

УДК 622.25.(06)

М.С. Плешко, М.В. Плешко

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ КРЕПИ ГЛУБОКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Проанализированы современные тенденции в области строительства вертикальных стволов. Сформулированы новые подходы к проектированию параметров крепи. Рассмотрен ряд эффективных управляющих воздействий по повышению технико-экономических показателей крепления.

Ключевые слова: вертикальный ствол, крепь, бетон, анкер.

Основными вскрывающими выработками большинства горнодобывающих предприятий являются вертикальные стволы, связывающими подземные добычные горизонты с земной поверхностью и считающиеся важнейшими объектами строительства и эксплуатации шахты.

Наиболее высокие показатели строительства вертикальных стволов были достигнуты в 70—80-х годах прошлого века, когда ежегодно в СССР сооружалось более 25 км стволов различного назначения, средние скорости проходки достигали 80 — 100 м/мес. при высоком уровне механизации работ и производительности труда.

После распада СССР объем проходки стволов значительно сократился, снизился общий уровень шахтопроходческих организаций, не совершенствуется материально-техническая и проектная база. В то же время наблюдается значительный рост глубины выработок и ухудшение горно-геологических условий строительства.

Эти обстоятельства привели к снижению технико-экономических показателей проходки стволов, значительному росту себестоимости строительства, при этом отдельно следует

остановиться на проблеме крепления стволов.

Комплексный анализ опыта строительства и эксплуатации более 150 вертикальных стволов в Донбассе и других регионах страны показывает, что в нашей стране сформировался устойчивый подход к технологии крепления. Более 90 % стволов закреплено монолитной бетонной крепью, возведенной по совмещенной технологической схеме. На сложных участках ствола осуществляется переход на железобетонные крепи и комбинированные конструкции на основе тубингов.

Основным способом повышения несущей способности монолитной бетонной крепи является увеличение ее толщины, что, как правило, производится не более чем на 3 — 4 участках ствола по глубине. Такие ограничения приводят к несоответствию конструкции крепи фактическим условиям. В силу этого, а также некачественного ведения работ, около 53 % рассмотренных вертикальных стволов имеют те или иные нарушения крепи, при этом процент нарушений и их тяжесть возрастает с глубиной ствола.

С увеличением глубины стволов также наблюдается значительное отклонение фактических параметров

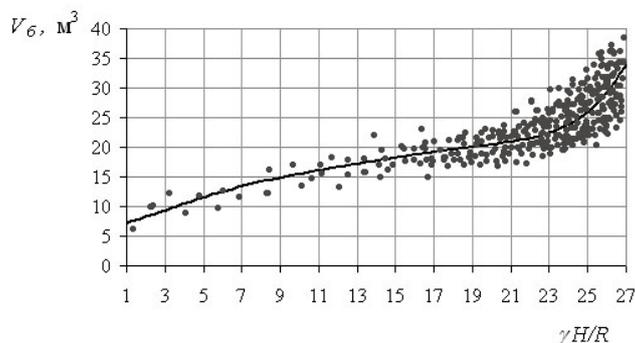


Рис. 1. Зависимость перерасхода бетона при креплении стволов от параметра $\gamma H/R$

крепи от проектных. Вследствие вывалообразования и больших переборов породы, обусловленных некачественным ведением буровзрывных работ, фактическая толщина крепи на больших глубинах превышает проектные значения в два и более раза. Установлена корреляционная связь, имеющая гиперболический характер, между объемом перерасхода бетона на возведение крепи и параметром устойчивости $\gamma H/R$,

где γ — объемный вес вышележащей толщи пород, H — глубина ствола, R — фактическая прочность пород в массиве.

Таким образом, существующие подходы к проектированию параметров крепления и технологии работ в глубоких стволах не обеспечивают качество, долговечность крепи и технико-экономическую эффективность.

Совершенствование крепления глубоких стволов должно осуществляться на наш взгляд в рамках рассмотрения не стандартной системы «крепь — массив», а системы «крепь — регулятивный элемент — массив», где в качестве регулятивного элемента может выступать, в том числе и сами крепь и массив.

На основе этой системы предложена новая концепция проектирова-

ния, представленная в виде блок-схемы на рис. 2. Она предусматривает возможность оперативной корректировки рабочего проекта по данным постоянного мониторинга и более широкое варьирование параметров крепления за счет использования регулятивных элементов.

Реализация основных технических решений проекта осуществляется через технологическую схему строительства, определяющую средства, методы и последовательность ведения работ. При этом в процессе разработки проекта крепления необходим более полный учет технологических факторов. В настоящее время в основном рассматриваются только горно-геологические данные, полученные по результатам бурения осевой скважины и имеющие неполный характер.

