

УДК 622.28

Масленников С.А., к.т.н., доц., Кокунько И.Н., к.т.н., доц., Никищенко Т.С., ТФ-3-17, ЮРГПУ(НПИ), г.Шахты, Россия

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЧУГУННО-БЕТОННОЙ КРЕПИ С ПЕРЕДОВЫМ БЕТОНОМ

В крупнейших проектах строительства вертикальных стволов в РФ все чаще находит применение комбинированная чугунно-бетонная крепь, как вариант обеспечивающий надежность в период эксплуатации, требуемый уровень водонепроницаемости и долговечности. На практике применяют два варианта технологии ее возведения: в направлении сверху вниз с наращиванием става тубинговой крепи по мере продвижения забоя и заполнением затубингового пространства бетоном заходками высотой 3-6, иногда более метров; с возведением передовой бетонной крепи и последующим наращиванием тубингов заходками в направлении снизу вверх. В последнем случае остается не до конца ясным вопрос распределения напряжений между отдельными слоями крепи.

При расчёте крепи с передовым бетоном необходимо определять порядок учёта разновременности возведения первого, выполняющего в т.ч. функцию временной крепи, слоя и последующей навески тубингов с заполнением затубингового пространства. Существуют следующие возможные варианты учёта этого влияния.

I. Нагрузки воспринимаемые передовым бетоном до возведения остальных слоёв крепи имеют значительную величину относительно конечной установившейся.

Данный подход актуален в крепких породах обладающих слабо выраженным свойством долговременной ползучести.

II. Нагрузки воспринимаемые передовым бетоном до возведения остальных слоёв крепи имеют незначительную величину по сравнению с конечной установившейся.

Данный подход оправдан в породах обладающих длительной установившейся ползучестью (например, каменная соль и соленосные породы), в которых нагрузка возрастает в течении длительного срока и остановить её смещения может только высокое сопротивление крепи (до $(0,8-0,9)\gamma H$). В этом случае послойность возведения крепи можно не учитывать.

Рассмотрим характер работы чугунно-бетонной крепи с передовым бетоном на примере технологических решений принятых на скиповом стволе рудника «Мир», который крепили в интервале отметок -228,7 - -526,5 м монолитным бетоном, с последующим возведением в направлении снизу-вверх чугунных тубингов «8,0-40», «8,0-50», «8,0-60» и «8,0-80». Передовой бетон класса В20 укладывали, заходками высотой 4 м за призабойную секционную

опалубку, слоем толщиной 500 мм. При этом толщина слоя мелкозернистого бетона класса В20 укладываемого за тубинги достигала 260 мм.

Для первого, опережающего слоя (из чугунных тубингов) в крепи состоящей из двух тубинговых колонн с заполнением образующегося между ними пространства бетоном, в работе [1], предлагается исходить из условия:

$$\sigma_{\theta} < 0,5R_c, \quad (1)$$

где σ_{θ} - нормальные тангенциальные напряжения, МПа;

R_c - прочность материала крепи на одноосное сжатие, МПа,

так как тубинги продолжают воспринимать нагрузку и в период совместной работы слоёв.

Использование в качестве опережающей крепи бетона имеет ряд существенных особенностей. Во-первых, при расчёте бетона, после возведения внутреннего слоя крепи, оперируют объёмной прочностью, что повышает уровень допустимых напряжений в несколько раз. Во-вторых, бетон, в значительно большей мере чем чугун, обладает свойством релаксации напряжений и долговременной ползучести. То есть после возведения внутренних слоёв часть напряжений воспринятых бетоном будет перераспределена между остальными слоями крепи. Эти соображения, а также анализ приводимых в работах [1,2] фактических данных позволяет сделать вывод о допустимости нагружения бетона на этапе отдельного восприятия напряжений до величины $\sigma_{\theta} < 0,8R_b$.

Расчётные данные приведены в таблицах 1 и 2. Здесь величины нормальных тангенциальных напряжений ($\sigma_{(i)}^{in}$) и нормальных тангенциальных напряжений отнесенных к прочности рассматриваемого слоя ($\frac{\sigma_{(1)}^{in}}{R_{(i)}}$) приведены после суммирования напряжений возникших до и после введения внутренних слоёв в работу.

