

УДК. 622.25.(06)

**С.Г. Страданченко, М.С. Плешко, В.Н. Армейсков**

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАЧЕСТВА КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ**

*Рассмотрены особенности совмещенной схемы проходки. Приведены результаты испытаний модифицированных бетонов и фибробетонов. Сделан вывод о перспективности их применения при строительстве вертикальных стволов*

*Ключевые слова: проходка стволов, монолитная бетонной крепь, призабойная зона ствола, фибробетон.*

**Семинар № 3**

**Н**ачиная с 70-х годов прошлого века и по настоящее время, в нашей стране доминирующее положение занимает совмещенная схема проходки стволов с креплением их монолитным бетоном.

Профессором Н.С. Булычевым было предложено рассматривать две стадии взаимодействия крепи с массивом при совмещенной схеме проходки:

1) взаимодействие твердеющей монолитной бетонной крепи с деформирующимся массивом пород в призабойной зоне ствола;

2) взаимодействие крепи проектной прочности со стабилизировавшимся массивом на протяженном участке ствола.

В практике проектирования стволов большое распространение получили методы расчета на основе принципа контактного взаимодействия крепи с массивом, основанные на аналитических решениях соответствующих задач теории упругости в плоской постановке. Этот метод позволяет с необходимой точностью оценить напряженно-деформированное состояние крепи на второй стадии взаимодействия крепи с массивом.

Расчеты показывают, что область применения монолитной бетонной

крепи при увеличении класса бетона возрастает по параболической зависимости, и при переходе с класса бетона В15 на В30 несущая способность крепи толщиной 250 мм возрастает на 40-80% в зависимости от горно-геологических условий. Это существенно больше, чем при увеличении толщины крепи в 2 раза.

Призабойная зона ствола представляет собой пространственный объект, в котором с массивом взаимодействует толстостенная бетонная оболочка переменного сопротивления, физико-механические свойства которой определяются видом и скоростью твердения бетона, а также темпами проходки ствола. Влияние этих параметров при оценке проектной несущей способности крепи, как правило, не учитываются.

Оценку напряженно-деформированного состояния крепи призабойной зоны удобно выразить через отношение напряжений в крепи к прочности бетона  $\sigma_1/R_T$  (здесь  $\sigma_1$  – максимальные нормальные тангенциальные напряжения в сечении крепи;  $R_T$  – прочность бетона при сжатии в рассматриваемый момент времени).

Наиболее интенсивному воздействию подвергается ближайшая к забою

Таблица 1

**Результаты испытаний бетонов различного состава на сжатие**

□ состава	Состав бетона (тип и расход)				Осадка конуса, см	Прочность бетона при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
	Цемент ПЦ М500, кг/м <sup>3</sup>	Щебень Песок, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup> (В/Ц)	Добавка, (%)		1	3	28
1	350	$\frac{1000}{700}$	$\frac{175}{(0,5)}$	-	5	6,3 <sup>**</sup> (0,195)	14,8 (0,46)	32,3
2	350	$\frac{1000}{700}$	$\frac{165}{(0,47)}$	Реламикс -2 (1,0%)	18	15,3 (0,39)	25,4 (0,65)	39,2
3	350	$\frac{1000}{700}$	$\frac{165}{(0,47)}$	Biseal SCC (0,8%)	17	17,6 (0,37)	36,5 (0,78)	47,0
4	350	$\frac{1000}{700}$	$\frac{165}{(0,47)}$	SikaViscoCrete (1,0%)	16	15,9 (0,30)	41,2 (0,78)	52,6

Примечания: \* – масса добавки в процентах от массы цемента; \*\* – значение отношения  $R_7/R_{28}$

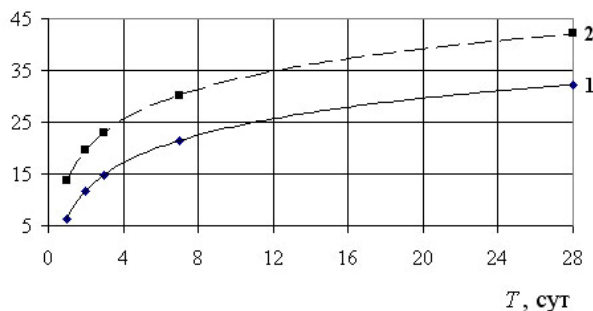
**Рис. 1. Набор прочности бетона:** 1 – контрольный состав; 2 – модифицированный состав с добавкой «Реламикс-2» в объеме 1% от массы цемента и полипропиленовой фибры в количестве 0,9 кг/м<sup>3</sup>

заходка крепи в момент снятия опалубки, запас несущей способности которой может быть в 1,5–2 раза ниже чем у крепи проекторной прочности, удаленной от забоя ствола.

На практике, для увеличения несущей способности твердеющей крепи применяют ускорители твердения бетона, которые увеличивают прочность и жесткость бетона в раннем возрасте. Так как на величину проектной прочности эти добавки не оказывают заметного влияния, их использование может привести к увеличению интенсивности напряжений в крепи вследствие снижения податливости бетона в начальный период твердения.

