

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Вохмин С. А., Урбаев Д. А., Иванов Д. Г., Зайцева Е. В.

*ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» ИГДГиГ, 660025, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95*

Проанализирована динамика развития показателей строительства вертикальных стволов на горнодобывающих предприятиях Российской Федерации. Определены основные факторы, влияющие на показатели производственных процессов строительства: технико-экономические проектные решения, величина давления вмещающих пород, толщина применяемой крепи капитальных горных выработок. Для повышения интенсивности ведения строительно-монтажных работ по проходке стволов рассмотрено применение крепи ствола в виде осесимметричной цилиндрической оболочки переменной толщины предложенной проф., д.т.н. А. Н. Воробьевым. Обоснованы применения данного вида крепи с целью снижения капитальных затрат по строительству вертикальных стволов Корбалихинского полиметаллического рудника в сравнении с монолитной бетонной крепью постоянного сечения. Предложено производить оценку технологических решений по экономическим критериям, исходя из фактора надежности. Определен механизм влияния показателя надежности на эффективность капиталовложений.

Ключевые слова: ствол, крепь, фактор надежности.

## UPCOMING TRENDS OF CAPITAL OUTLAYS DECREASE IN THE PROCESS OF SHAFTS CONSTRUCTION

Vokhmin S. A., Urbaev D. A., Ivanov D. G., Zaytseva E. V.

*«Siberian federal university», 660025 Krasnoyarsk, 95 Krasnoyarskiyrabochiy prospect*

The dynamics of the development construction indicators at vertical shafts in mining enterprises of the Russian Federation is analyzed. The main factors influencing industrial processes of construction are determined: technical-and-economic design choices, the pressure value of the enclosing rocks, and the thickness of the applied support in the capital mine opening. To increase the intensity of construction works by sinking shafts the support application in the form of an axisymmetric cylindrical membrane of variable thickness proposed by prof., PhD A. N. Vorobyov are viewed. Application of this supports type is justified to reduce capital costs for the construction of vertical shafts Korbalihinskogo polymetallic mine in comparison with monolithic concrete support constant section. It has been suggested that to evaluate technological solutions to economic criteria based on reliability factor. The manner of the influence reliability rate on the efficiency of investment is described.

Key words: shaft, support, reliability factor.

При строительстве подземных рудников наиболее дорогостоящим, долгосрочным и трудоемким процессом является строительство комплекса капитальных горных выработок, в том числе вертикальных стволов.

Оценивая эффективность технико-экономических показателей строительства вертикальных стволов за последние 35 лет в бывшем СССР и Российской Федерации, следует отметить незначительное увеличение основных производственных показателей, несмотря на научные, технологические, организационно-практические и проектно-конструкторские достижения.

Одной из основных причин сложившейся ситуации является применение совмещенной технологической схемы проходки с последовательны мармированием,

независимо от горно-геологических условий проходки, стратегии строительства предприятия. Также не малую роль играет применение морально устаревшего оборудования, созданного более 25–35 лет назад и использование проектно-конструкторских решений, не учитывающих особенностей современного рынка строительных материалов и техники.

Строительство вертикальных стволов имеет определенные особенности: данные бурения разведочных скважин не дают полной картины состояния горного массива, значительно ослабляющегося в результате ведения буровзрывных работ, водопритоки прогнозируются крайне неточно.

Также следует учесть и большой объем работ по возведению бетонных и железобетонных крепей. Однако выбор типа крепей ограничивается в основном монолитными, при практическом отсутствии использования новых облегченных видов крепей. При подавляющем применении дорогостоящих монолитных крепей с использованием передвижных металлических опалубок несущая способность крепи при толщине бетона более 700 мм не увеличивается. Данные статистики показывают, что отклонение фактической толщины крепи от проектной на практике распространено повсеместно и может достигать 100 % и является характерной особенностью принятых технологий в условиях неустойчивых, трещиноватых пород с явно выраженными реологическими свойствами.

