© М.С. Плешко, 2008

УДК 622.25.(06)

М.С. Плешко

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Семинар № 4

Монолитной бетонной крепью в угольной промышленности России закреплено около 98 % вертикальных стволов, в горнорудной – 95 %, в горно-химической – 60 %. Аналогичная ситуация сложилась и в зарубежной практике. Широкое применение монолитного бетона для крепления стволов обусловлено рядом известных достоинств: высокой степенью механизации, долговечностью, огнестойкостью, сравнительно низкой стоимостью и др.

Оценивая тенденции совершенствования способов крепления и поддержания современных вертикальных стволов, можно утверждать, что в качестве основного вида крепи продолжает рассматриваться монолитный бетон. Об этом в частности свидетельствуют данные по ряду глубоких вертикальных стволов, проектирование и строительство которых осуществлялось в последние 10 лет (табл. 1).

В то же время, учитывая постоянное увеличение глубины стволов и ухудшение горно-геологических условий необходимо дальнейшее повышение технико-экономической эффективности монолитной бетонной крепи и приближение ее параметров к тюбинговым крепям.

Основной технической характеристикой любой крепи является ее несущая способность, которую можно увеличить различными способами. Анализ современных исследований позволяет выделить три наиболее распространенных: увеличение толщины крепи, повышение прочностных характеристик бетона, применение комбинированных анкерно-бетонных крепей.

Выполним аналитический анализ эффективности этих способов путем определения области применения крепи с различными параметрами на основании расчета по схеме контактного взаимодействия крепи и массива.

Радиальные напряжения на контакте монолитной бетонной крепи с массивом (нагрузка на крепь) в соответствие с [1] представим в виде

$$p_0 = \frac{2 \cdot \lambda \cdot \alpha^* \cdot \gamma \cdot H}{2 + \frac{G_0}{G_1} \cdot \frac{c_1^2 (\chi_1 - 1) + 2}{c_1^2 - 1}}, \qquad (1)$$

где H - глубина ствола; γ - средний объемный вес вышележащей толщи пород; λ – коэффициент бокового распора пород, определяемый из выражения

$$\lambda = \frac{\nu_0}{1 - \nu_0};$$

где ν_0 – коэффициент поперечной деформации пород; G_0 – модуль сдвига пород массива; G_1 – модуль сдвига бетона крепи; c_1 – коэффициент, характеризующий толщину монолитной бетонной крепи

Таблица 1

№ п/п	Название стола и горнодобывающего предприятия	Основной вид крепи	Диаметр, м	Глубина, м
1	«Северо-восточный» рудника «Дарасунский»	Монолитный бетон	6,0	1025
2	Шахта «Обуховская №1» - главный - вспомогательный - вентиляционный	Монолитный бетон	 7,0 7,0 6,0	 904 922,2 919
3	Вентиляционно-вспомогательный рудника «Удачный» АК «Алроса»	Монолитный бетон, железобетонные тюбинги	8,0	1089,5
4	Рудоподъемный рудника «МИР» АК «Алроса»	Монолитный бетон, чугунные тюбинги	8,0	1057
5	Шахта им. А.Ф. Засядько, Украина: - воздухоподающий №2 - вентиляционный №2 - вентиляционный №3	Монолитный бетон	 7,0 6,5 7,0	 1265 1022 1222
6	Вентиляционный ВС-10, рудник «Скалистый» ОАО ГМК «Норильский никель»	Монолитный бетон	9,0	2054

$$c_1 = \frac{r_1}{r_2},$$

r_2, r_1 – соответственно внутренний и наружный радиусы крепи ствола, м; χ_1 – коэффициент вида напряженного состояния, при плоской деформации

$$\chi_1 = 3 - 4\nu_1,$$

ν_1 – коэффициент поперечной деформации бетона крепи;

При наличии вокруг монолитной бетонной крепи упрочненного анкерами слоя пород, рассматриваемого как квазиоднородный, нагрузка на крепь согласно [2] определяется по формуле

$$p_0 = (1 - C_2)\frac{A + \beta a_2}{\beta^2 B(C_3 - 1) + \beta C + A(1 - C_2)} \times$$

$$\times \lambda \alpha^* \gamma H; \qquad (2)$$

где $A = (1 - 2\nu_2)\cdot(C_3 - 1)$;

$$B = (1 - 2\nu_1 + C_2)\frac{G_1}{G_0};$$

$$C = a_2(1 - C_2) + a_1 B; \quad C_3 = \left(\frac{r_3}{r_1}\right)^2;$$

$$C_2 = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2; \quad a_1 = (1 - 2\nu_2)\cdot C_3 + 1;$$

$$a_2 = 1 - 2\nu_2 + C_3,$$

здесь β - коэффициент упрочнения пород анкерами; r_2 – внешний радиус породного кольца, упрочненного анкерами; ν_2 – коэффициент поперечной деформации упрочненного анкерами породного слоя.

