

## **ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ КРЕПИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ**

**Иванов Г.Н., Иванов Д.Г., Зайцева Е.В.**

**научный руководитель канд. техн. наук, профессор - Вохмин С.А.**

***Сибирский Федеральный Университет***

Одним из наиболее дорогостоящих, долгосрочных, сложных и трудоемких процессов при строительстве подземных рудников является строительство комплекса капитальных горных выработок, особенно вертикальных стволов.

Проведя анализ 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 упорное применение совмещенной технологической схемы проходки с последовательным армированием, независимо от горно-геологических условий проходки и стратегии строительства предприятия. Так же не малую роль играет применение морально устаревшего оборудования, созданного более 25-35 лет назад, использование проектно-конструкторских решений, не учитывающих особенностей современного рынка строительных материалов и техники.

Несмотря на разнообразие геологических характеристик вмещающих пород, колеблющиеся в больших интервалах водопритоки, достаточно широкий арсенал применяемых типов крепей, технология и схема проведения стволов почти всегда одна и та же, отличия заключаются лишь в назначении сооружаемого ствола. Типы машин и механизмов, применяемых в забое и на поверхности, не модернизируются и не изменяются на протяжении многих лет. Это связано с унификацией технических средств, что положительно, но в тоже время и ограничивает возможности применения специальных, индивидуальных технологий.

В настоящее время для сохранения темпов добычи полезных ископаемых, при полностью или частично отработанных запасах верхних горизонтов возникает необходимость ввода в эксплуатацию нижележащих залежей полезных ископаемых. Для этого необходимо провести комплекс строительных работ по:

- 1) углубке действующих вертикальных стволов;
- 2) восстановлению законсервированных вертикальных капитальных горных выработок;
- 3) проходке новых клетевых, скиповых и вентиляционных вертикальных стволов.

Проведение вертикальных стволов также имеет дополнительные особенности: данные бурения разведочных скважин не дают полной картины состояния горного массива, а ведение буровзрывных работ значительно его ослабляет, водопритоки прогнозируются крайне неточно.

Проходка стволов характеризуется также большим объемом 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 увеличивает. 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 вывалобразований, влияющие на сроки сооружения и стоимость ствола, производительность труда рабочих, увеличение расхода материалов на крепление, учащение случаев травматизма.

Из всего выше сказанного 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 наиболее универсальным решением сформулированных задач наиболее целесообразным будет применение крепи ствола переменной толщины с увеличением прочностных свойств материала крепи.

Применительно к условиям строящегося Корбалихинского полиметаллического рудника расчет нагрузки на крепь клетового и скипового стволов на стадии предварительного проектирования выполнен по методике К.В. Руппeneйта, а толщину крепи рассчитана по формуле Ламе.

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

$$- \quad - \quad (1)$$

где — — —

—.

Здесь — период релаксации напряжения для пород; — время релаксации модуля упругости бетона; — константа уровня состояния для пород; — константа уравнения состояния для бетона; — смещение породы до возведения крепи.

Напряженное состояние крепи определяется по формуле:

$$\text{—} \quad (2)$$

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 — для двух случаев: когда бетон укладывается непосредственно из забоя и — ; когда крепь возводится на расстоянии — от забоя и — .

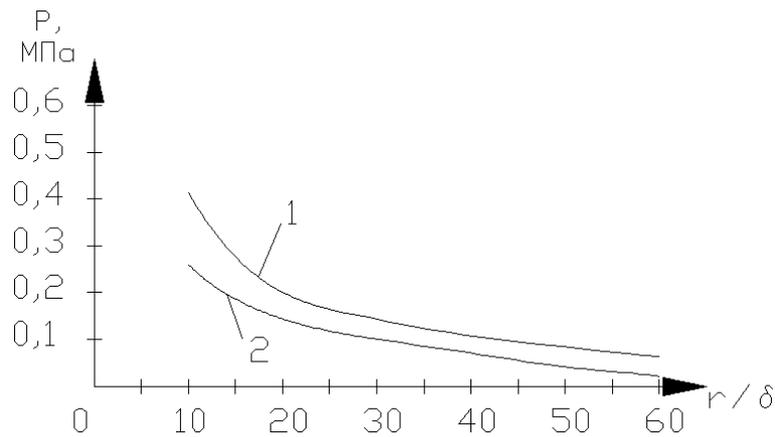


Рисунок 1. График давления вмещающих пород на крепь выработки:

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	M300-M400	300 мм	400 мм	450 мм
Скиповой ствол	M300	300 мм	400 мм	-

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

$$\sigma = \frac{P}{\delta} \cdot \frac{r_0^2 + \delta^2}{r_0^2 - \delta^2} \quad (3)$$

$$\delta = r_0 \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma} \cdot \frac{r_0^2 + \delta^2}{r_0^2 - \delta^2}} \quad (4)$$

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, 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 на осесимметричную радиальную нагрузку можно рассчитать по формуле Ламе:

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

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

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.

Тип ствола	Марка бетона			Толщина крепи, мм			$\sigma_r$			$\sigma_t$		
	до отм. -49,0	до отм. -469,0	до отм. -728,0	до отм. -49,0	до отм. -469,0	до отм. -728,0	до отм. -49,0	до отм. -469,0	до отм. -728,0	до отм. -49,0	до отм. -469,0	до отм. -728,0
Клетевой ствол												
h	M200	M300	M300	300	300	400	0,23	0,35	0,5	3,18	4,15	5,36
h'	M200	M300	M300	150	150	200	0,23	0,35	0,5	6,25	8,15	9,35
Скиповой ствол												
h	M200	M300	-	300	300	-	0,23	0,35	-	2,8	4,26	-
h'	M200	M300	-	150	150	-	0,23	0,35	-	5,48	8,34	-

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	39 788,78	M200	150-300	5,2	4 451,2	34,96%
		M300	150-300	5,2		

На основании выполненных предварительных расчетов можно сделать следующие выводы.

1. При сооружении вертикальных стволов с изменяющейся толщиной крепи обеспечивается снижение 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.