Все виды операций по строительству капитальных выработок усложняются ввиду увеличения глубины ведения работ. Вмещающие породы становятся более трещиноватыми, при прохождении вертикальных капитальных горных выработок через водоносные горизонты увеличиваются водопритоки в забой выработки, с увеличением глубины возрастает опасность горных ударов.

Вышеперечисленные горно-геологические факторы негативно сказываются на технико-экономических показателях при строительстве вертикальных стволов. Практика показывает, что условия проведения вертикальных стволов усугубляются формированием очагов вывалообразования, влияющих на сроки сооружения и стоимость ствола, производительность труда рабочих, увеличение расхода материалов на крепление, учащение случаев травматизма.

Из всего вышесказанного можно выделить перечень проблем горно-строительной отрасли:

- применение неактуальных технико-экономических проектных решений в угоду всеобщей унификации технологии;
- низкие скорость ведения проходческих работ и производительность труда рабочих;

- растущая потребность в освоении запасов глубоких горизонтов и строительстве новых рудников;
- чрезмерное увеличение затрат на возведение крепи капитальных горных выработок, при общем снижении показателей эффективности работы крепи с увеличением толщины.

Оценка перечисленных проблем показывает, что одним из возможных решений сформулированных задач будет применение крепи ствола переменной толщины предложенной профессором, доктором технических наук А. Н. Воробьевым [1].

Применительно к условиям строящегося Корбалихинского полиметаллического рудника расчет нагрузки на крепь клетового и скипового стволов на стадии предварительного проектирования выполнен по методике К. В. Руппенейта [3], а толщина крепи рассчитана по формуле Ламе-Гадолина [3].

По методике К. В. Руппенейта величина нагрузки на крепь ствола составляет:

$$P = \frac{\left(a - \frac{2}{3} \cdot u_0^*\right) \cdot \int \sigma_\infty \cdot \int_0^1 (1-x)^{k_1-1} \cdot (a+x)^{k_2} \cdot x \cdot dx}{\int_0^1 (1-x)^{k_1-1} \cdot (a+x)^{k_2} \cdot x \cdot \left(a + \frac{a}{x} + a \cdot C_0 \cdot E_0\right) \cdot dx} \quad (1)$$

$$k_1 = \frac{m}{a+1} \cdot (a + a + a \cdot C_0 \cdot E_0);$$

$$k_2 = \frac{m \cdot a}{a+1} \cdot (a - 1 + a \cdot C_0 \cdot E_0) - 1;$$

$$a = \frac{2 \cdot G_0 \cdot r_0}{\delta \cdot E_0};$$

$$m = \frac{t_0}{t_2}.$$

где  $t_0$  – период релаксации напряжения для пород;  $t_2$  – время релаксации модуля упругости бетона;  $a$  – константа уровня состояния для пород;  $C_0$  – константа уравнения состояния для бетона;  $u_0^*$  – смещение породы до возведения крепи.

Напряженное состояние крепи определяется по формуле:

$$\sigma_0 = \frac{P_\infty \cdot r_0}{\delta}. \quad (2)$$

Очевидно, что величина  $P$  в уравнении (1) является функцией отношения величины радиуса крепи  $r$  к толщине крепи  $\delta$ . На рис. 1 представлены зависимости давления на крепь

от соотношения  $r/\delta$  для двух случаев: когда бетон укладывается непосредственно из забоя и  $u_0^* = 0$  когда крепь возводится на расстоянии  $l = 2 \cdot r$  от забоя и  $u_0^* = 0,796$ .

