные аналитические модели [1–4]. Опыт показывает, что стоимость проходки 1 м ствола зависит от

горно-геологических и горнотехнических условий, а также от технической скорости. Различные условия проходки влияют на трудоемкость работ и, как следствие, обуславливают отклонение фактических скоростей проходки от нормативных. Анализ указанных факторов позволил установить, что скорость проходки при прочих равных условиях в основном зависит от способа разрушения породы (буровзрывной, механический), численности бригады проходчиков, параметров ствола, крепости пересекаемых пород, энерго- и подъемовооруженности, притоков воды в стволе и глубины шпуров. Однако степень влияния каждого фактора-аргумента на техническую скорость проходки и производительность труда различна.

На основании исследуемых результатов хронометражных наблюдений выполненных при проходке стволов [5] были построены корреляционные зависимости технической скорости и производительности труда проходчиков от различных факторов. Анализировались данные по 4158 циклам. Проходка стволов велась по совмещенной и параллельной технологическим схемам с применением высокопроизводительных ствольных комплексов, бурильных установок, монолитной бетонной крепи и шпуров глубиной 4,1...4,3 м. Получены многофакторные математические модели степенной и гиперболической форм зависимости (табл.1), имеющие наиболее тесную корреляционную связь.

Табл.1. Корреляционные зависимости технической скорости и производительности труда проходчиков от различных факторов

Технологическая схема	Корреляционные уравнения
совмещенная	$\bar{V}_t = 92,8 - \frac{59935}{H_c^2} + \frac{8383,5}{S_{вч}^2} - \frac{6975}{q_э^2} - \frac{0,12}{q_n^2} + \frac{264}{q_B^2} + \frac{534}{f^2} - \frac{163,5}{l_{шп}^2} - \frac{15909}{n^2}$
параллельная	$\bar{V}_t = 132,5 - \frac{59935}{H_c^2} + \frac{8383,5}{S_{вч}^2} - \frac{6975}{q_э^2} - \frac{0,12}{q_n^2} + \frac{264}{q_B^2} + \frac{534}{f^2} - \frac{163,5}{l_{шп}^2} - \frac{15909}{n^2}$
совмещенная	$\bar{P} = 4,7 - \frac{390}{H_c} - \frac{63,2}{S_c} - \frac{7,9}{q_э} - \frac{0,03}{q_n} + \frac{0,59}{q_B} + \frac{1,12}{f} - \frac{0,95}{l_{шп}} - \frac{34}{n} - \frac{90,2}{V_t}$
параллельная	$\bar{P} = 5,45 - \frac{390}{H_c} - \frac{63,2}{S_c} - \frac{7,9}{q_э} + \frac{0,03}{q_n} + \frac{0,59}{q_B} + \frac{1,12}{f} - \frac{0,95}{l_{шп}} - \frac{34}{n} - \frac{90,2}{V_t}$

Статистические данные, состоящие из однородных единиц, обладающих количественной и качественной общностью, составляют статистическую совокупность. Однако при построении корреляционных моделей для работ по сооружению стволов проблема нахождения статистической совокупности осложняется. Одним из основных требований, выдвигаемых при построении корреляционных моделей, является массовость и однородность исследуемых экспериментов. При построении корреляционных моделей продолжительности сооружения вертикальных стволов, средних технических скоростей проходки и производительности труда проблема нахождения разумного компромисса между массовостью и однородностью стоит особенно остро вследствие того, что нет одного, друг на друга похожего по оснащению, по параметрам, горно-геологическим, гидрогеологическим условиям, техническому и технологическому оснащению вертикальных стволов.

Табл.2. Изменение влияния факторов-аргументов на техническую скорость проходки и производительность труда

Функция	Значение	Пределы изменения анализируемых факторов										
		H_c	$S_{вч}$	S_c	q_2	q_n	$q_в$	f	n	P	$l_{ин}$	V_i
$\bar{V}_i = f(x_i)$	среднее	619	24,6	—	31,7	0,25	3,6	4,8	23	0,76	2,4	—
		1026	50,4	—	95,8	0,37	11,2	7,1	47	2,5	4,12	—
		1300	70,9	—	220	0,65	20,1	10,5	100	3,98	4,5	—
$\bar{P}_i = f(x_i)$	среднее	619	—	19,8	31,7	0,25	3,6	4,8	23	—	2,4	150
		1026	—	41,5	95,8	0,37	11,2	7,1	47	—	4,12	84,9
		1300	—	57,7	220	0,65	90,1	10,5	110	—	4,5	153,9

Для изучения рассматриваемого процесса можно выделить совокупность однородных единиц и группу признаков, характеризующих производственный процесс.