Таблица 1

Напряжения, возникающие в крепи

	Напряжения в крепи $\sigma_{\theta}^{in(i)}$	$P_{eq} = 2$ МПа	$P_{eq} = 5$ МПа	$P_{eq} = 8$ МПа	$P_{eq} = 11$ МПа	$P_{eq} = 14$ МПа
1	$\sigma_{(1)}^{in}$, МПа	65,3	163,2	261,2	359,1	457,1
2	$\sigma_{(4)}^{in}$, МПа	2,8	6,9	11	15,2	19,3
3	$\sigma_{(5)}^{in}$, МПа	13,1	18,9	24,8	30,6	36,5

В табл. 1 $\sigma_{(1)}^{in}$ - нормальные тангенциальные напряжения на внутренней стороне внутренних рёбер чугунных тубингов, МПа; $\sigma_{(4)}^{in}$ - нормальные тангенциальные напряжения на внутренней поверхности внутреннего слоя

бетона, МПа; $\sigma_{(5)}^{in}$ – нормальные тангенциальные напряжения на внутренней поверхности внешнего слоя бетона с учётом возведения передового бетона

С учётом этого допущения рассмотрим распределение напряжений в крепи. Считаем, что совместная работа крепи началась после достижения напряжениями в передовом бетоне величины $\sigma_{in}^{(1)} = 0,8R_b = 9,2 \text{ МПа}$.

Таблица 2

Относительные напряжения

	Относительные напряжения в крепи $\sigma_{(i)}^{in}/R_{(i)}$	$P_{eq} = 2$ МПа	$P_{eq} = 5$ МПа	$P_{eq} = 8$ МПа	$P_{eq} = 11$ МПа	$P_{eq} = 14$ МПа
1	$\sigma_{(1)}^{in}/R_{c(1)}, \%$	19,7	49,3	78,9	108,5	138,1
2	$\sigma_{(4)}^{in}/R_{ba(4)}, \%$	12,2	21,2	29	35,2	40,2
3	$\sigma_{(5)}^{in}/R_{ba(5)}, \%$	52,1	57,4	64	69,5	74,2

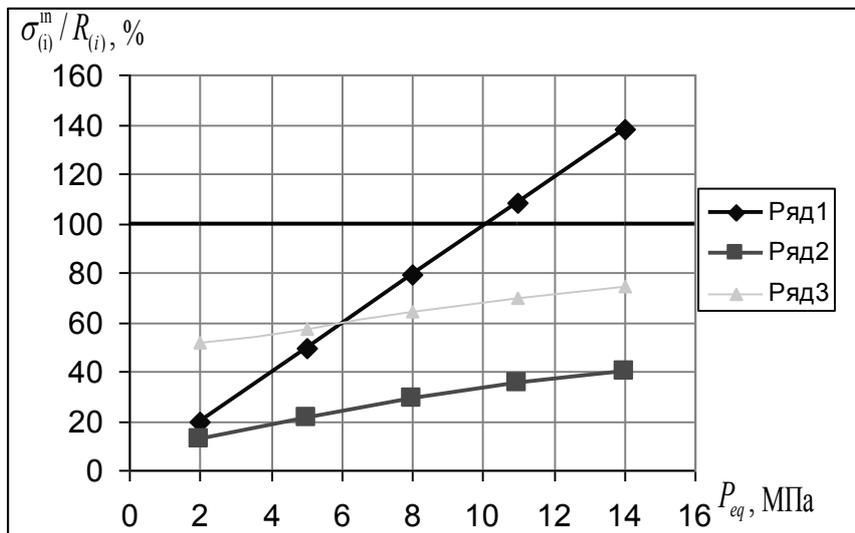


Рис. 1. Зависимость изменения относительных напряжений в трёхслойной чугунно-бетонной ($\sigma_{(i)}^{in}/R_{(i)}$) при росте эквивалентных напряжений (P_{eq}) с учётом возведения передового бетона:

Ряд 1 – рост относительных напряжений (%) на внутренней стороне внутренних рёбер чугунных тубингов; Ряд 2 – рост относительных напряжений (%) на внутренней поверхности внутреннего слоя бетона; Ряд 3 – рост относительных напряжений (%) на внутренней поверхности внешнего слоя бетона с учётом возведения передового бетона.