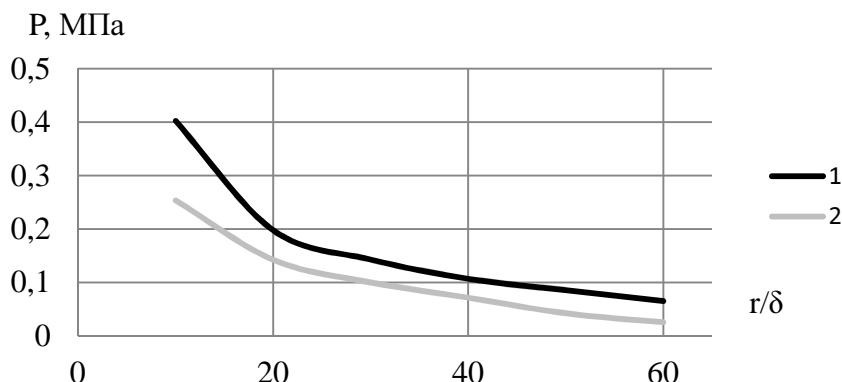


Рисунок 1. График давления вмещающих пород на крепь выработки:

1 – бетон укладывается непосредственно из забоя;

2 – крепь возводится на расстоянии.

Значения давления вмещающих пород на крепь стволов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Величина давления на крепь вертикальных стволов, МПа

Тип ствола	Интервал глубин, м		
	+411,0 ÷ -49,0	-49,0 ÷ -469,0	-469,0 ÷ -728,0
Клетевой ствол	0,23	0,30	0,41
Скиповой ствол	0,23	0,30	–

Исходя из полученных данных, необходимо применять крепь различной толщины в зависимости от изменения величины внешних нагрузок, воспринимаемых крепью, и её несущей способностью.

Значения толщины монолитной бетонной крепи приведены в табл. 2.

Таблица 2. Толщина монолитной бетонной крепи вертикальных стволов

Тип ствола	Марка бетона	Интервал глубин, м		
		+411,0 ÷ -49,0	-49,0 ÷ -469,0	-469,0 ÷ -728,0
Клетевой ствол	М300–М400	300 мм	400 мм	450 мм
Скиповой ствол	М300	300 мм	400 мм	–

Несущую способность крепи стволов круглого сечения определяют, исходя из её прочности по методике Ламе-Гадолина [2]:

$$\delta = r_0 \left[ \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_0 - 2P_H} \right)^{0,5} - 1 \right]; \quad (3)$$

$$P_{H(нр)} = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \left( \frac{r^2 - r_0^2}{r^2} \right). \quad (4)$$

Значение величин толщины и несущей способности крепи от радиуса приведены в табл. 3.

Таблица 3. Несущая способность крепи

Радиус ствола в свету $r_0$ , м	Толщина крепи $\delta$ , м	Расчетное предельное значение несущей способности крепи, $P_{H(нр)}$ , МПа
3,5	0,3	1,71

3,5	0,4	2,19
3,5	0,45	2,42

Крепь ствола в виде осесимметричной цилиндрической оболочки переменной толщины [1] на осесимметричную радиальную нагрузку можно рассчитать по формуле Ламе [3]:

$$\sigma_r = \frac{p \times b^2}{b^2 - a^2} \times \left(1 - \frac{a^2}{b^2}\right); \quad (5)$$

$$\sigma_t = \frac{p \times b^2}{b^2 - a^2} \times \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right); \quad (6)$$

где  $\sigma_r$  и  $\sigma_t$  – радиальное и тангенциальное напряжения в крепи-оболочке, МПа;  $p$  – радиальная постоянная нагрузка на крепь, МПа;  $a$  и  $b$  – внутренний и внешний радиусы крепи оболочки, м.

Таблица 4. Толщина осесимметричной цилиндрической крепи из бетона марки

Тип ствола	Глубина, м	Толщина крепи min, мм	Марка бетона	$\sigma_r$	$\sigma_t$	Толщина крепи max, мм	Марка бетона	$\sigma_r$	$\sigma_t$
Клетевой	49	150	M200	0,23	6,25	300	M200	0,23	3,18
	469	150	M300	0,35	8,15	300	M300	0,35	4,15
	728	200	M300	0,50	9,35	400	M300	0,50	5,36
Скиповой	49	150	M200	0,23	5,48	300	M200	0,23	2,80
	469	150	M300	0,35	8,34	300	M300	0,35	4,26

Сравнение основных технологических показателей при строительстве вертикальных стволов приведено в таблице 5.