При решении рассматриваемой задачи для построения корреляционных моделей принята следующая совокупность однородных единиц:

H_c — глубина ствола, м;

S_c — площадь поперечного сечения ствола в свету, м²;

q_2 — энерговооруженность, кВт/м²;

q_n — подъемовооруженность, м³/м², т.е. общая вместимость сосудов-бадей, занятых для выдачи породы;

$q_в$ — приток воды в забое ствола, м³/ч;

f — крепость пород по шкале проф. Протоdjяконова, пересекаемых забоем ствола;

V_i — расчетная техническая скорость проходки при данной технологии работ, м/мес.;

$S_{вч}$ — поперечное сечение ствола вчерне, м²;

n — численный состав бригады;

T_c — продолжительность сооружения ствола, мес.;

V_{CH} — синтезированная скорость, м/мес.;

t_1 — продолжительность оснащения ствола, мес.;

t_2 — продолжительность проходки, мес.;

t_3 — продолжительность проведения выработок, сопрягающихся со стволами, мес.;

t_4 — армирование ствола, мес.;

t_5 — переоборудование ствола, мес.;

q_2 — грейферовооруженность, м² на 1 м² площади ствола в свету;

P — производительность труда проходчика, м³ на выход готового ствола.

На основании реализации полученных математических моделей были построены графики влияния факторов-аргументов на техническую скорость и производительность труда проходчиков (рис.1).

Наибольшее влияние на техническую скорость оказывают факторы-аргументы: численный состав бригады, глубина шпуров, энерго- и подъемовооруженность (влияние последних факторов сказывается при достижении определенного предела).

Потребность увеличения числа проходчиков для получения высоких скоростей связана со значительными затратами ручного труда при выемке породы во второй фазе и с выполнением буровзрывных работ.

В нашем случае исследованные 210 стволов Донбасса представляют собой случайную выборку из генеральной совокупности сооружаемых в Донецком бассейне стволов шахт. Полученная выборка разделена на три группы: с глубиной стволов от 100

до 400 м (90 стволов), от 401 до 800 м (60 стволов), от 801 м и выше (60 ствола). Из 210 стволов для исследования оставлены 193, остальные 17 на стадии одномерного статистического анализа исключены. Для каждой глубины найдены основные показатели характеристики выборки (среднее значение признака, среднеквадратическое отклонение).