В связи с этим выполнен комплекс исследований по влиянию технологических факторов на работоспособность крепи и обоснованию оптимальных управляющих воздействий по повышению ее несущей способности.

Рассматривалась объемная математическая модель геотехнической системы «призобойное пространство ствола», в которой наиболее полно проявляются технологические отличия схем проходки.

На первом этапе исследована стандартная совмещенная схема проходки с монолитной бетонной крепью.

Расчетная модель позволяет учесть стадию твердения бетона в призобойной зоне, в которой прочность и модуль деформации колец крепи различна и соответствует фактическому возрасту бетона.



Рис. 2. Блок-схема проектирования строительства вертикального ствола

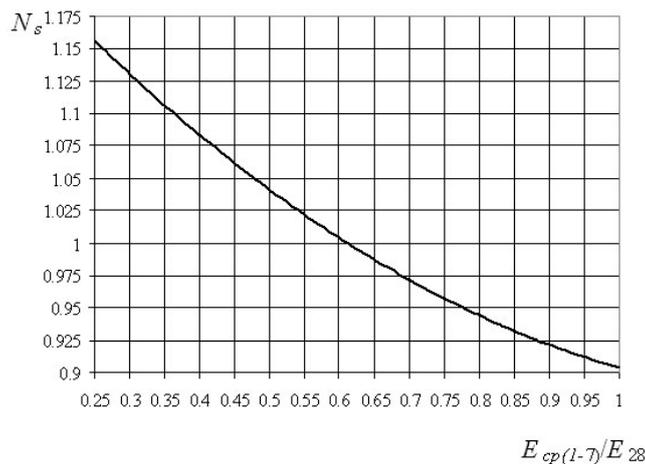


Рис. 3. График зависимости несущей способности крепи от параметра $E_{cp(1-7)}/E_{28}$

Полученные результаты показывают, что при увеличении жесткости бетона призабойной зоны в возрасте 1 — 7 сут., характеризуемой средним модулем деформации, $E_{cp(1-7)}$, интенсивность напряжений в крепи на момент наступления статического равновесия в системе увеличивается.

Обобщенная зависимость запаса несущей способности крепи от отношения $E_{cp(1-7)}/E_{28}$,

где E_{28} — модуль деформации бетона в проектном возрасте, приведена на рис. 3. Из рис. видно, что при увеличении начальной жесткости крепи запас несущей способности уменьшается по слабо выраженной параболической зависимости, близкой к обратно пропорциональной.

Этот фактор следует учитывать при проектировании параметров крепи, возводимой по совмещенной схеме, при этом особенно тщательное геотехнологическое обоснование должна иметь организация скоростной проходки, так как ее реализация вызывает необходимость применения быстротвердеющих бетонов, имеющих высокую начальную жесткость.

Необходимо также подчеркнуть, что на основании рис. 3 не следует делать вывод о целесообразности увеличения величины E_{28} , так как в этом случае происходит и пропорциональное увеличение ранней жесткости бетона. Необоснованное снижение величины $E_{cp(1-7)}$ также не-

эффективно, потому что в этом случае уменьшается запас прочности крепи в призабойной зоне. Механизм управляющих воздействий должен быть направлен на оптимизацию отношения:

$$R_6/E \rightarrow \max,$$

где R_6 — прочность бетона при сжатии, что позволит обеспечить податливость крепи при необходимом запасе прочности.

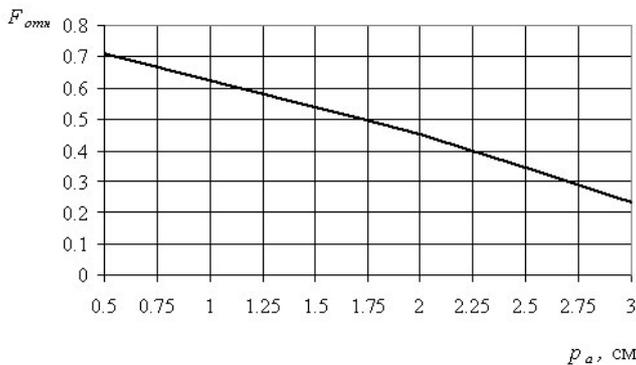


Рис. 4. Зависимость параметра $F_{отн}$ от величины податливости анкера

Более широкие возможности по регулированию параметров крепи возникают при переходе на комбинированные анкерно-бетонные системы, которые могут возводиться по совмещенной или параллельной технологической схеме.