Таблица 5. Сравнение показателей строительства стволов по предлагаемым технологическим схемам.

Тип ствола	Общий объем проходческих работ, м <sup>3</sup>	Марка бетона	Толщина крепи, мм	Расход бетонной смеси на м.п. ствола	Общий расход бетона, м <sup>3</sup>	Снижение расхода бетона на строительство крепи ствола, м <sup>3</sup>
Монолитная бетонная крепь постоянного сечения						
Клетевой ствол	68 378,6	M300	300	7,82	11 124,86	–
		M300	400	10,56		
		M400	450	11,94		
Скиповой ствол	39 791,08	M300	300	6,88	6 843,64	–
		M300	400	9,29		
Осесимметричная цилиндрическая крепь переменной толщины						
Клетевой ствол	68 017,94	M200	150–300	5,2	6 407,13	42,41 %
		M300	150–300	5,2		
		M300	200–400	7,07		
Скиповой ствол	39788,78	M200	150–300	5,2	4 451,2	34,96 %
		M300	150–300	5,2		

При решении задач, связанных с оптимизацией количественных параметров процесса строительства ствола, выбор оптимального варианта строительства выработки производится по величине капитальных и эксплуатационных затрат.

Оценку технологических решений по экономическим критериям следует производить, исходя из фактора надежности. Последний влияет на показатели эффективности вкладываемых средств следующим образом.

Надежность производственных схем, к которым относится строительство стволов и капитальных выработок, обуславливает необходимый уровень интенсивности проведения подземных горных выработок и является функцией надежности составляющих эту системы элементов. В свою очередь, придание элементу или процессу какого-то определенного уровня качества и надежности требует затраты на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации данного объекта.

Таким образом, фактор надежности в строительстве стволов проявляется двояко: через целевую отдачу – ввод ствола эксплуатацию, и издержки строительных организаций для придания отдельным элементам и комплексу проводимых горных выработок определенного уровня устойчивости и надежности.

На основании вышеперечисленного можно сделать следующие выводы.

1. Присооружение вертикальных стволов с изменяющейся толщиной крепи обеспечивается снижением её материалоемкости до 42,4 % при обеспечении расчетной несущей способности крепи.
2. Увеличивается интенсивность возведения крепи ствола за счет уменьшения объема работ по укладке бетонной смеси.
3. Возможно снижение объема проходческих работ за счет периодического изменения размеров диаметра ствола вчерне, при использовании проходческого комплекса с органом избирательного действия.
4. Оценка уровня надежности строительства вертикальных стволов в задачах проектирования подземных сооружений сопряжено с определенными трудностями. Не представляется возможным дифференцированно оценить влияние надежности однотипных элементов и процессов на целевую отдачу, что предполагает установление структуры технологических систем горно-строительного производства в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

#### **Список литературы**

1. Воробьев А. Н. Обоснование и разработка методов расчета и совершенствования конструкции крепей горных выработок на основе теории арочных систем и тонких оболочек. [Текст]: Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МГГУ, 1993.
2. Першин В. В., Баранов Г. П., Лебедев А. В. Надежность технологических систем строительства горных выработок. – М.: Недра, 1992. – 160 с.

3. Руппенейт К. В., Либерман, Ю. М., Матвиенко В. В. Расчет крепи шахтных стволов [Текст]: учеб. – М.: Академия наук, 1962. – 123 с.
4. Современные проблемы шахтного и подземного строительства. Материалы международного научно-практического симпозиума 28 мая – 3 июня 2005 г. Крым, Алушта, Украина. – Донецк: Норд-Пресс, 2005.
5. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1974.

**Рецензенты:**

Анушенков Александр Николаевич, профессор, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Подземной разработки месторождений полезных ископаемых», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Гилев Анатолий Владимирович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Горных машин и комплексов», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.