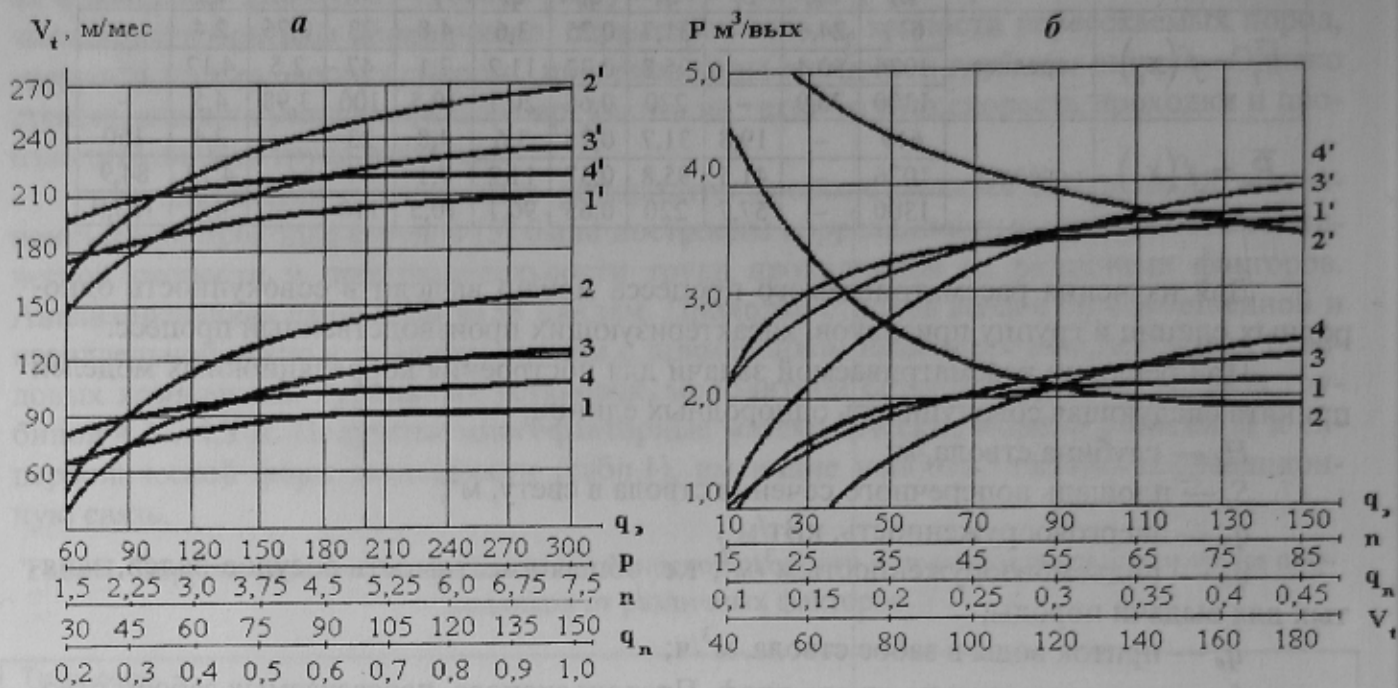


Рис. 1. Зависимость средней технической скорости проходки (а) и производительности труда проходчика (б) от анализируемых факторов: 1,2,3,4 — для совмещенной схемы проходки; 1',2',3',4' — для параллельной схемы проходки

На следующем этапе исследования получены конечные модели зависимости времени и скорости сооружения стволов от главных факторов.

Математически задача формулировалась следующим образом: найти эмпирическое соотношение между факторами-функцией и факторами-аргументами:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n). \quad (1)$$

В целях установления наиболее адекватной формы связи между исследуемыми показателями был применен метод перебора различных алгебраических функций. К исследованию привлечены следующие функции:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{линейная} \rightarrow y = d_0 + \sum_{i=1}^n d_i x_i, \\ \text{гиперболическая} \rightarrow y = d_0 + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{x_i}, \\ \text{параболическая} \rightarrow y = d_0 + \sum_{i=1}^n d_i x_i + d_i x_i^2, \\ \text{степенная} \rightarrow y = d_0 \prod_{i=1}^n x_i^{d_i}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Оценка адекватности корреляционного уравнения производилась статистически с помощью коэффициента корреляции R и критерия надежности коэффициента корреляции μ .

Для измерения относительного влияния факторов-аргументов на исследуемые показатели применены так называемые частные коэффициенты эластичности \mathcal{E} , которые рассчитывались как произведение парной производной от уравнения частной корреляции и отношения среднего значения аргумента к среднему значению функции.

Формулы имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \text{для..линейной..зависимости..}\mathcal{E}_i &= d_i \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}_i}, \\ \text{для..степенной..зависимости..}\mathcal{E}_i &= d_i. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Частные коэффициенты эластичности показывают процент изменения фактора-функции в среднем при изменении фактора-аргумента на 1% при постоянном (фиксированном) положении других факторов-аргументов.

Был проведен статистический анализ связей между фактором-функцией и факторами-аргументами. Методика анализа состоит в установлении графической связи между исследуемой функцией и аргументом во всем диапазоне изменения. Графики связи строятся на основании вычислений по уравнениям частной корреляции, получаемым из уравнений множественной корреляции заменой значений ряда аргументов средними значениями. В результате наблюдений и принятых данных по 193 стволам получены математические модели зависимости времени оснащения ствола t от глубины и диаметра ствола или объема в проходке W ; времени проходки ствола t_3 от его глубины и диаметра или объема в проходке W ; времени армирования ствола t_7 (в том числе прокладки трубопроводов, кабелей) от его глубины и диаметра или объема в проходке; времени сооружения ствола T_c отдельно от четырех факторов:

$$T_c = f(W, t_1, t_3, t_7), \quad (4)$$

синтезированной скорости сооружения ствола V_{CH} [i] отдельно от четырех факторов:

$$V_{CH} = f(W, t_1, t_3, t_7), \quad (5)$$

Были получены следующие виды зависимостей: линейная, степенная, параболическая и гиперболическая. В прилагаемых таблицах приведены математические модели тех зависимостей, где обнаружена наиболее тесная корреляционная связь.