Более перспективным направлением является применение модифи-

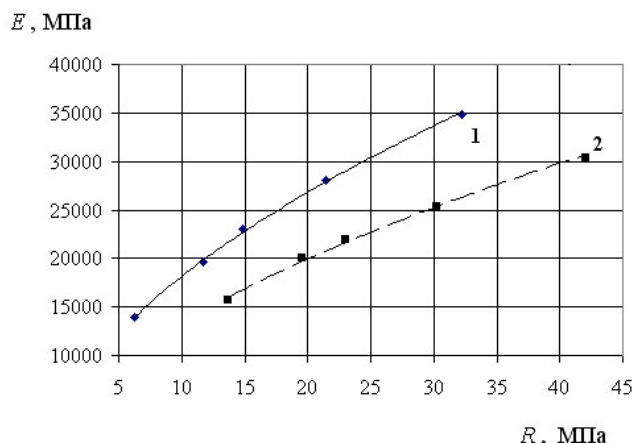
R, МПа



цированных бетонов на основе современных комплексных добавок.

Авторами был выполнен ряд лабораторных испытаний, некоторые результаты которых представлены в табл. 1. Состав 1 является контрольным.

Полученные данные показывают, что включение комплексов Реламикс - 2, Biseal SCC и SikaViscoCrete в объеме 0,8 - 1,0% от массы цемента, обеспечивают прирост прочности бетона возрасте 1 - 3 суток в пределах 36,2 - 64,2%, а в проектном возрасте - 12,9 - 38,6% при высокой подвижности бетонной смеси.



**Рис. 2. Зависимость начального модуля упругости бетона контрольного и модифицированного составов от прочности на сжатие**

Для увеличения деформативных свойств бетона целесообразно включение в состав бетона элементов с низким модулем упругости, к которым в частности относится полипропиленовая фибра.

Для оценки эффективности ее влияния были выполнены испытания 15 образцов бетона состава № 2 с включением полипропиленовой фибры в объеме  $0,9 \text{ кг/м}^3$ . Основные характеристики фибры представлены в табл. 2.

На рис. 1 представлена динамика набора прочности бетона контрольного состава и бетона состава № 2 с полипропиленовой фиброй.

На рис. 2 представлена динамика изменения начального модуля упругости данных составов в зависимости от

прочности бетона на сжатие.

В результате обработки данных получена следующая зависимость начального модуля упругости фибробетона от прочности на сжатие:

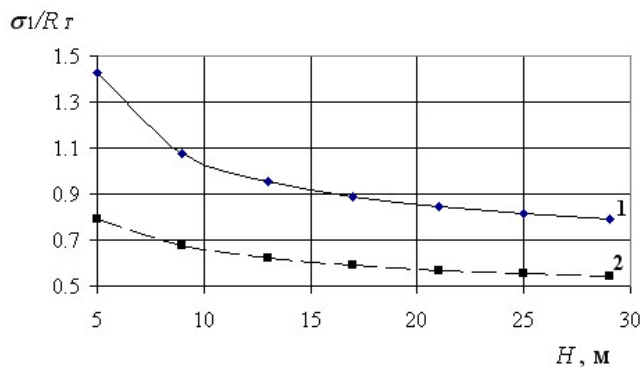
$$E = 3521,4 \cdot R^{0,576} \quad (1)$$

Коэффициент корреляции по зависимости (1) составил 0,994.

На основе полученных результатов выполнена сравнительная оценка напряженно-деформированного состояния крепи из обычного и модифицированного фибробетона с помощью расчета конечно-элементных моделей с физико-механическими характеристиками бетона крепи, принятых в соответствии с рис. 1 и 2. На рис. 3 показана динамика изменения относительной интенсивности напряжений в бетоне крепи призабойной зоны ствола в зависимости от расстояния крепи от забоя.

Сравнительное исследование в различных условиях показало, что применение модифицированного фибробетона позволяет увеличить несущую способность твердеющей крепи в призабойной зоне в 1,53 - 2,04 раза, а крепи проектной прочности в среднем в 1,5 раза.

Полученные результаты говорят о перспективности



**Рис. 3. Относительная интенсивность напряжений в бетоне крепи призабойной зоны**

Таблица 2

**Характеристика полипропиленовой фибры**

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Материал	Чистый полипропилен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> с за- масливателем
2	Тип	Мультифиламентная
3	Длина волокна	18 мм
4	Диаметр волокна	15 микрон
5	Форма	Круглая
6	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	0,91 г/см <sup>3</sup>
7	Модуль упругости, МПа	5700
8	Температура размягчения	160 °С
9	Температура воспламенения	>320 °С

применения модифицированных бетонов и фибробетонов при строительстве вертикальных стволов. Однако для обеспечения необходимых проектных свойств нужен тщательный

контроль за приготовлением, транспортированием и укладкой бетонной смеси, и переход в частности на контейнерную доставку смеси в забой ствола.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Баженов Ю.М.* Технология бетона: Учебник для вузов / М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500 с.

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

**Коротко об авторах**

*Страданченко С.Г.* – доктор технических наук, профессор, директор Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета, зав. кафедрой «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы», siurgtu@siurgtu.ru

*Плешко М.С.* – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета,

*Армейсков В.Н.* – горный инженер, заместитель директора Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета, siurgtu@siurgtu.ru