При проведении расчетов приняты следующие исходные данные: средний объемный вес вышележащей толщи пород, γ = 0,025 МН/м^3; коэффициент поперечной деформации пород, ν_0 = 0,3; коэффициент, учитывающий отставание крепи от забоя, α^*= 0,8 (совмещенная технологическая схема); радиус ствола в свету, r_2=3,0 м.

При расчете комбинированной крепи приняты: плотность установки анкеров,

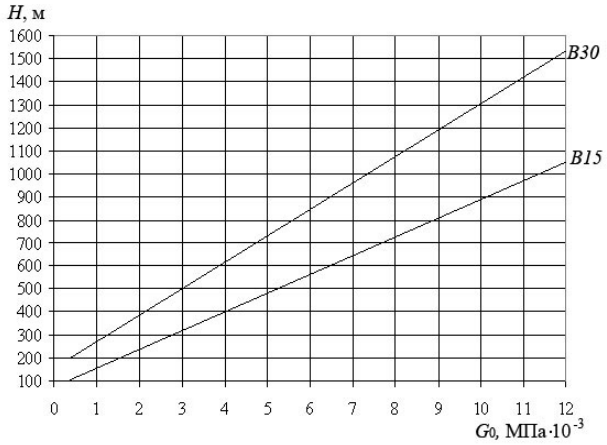

Рис. 1. Область применения монолитной бетонной крепи толщиной 250 мм при классе бетона В 15 и В 30

n_a=1 анк/м^2; несущая способность анкера 100 кН; коэффициент β = 1,9, коэффициент v_2= v_0.

Вариации подвергались: класс бетона крепи в диапазоне В15 - В30, толщина монолитной бетонной крепи (t = 250 - 500 мм), длина анкеров (l = 0,5 - 2,0 м.).

На основании полученных по формулам (1) и (2) значений нагрузок на крепь рассчитывались средние тангенциальные напряжения в бетоне крепи, и оценивалась ее несущая способность в соответствии с выражением:

$$\sigma_m \le R_b \ , \qquad (3)$$

где R_b – расчетное сопротивление бетона одноосному сжатию.

В результате расчетов определялась область применения крепи в виде максимально возможной глубины ствола H, при которой условие (3) выполнялось, в зависимости от модуля сдвига вмещающих пород G_0. Графическая интерпретация полученных результатов при граничных значениях варьируемых параметров представлена на рис. 1-3.

По рис. 1-3 можно выполнить сравнительную оценку эффективности повышения несущей способности бетонной крепи класса В15, толщиной 250 мм (базовый вариант) путем увеличения в два раза класса бетона, толщины крепи, или установки анкерной крепи длиной 2 м.

Необходимо отметить, что сметная себестоимость монолитной бетонной крепи толщиной 250 мм в комбинации с анкерами длиной 2 м приблизительно соответствует себестоимости монолитной бетонной крепи толщиной 500 мм.

Эффективность повышения несущей способности крепи оценивалась с помощью параметров:

- увеличение класса бетона

$$K_B = \frac{H_{max.B}}{H_{max.баз}} \ ;$$

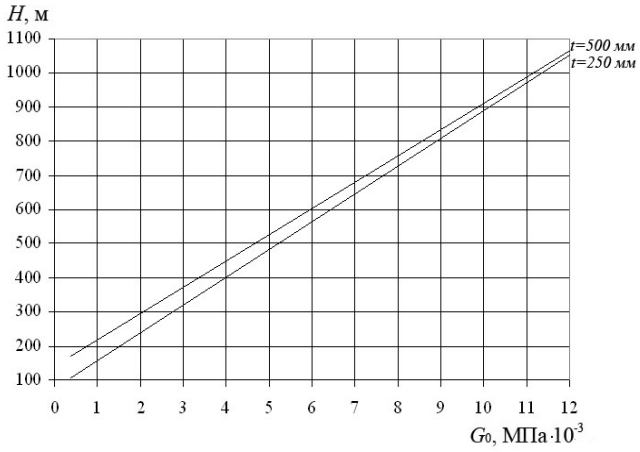

Рис. 2. Область применения монолитной бетонной крепи класса В 15 толщиной 250 мм и 500 мм