Коэффициент детерминации рассчитан по формуле:

$$d = R^2. \quad (6)$$

Следовательно, изменение продолжительности и синтезированной скорости причинно обусловлено факториальными признаками (W, t_1, t_3, t_7) для различных глубин:

от 100 до 400 м $d=0,80$, или 80%; $d=0,74$, или 74%;
от 401 до 800 м $d=0,81$, или 81%; $d=0,7$, или 70%.

Во многих парных и многофакторных математических моделях обнаружена довольно тесная корреляционная связь между рассматриваемыми факторами ($R \geq 0,3 \dots 0,9$). Получены математические модели парной и множественной корреляции раздельно для каждой глубины. В табл.3. приведены математические модели парного и многофакторного корреляционного анализа. Здесь же даны коэффициенты корреляции R и надежности μ . Уравнения отражают влияние анализируемых факторов на продолжительность работ и синтезированную скорость сооружения ствола.

Табл. 3. Математические модели парного и многофакторного корреляционного анализа

Зависимость	Форма зависимости	Корреляционные уравнения	R	μ	Э ₁
$t_1=f(x_1)$	Степенная	$y_x^{-x} = 1,03W^{0,27}$	0,4	4,17	0,27
		$y_x^{-xx} = 1,26W^{0,24}$	0,4	3,16	0,24
		$y_x^{-xxx} = 0,14W^{0,5}$	0,4	3,2	0,5
$t_3=f(x_1)$	степенная	$y_x^{-x} = 0,06W^{0,6}$	0,76	7,6	0,63
		$y_x^{-xx} = 0,6W^{0,4}$	0,39	3,1	0,38
		$y_x^{-xxx} = 0,03W^{1,1}$	0,53	3,1	0,25
$T_7=f(x_1)$	Линейная	$y_x^{-x} = 2,4+0,00007W$	0,46	4,57	0,35
	Степенная	$y_x^{-xx} = 0,17W^{0,3}$	0,38	3,2	0,32
	Линейная	$y_x^{-xxx} = 2,1+0,00005W$	0,32	2,89	0,5
$T_c=f(x_1, x_2, x_3, x_4)$	Линейная	$y_x^{-x} = 8+0,00024W+1,15t_1+0,8t_3+1,3t_7$	0,89	40,4	0,04
		$y_x^{-xx} = 8+0,00008W+1,1t_1+0,9t_3+1,5t_7$	0,9	37,1	0,03
		$y_x^{-xxx} = 2,1+0,0001W+1,3t_1+1,14t_3+1t_7$	0,93	42,5	0,07
$V_{cv}=f(x_1, x_2, x_3, x_4)$	Степенная	$y_x^{-x} = 1,2W^{0,37}t_1^{-0,3}t_3^{-0,3}t_7^{-0,01}$	0,85	29	0,37
		$y_x^{-xx} = 6,1W^{0,3}t_1^{-0,35}t_3^{-0,44}t_7^{-0,02}$	0,93	19,9	0,29
		$y_x^{-xxx} = 81,5W^{0,05}t_1^{-0,32}t_3^{-0,43}t_7^{-0,02}$	0,76	11,97	0,05

Продолжение таблицы 3.