Существенное значение имеет прогноз величины натяжения анкеров, которое изменяется от момента установки анкера в забое до наступления статического равновесия в системе в процессе проходки.

Основными факторами, влияющими на величину приобретаемого анкерами натяжения, являются: глубина ствола, модуль сдвига пород, диаметр ствола в черне.

При совмещенной технологии после анкерного упрочнения массива выполняется возведение монолитной бетонной крепи и далее происходит их совместное деформирование. При этом увеличение жесткости бетонной крепи в призабойной зоне снижают величину приобретаемого анкерами натяжения, а соответственно и эффективность их установки. С учетом сказанного, проектирование анкерно-бетонной крепи должно быть направлено на оптимизацию основных параметров, предусматривающую достижение максимального запаса несущей способности крепи при минимальных затратах.

При параллельной схеме монолитная бетонная крепь возводится с отставанием от анкерной по высоте до 20—25 м и более. В этом случае на величину натяжения анкеров значительное влияние оказывает интенсивность процессов ползучести в окружающем массиве. Для повышения области применения анкерной крепи в этих условиях целесообразно применение конструкций с ограниченной податливостью.

Снижение величины натяжения при применении податливых анкеров составит

$$F_{отн} = F_{a,p} / F_a,$$

где $F_{a,p}$ — величина натяжения податливого анкера, F_a — величина натяжения жесткого анкера в аналогичных условиях.

На рис. 4 представлена зависимость параметра $F_{отн}$ от величины податливости анкера.

В целом область применения параллельной схемы проходки определяется возможностью обеспечения устойчивости участка ствола высотой 20—25 м без постоянной крепи.

Если это возможно, то в качестве постоянной крепи возможно использование бетонной оболочки минимальной толщины — 250—300 мм, а ее несущая способность при необходимости повышается путем увеличения класса бетона.

Как показывают исследования, задача по обеспечению устойчивости пород призабойной зоны в широком диапазоне условий может быть решена с помощью анкерного упрочнения массива с научно-обоснованными параметрами.

Таблица 1

Оптимальные составы бетона для различных схем проходки стволов

№	Параметры	Совмещенная схема	Параллельная схема
		Класс бетона по прочности	
		В25	В40
1	Марка цемента	М500 Д0	
2	Расход цемента, кг/м ³	330 — 350	380 — 400
3	Вид и марка добавки	Реламикс -2, Biseal SCC, SikaViscoCrete	МБ6-50С, МБ 10-01, ЭМБЭЛИТ 6-50, ЭМБЭЛИТ 6-100
4	Дозировка модификатора, % от цемента	0,8 — 1,0	10 — 12
5	Водоцементное отношение (В/Ц)	0,48 — 0,5	0,43 — 0,45
6	Доля песка в смеси заполнителей (п/ш)	0,65 — 0,73	
7	Модуль крупности песка, ($M_{кр}$)	2,2 — 2,5	
8	Вид крупного заполнителя	щебень из гравия фракций 5 — 20 мм.	

Таким образом, практическая реализация рассмотренных управляющих воздействий предусматривает, прежде всего, оптимизацию параметров монолитной бетонной крепи, а также переход на комбинированное анкерно-бетонное крепление.

При этом состав бетона крепи должен подбираться не только по требуемой прочности, но и с учетом технологических факторов.

При совмещенной схеме проходке на первый план выходят свойства бетона в раннем возрасте (1—7 сут.), так как именно в этот период возведенная в забое бетонная крепь взаимодействует с интенсивно деформирующимся массивом.

На основании комплекса лабораторных испытаний разработаны эффективные составы бетона, обладающие оптимальными деформативными свойствами в раннем возрасте, благодаря применению современных ком-

плексных добавок на основе суперпластификаторов, а также полипропиленовой фибры.

Бетон крепи, возводимой по параллельной схеме проходки, должен иметь большую проектную прочность и высокую скорость твердения для возможности выполнения быстрой распалубки и вступления бетона в работу в короткие сроки. С учетом этих требований разработаны составы высокопрочных бетонов с использованием комплексных органоминеральных модификаторов серии «МБ» и ЭМБЭЛИТ.

Примеры ориентировочных составов бетонов для совмещенной и параллельной технологической схемы представлены в табл. 1.

Разработанные решения на наш взгляд позволят повысить технико-экономическую эффективность строительства стволов, а также качество и долговечность крепи. **ГЛАВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Плешко Михаил Степанович — кандидат технических наук, доцент,
e-mail mspleschko@rambler.ru,

Плешко Марианна Викторовна — ассистент кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы»,
Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института, siurgtu@siurgtu.ru