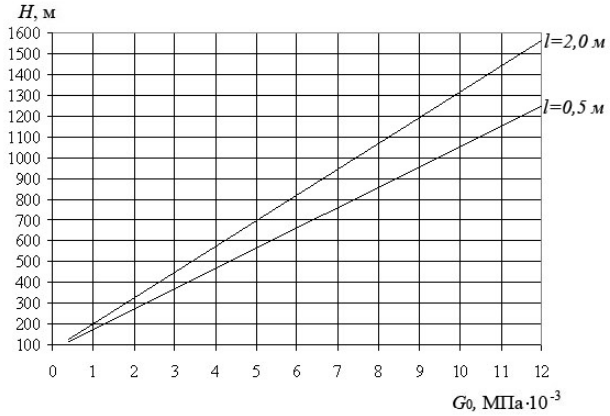

Рис. 3. Область применения монолитной бетонной крепи класса В 15 толщиной 250 мм в сочетании с анкерами при длине анкеров 0,5 и 2,0 м

- увеличение толщины крепи

$$К_t = \frac{Н_{max.t}}{Н_{max.баз}};$$

- анкерное упрочнение

$$К_{анк} = \frac{Н_{max.анк}}{Н_{max.баз}},$$

где $H_{max.баз}$ – максимальная глубина применения базового варианта крепи; $H_{max.B}$ – максимальная глубина применения крепи класса В30 той же толщины; $H_{max.t}$ – максимальная область применения крепи толщиной 500 мм того же класса; $H_{max.анк}$ – максимальная область применения базового варианта крепи в комбинации с анкерами длиной 2 м.

На рис. 4 представлены графики зависимости параметров K_B, K_t и $K_{анк}$ от модуля сдвига пород вмещающего массива G_0.

Из рис. 4 следует вывод, что при проектировании мер по повышению несущей способности монолитной бетонной крепи вертикальных стволов в первую очередь должна рассматриваться возможность увеличения класса бетона. Увеличение толщины крепи в рассмотренном диапазоне условий малоэффективно и может быть рекомендовано только в слабых породах (G_0<2000 МПа). В остальных случаях после исчерпания возможностей по варьированию прочности бетона целесообразно производить анкерное упрочнение породного массива.

В заключении следует отметить, что выполненное исследование, хотя и основано на современных аналитических методах расчета крепи, содержит ряд допущений и не учитывает влияние многих факторов. В частности формулы (1) и (3) содержат эмпирические коэффициенты α^* и β, методика определения которых требует дальнейшего совершенствования. Рас-

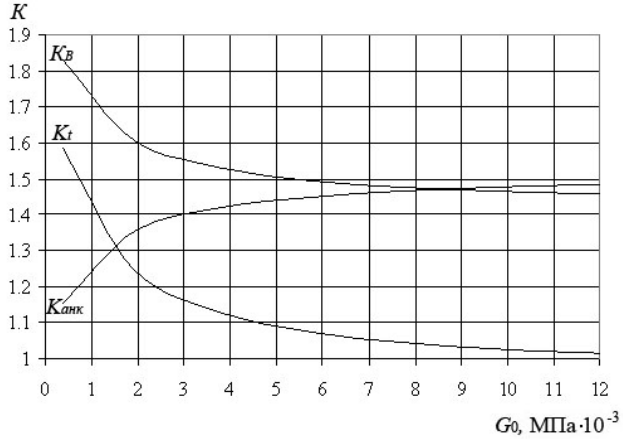

Рис. 4. Эффективность рассмотренных способов повышения несущей способности крепи в различных условиях

смотрение породного массива, упрочненного анкерами, как квазиоднородного, является довольно условным. В представленных расчетах не учитывается слоистость и трещиноватость породного массива, а также неоднород-ность самой крепи. Большое значение на несущую способность крепи оказывает технология работ и последующие условия эксплуатации.

В настоящее время методы расчета крепи постоянно совершенствуются, используется все более сложный математический аппарат и методы механики твердого тела, позволяющие исключить ряд указанных выше несоответствий аналитической модели реальным условиям. Однако разработка единой методики проектирования крепи вертикальных стволов, учитывающей все стадии строительства и эксплуатации сооружения и основанной на применении научно обоснованных ресурсосберегающих способах крепления, остается актуальной задачей строительной геотехнологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по расчету и применению облегченных видов крепей с анкерами в вертикальных стволах. – Харьков. ВНИИОМШС, 1990. – 75 с.

2. *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений. Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Коротко об авторе

Плешко М.С. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института (филиала) Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), г. Шахты.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 4 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.А. Гончаров.*

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ЧАВКИН Александр Иванович	Обоснование технологических решений по сохранению несущей способности анкерной крепи подготовительных вы-	25.00.22	к.т.н.

	работок в период эксплуатации		