Э ₂	Э ₃	Э _y	Средние значения факторов					Среднеквадратическое отклонение				
			y_x^{-}	x_1	x_2	x_4	σ_y	σ_{x_1}	σ_{x_2}	σ_x	σ_{x_4}	
			11,4	6285			4,5	3773				
			14,2	18598			5,8	8969				
			16,1	38222			7,2	14892				
			13,4	5973			6,6	3773				
			22,7	13749			11,3	4136				
			22,7	37664			12,4	4200				
			2,8	6285			1,8	3773				
			3,9	18598			3,6	8969				
			3,9	38222			3,2	14892				
0,39	0,38	0,16	36,7	6285	11,4	13,4	2,8	9,9	3770	4,5	7,5	1,8
0,32	0,36	0,12	48,4	18598	14,2	19,2	3,9	15,4	8969	5,8	8,8	3,6
0,37	0,48	0,07	56,6	38222	16,1	23,9	3,9	16,3	14892	7,1	9,2	3,2
-0,37	-0,3	-0,01	7,1	6285	11,4	13,4	2,8	2,54	3773	4,5	7,5	1,8
-0,35	-0,44	0,02	13,2	18598	14,2	19,2	3,9	4,9	8969	5,8	8,8	3,6
-0,92	-0,43	-0,02	18,6	38222	16,1	23,9	3,9	5,9	14892	7,2	9,2	3,2

Для средней технической скорости проходки вертикальных стволов получены многофакторные математические модели, учитывающие глубину ствола, диаметр в

свету, электровооруженность (q_3 , кВт/м²), подъемовооруженность (q_n , м³/м²), численность бригады на работе в сутки n и производительность труда на выход одного проходчика $\frac{W}{N}$ (1 м³ готового ствола в свету), а также зависимость производительности труда (табл.4).

Табл. 4. Значения функций-факторов

Определение значения	Формулы	Функция-фактор		
		$t_i=f(x_i)$		
		Глубина ствола, м		
		100...400	401...800	>801
1.Среднее значение факторов	$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	11,35	14,17	16,1
2.Среднеквадратическое отклонения	$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}}$	4,54	5,54	7,2
3.Количество единиц в выборке	n	90	60	43
4.Средняя ошибка выборочной	$\varepsilon = \frac{t\sigma_y}{n}$	0,48	0,7	1,07
5.Нормативное отклонение	Табулированное значение (t)	2	2	2
6.Предельная ошибка	2ε	0,96	1,4	2,14
7.Надежная оценка	$P(\bar{x}_2 - \bar{x}_0) \leq \varepsilon = \gamma$	0,95	0,95	0,95
8.Доверительный интервал	$\bar{x}_0 - \varepsilon \leq \bar{x}_2 \leq \bar{x}_0 + \varepsilon$	$10,39 < \bar{x}_2 < 12,31$	$12,77 < \bar{x}_2 < 15,6$	$13,96 < \bar{x}_2 < 18,24$

Продолжение таблицы 4

№ знач.	$t_3=f(x_2)$			$t_7=f(x_3)$			$T_c=f(x_1, x_2, x_3, x_4)$		
	Глубина ствола, м								
	100...400	401...800	>801	100...400	401...800	>801	100...400	401...800	>801
1	13,4	22,7	22,8	2,86	3,94	3,84	36,7	48,4	56,6
2	6,6	11,3	12,4	1,81	3,6	3,2	9,9	15,4	16,34
3	90	60	43	90	60	43	90	60	43
4	0,69	1,45	1,9	0,19	0,46	0,48	1,04	2	2,5
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	1,38	2,9	3,8	0,38	0,92	0,96	2,08	4	5
7	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
8	$12,02 \leq \bar{x}_2 \leq 14,78$	$19,8 \leq \bar{x}_2 \leq 25,6$	$19 \leq \bar{x}_2 \leq 26,6$	$2,48 \leq \bar{x}_2 \leq 3,24$	$3,02 \leq \bar{x}_2 \leq 4,86$	$2,88 \leq \bar{x}_2 \leq 4,8$	$34,62 \leq \bar{x}_2 \leq 38,8$	$44,4 \leq \bar{x}_2 \leq 52,4$	$51,5 \leq \bar{x}_2 \leq 61,6$

Таким образом, средняя техническая скорость и производительность труда в окончательном виде могут быть представлены в виде зависимостей:

$$V_t = f\left(H, D_c, q_s, q_n, n, \frac{W}{N}\right), \quad (7)$$

$$P = f(H, D_c, q_s, q_n, n, V_t). \quad (8)$$

В таблице 5 приведены уравнения множественной корреляции для средней технической скорости и производительности труда, где обнаружена наиболее тесная корреляционная связь.

Табл.5. Уравнения множественной корреляции для средней технической скорости и производительности труда

№ п.п.	зависимость	Форма зависимости	Корреляционные уравнения
1	$Y_v = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$	Гиперболическая	$\bar{V}_r = 227.6 + \frac{10563}{H} + \frac{2064}{S_c} - \frac{521}{q_s} - \frac{5.4}{q_n} - \frac{3334}{n} - \frac{2064}{W}$
2	$Y_p = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$	Гиперболическая	$\bar{P} = 4.4 - \frac{138}{V_t} + \frac{273}{H} - \frac{36.7}{S_c} - \frac{16}{q_s} - \frac{0.16}{q_n} + \frac{46.8}{n}$

В табл.6 приведены для уравнений (№1 и №2) значения коэффициентов множественной корреляции R , надежности коэффициента корреляции μ , стандартной ошибки коэффициента корреляции σ_R , остаточной дисперсии $\sigma^2_{y/x}$, дисперсионного отклонения F_1 , коэффициента детерминации d , средней относительной ошибки ε и средневзвешенной ошибки (аппроксимации) $\bar{\varepsilon}$

Табл.6. Значения расчетных коэффициентов

Корреляционные уравнения	Значения коэффициентов							
	R	μ	σ_R	$\sigma^2_{y/x}$	F_1	d	ε	$\bar{\varepsilon}$
Для №1	0,58	5,5	0,095	3984	1,88	,035	,032	0,48
Для №2	0,7	10,6	0,066	0,63	1,94	0,54	0,21	0,32

Пользуясь данными табл.2, 5 и методикой [6] определяем представительность и достаточность выборки, доверительный интервал для совокупности и даем оценку выборочным материалам для всех анализируемых факторов-функций и различных размеров стволов. Данные математические модели дают возможность определить пути увеличения скоростей выполнения работ и сокращения общего времени сооружения стволов. С учетом прошлых тенденций, следует выявить их причины, и будут ли они действовать в дальнейшем, т.к. многофакторные математические модели (табл.5) для определения средней технической скорости и производительности труда не учитывают технологию работ. Этот фактор не имеет непосредственной количественной оценки. Вместе с тем расчеты и фактические данные указывают на влияние этого фактора на результирующие технико-экономические показатели, в связи с чем включение его в мно-

гофакторные математические модели (табл.5) необходимо. В данном случае приходится прибегать к искусственному приему [7]. Такие расчеты будут выполнены позже. Для полученных уравнений (табл.б) средние значения ($\bar{Y}_1, \bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_n$) и среднеквадратические отклонения ($\sigma_y, \sigma_{x1}, \sigma_{x2}, \sigma_{xn}$) приведены в табл.7.

Табл. 7. Средние значения факторов и среднеквадратические отклонения

$\sigma_{y_{vt/p}}$	Средние значения факторов						Среднеквадратическое отклонение						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		$\sigma_{y_{vt/p}}$	σ_{x2}	σ_{x2}	σ_{x3}	σ_{x4}	σ_{x5}	σ_{x6}
129	801	34	102	0,34	64	2,3	51,4	252,6	11,9	56,7	0,2	25,1	1,1
2,3	129	801	34	102	0,34	64	1,1	51,4	252,6	11,9	56,7	0,2	25,1

Пользуясь данными табл.5–7 определялась представительность и достаточность выборки, доверительный интервал для генеральной совокупности и производилась оценка выборочных материалов для средней технической скорости проходки стволов и производительности труда. Значения отклонения (допустимая погрешность) средней генеральной совокупности от средней по данным выборки ϵ , среднеквадратическое отклонение σ_y , надежность достаточной выборки генеральной совокупности P указывают на представительность и достаточность выборки статистических данных для дальнейшей обработки [8] с учетом гидрогеологической обстановки в районе проходок.

Выводы

1. При совмещенной схеме основные технологические процессы ведутся последовательно, удельные затраты времени (по сравнению с последовательной) снизились на 19%, а стоимость 1 м ствола — на 9%, технические скорости проходки и производительность труда — соответственно возросли на 23 и 25%. При этой схеме технологические потери времени равны 47%, параметр интенсивности процесса равен 0,53, использование технологического оборудования составляет 45% времени цикла.

2. При достигнутом уровне технической оснащенности и буровзрывном способе разрушения пород увеличение скоростей проходки в 1,5...2 раза, производительности труда в 1,3...1,5 раза и снижение стоимости 1 м ствола на 20...25% могут быть получены за счет повышения доли полезного времени, т.е. применения параллельной технологической схемы проходки.

3. Полученные математические модели дают возможность определить пути увеличения скоростей выполнения работ и сокращения общего времени сооружения стволов.

Библиографический список

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Изд. 4-е доп. — М.: Высшая школа, 1987. — 368 с.
2. СТ СЭВ 1190-78 Прикладная статистика. Правила согласования опытного распределения с теоретическим. — М., 1987. — № 41.
3. СТ СЭВ 876-87 Прикладная статистика. Правила определения оценок действительных границ для параметров нормального и логарифмически нормального распределения. Случай полностью определенных выборок. — М., 1987. — С. 52.
4. СТ СЭВ 1190-78 Прикладная статистика. Графические методы обработки данных. Метод вероятных сеток. — М., 1982. — С.37.
5. Кокунько И.Н. Совершенствование технологии строительства вертикальных стволов шахт буровзрывным способом: Автореф. Дис...канд.техн.наук: 05.15.04 / ТулГУ. — Тула, 2001. — 17 с.
6. Борщевский С.В., Янкин А.Е. Влияние технологии на интенсификацию работ при сооружении стволов // Изв. Тульского государственного университета: Серия Геомеханика. Механика подземных сооружений. Выпуск 2, ТулГУ, 2004. — С.57–62.

7. Бурчаков А.С., Воробьев П.М., Малкин А.С. Проектирование и комплексная оптимизация параметров шахт. — М.: «Недра», 1972.

8. Математико-статистический анализ на программируемых микрокалькуляторах: Справ. пособие // Под ред. В.В. Шуракова. — М.: Финансы и статистика, 1991. — 176 с.

© Борщевский С.В., 2005

УДК 622.235:622.281.4

Докт. физ.-мат. наук ГРЕЧИХИН Л.И. (Минский государственный высший авиационный колледж), докт. техн. наук ШЕВЦОВ Н.Р., инж. ХОМЕНЧУК О.В. (ДонНТУ)

ДИНАМИКА РАЗЛЕТА ЧАСТИЦ РАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Применение взрывных технологий в строительстве представляет большой интерес. Это обусловлено тем, что такая технология является безлюдной, а цементный раствор, нанесенный на обрабатываемую поверхность взрывом, обладает лучшей схватываемостью и механическими свойствами получаемой бетонной крепи в шахтном строительстве [1-4] требуемого качества.

Эти положительные качества обусловлены тремя причинами:

1. Измельчением твердых частиц песка (SiO_2), глинозема (Al_2O_3) и красного железняка (Fe_2O_3) в цементно-песчаном растворе и превращение их в жидкое состояние [2].

2. Увеличением энергии связи между твердыми частицами с помощью поверхностно активного вещества (ПАВ).

3. Укладка бетона производится при более высоком гидростатическом давлении.

Исследования взрывной технологии набрызгбетона, проведенные в Донецком национальном техническом университете на кафедре «Строительство шахт и подземных сооружений» [1-4], убедительно подтвердили целесообразность применения взрывной технологии, так как такой способ не требует применения сложных механизмов, прост в исполнении, технологичен и надежен в обращении. Однако дальнейшее совершенствование взрывной технологии требует детального теоретического описания расширяющихся продуктов взрыва в оболочке веществ с различными физическими характеристиками.

В работе [4] теоретически описан разлет вещества с учетом характера движения твердых частиц в окружающей атмосфере. Однако не учтен механизм измельчения твердых частиц.

Ниже рассмотрим подробнее первую из причин с обоснованием физического механизма разлета вещества.

В первой работе по организации взрывной технологии в строительстве [1] было обнаружено существенное измельчение порошковых материалов при взрывном распылении. В работах [1,3] на примере распыления порошка из гидрокарбоната натрия было показано, что во фракционном составе после взрывного распыления максимум фракции 0,7–0,36 мм сместился в область 0,25–0,11 мм. В работе [4] для обоснования экспериментальных данных по разлету оболочки цементно-песчаного раствора был введен эффективный размер твердых частиц радиусом 0,193 мм, тогда как в исходном растворе твердые частицы имели радиус более 0,5 мм [3].