Анализ приведённых расчётных данных показывает:

- обоснованность принятого допущения, выведенного эмпирическим путём, о возможности восприятия передовым бетоном нагрузок, на стадии самостоятельной работы, до величины $\sigma_{\theta} < 0,8R_b$, подтверждается результатами расчётов;

– даже в случае предварительного нагружения передового бетона до величины $\sigma_{\theta} < 0,8R_b$ чугун достигает предельного состояния при напряжениях во внешнем слое бетона $\sigma_{(1)}^{in}/R_{c(1)} = 68,2$. То есть и в данном случае несущая способность бетона используется не в полной мере.

Далее был рассмотрен второй случай, т.е. нагрузки воспринимаемые передовым бетоном малы по сравнению с окончательно установившимися. Все условия были оставлены теми же, изменился лишь характер загрузки крепи. Т.е. расчёт произведен без учёта влияния разновременности возведения слоёв. Результаты расчёта приведены в таблицах 3, 4 и на рис. 2.

Таблица 3

Напряжения в чугунно-бетонной крепи

	Напряжения в крепи $\sigma_{\theta}^{in}(i)$	$P_{eq} = 2$ МПа	$P_{eq} = 5$ МПа	$P_{eq} = 8$ МПа	$P_{eq} = 11$ МПа	$P_{eq} = 14$ МПа
1	$\sigma_{(1)}^{in}$, МПа	65,3	163,2	261,2	359,1	457,1
2	$\sigma_{(4)}^{in}$, МПа	2,8	6,9	11,	15,2	19,3
3	$\sigma_{(5)}^{in}$, МПа	3,9	9,7	15,6	21,4	27,3

Таблица 4

Относительные напряжения в чугунно-бетонной крепи

	Относительные напряжения в крепи $\sigma_{(i)}^{in}/R_{(i)}$	$P_{eq} = 2$ МПа	$P_{eq} = 5$ МПа	$P_{eq} = 8$ МПа	$P_{eq} = 11$ МПа	$P_{eq} = 14$ МПа
1	$\sigma_{(1)}^{in}/R_{c(1)}$, %	19,7	49,3	78,9	108,5	138,1
2	$\sigma_{(4)}^{in}/R_{ba(4)}$, %	12,2	21,2	29	35,2	40,2
3	$\sigma_{(5)}^{in}/R_{ba(5)}$, %	17	29,5	40,2	48,6	55,5

Анализ данных приведённых в таблицах 3, 4 и на рис. 2 показывает сходный с рассмотренным выше случаем характер нагружения крепи. С ростом нагрузки на крепь напряжения в слоях линейно нарастают, при этом оптимальное распределение напряжений достигается при величине эквивалентных напряжений менее 1,2 МПа и величине относительных напряжений менее 12% от предельных. При достижении, в рёбрах тубингов, предельных напряжений (при $P_{eq} \approx 10,2$, $\sigma_{(1)}^{in}/R_{c(1)} \approx 100$) использование несущей способности бетона также составляет менее 50% (при $P_{eq} \approx 10,2$, $\sigma_{(4)}^{in}/R_{ba(4)} \approx 46,5$).

Таким образом можно сделать вывод:

– рост несущей способности крепи, с увеличением толщины слоя бетона не компенсирует увеличения диаметра ствола и соответственно роста нагрузок на его крепь, т. е. итоговая несущая способность крепи оказывается такой

же, или даже несколько меньшей по сравнению с двухслойной без передового бетона;

- напряжения по слоям распределяются ещё более неравномерно, чем в крепи с передовым бетоном, во внешнем слое которого, при разрушающей нагрузке на крепь в целом, напряжения снизились почти на 2%.

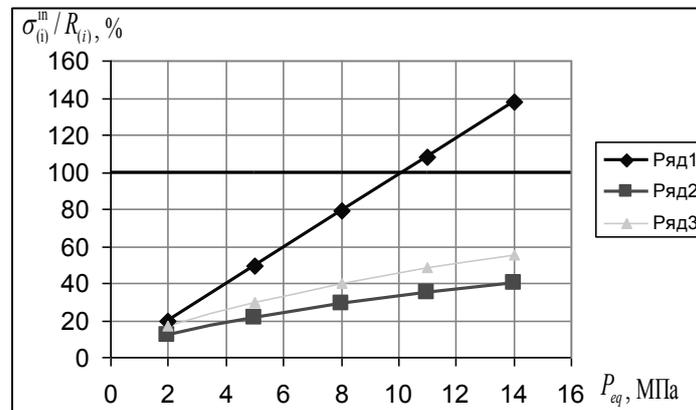


Рис. 2. Зависимость изменения относительных напряжений в трёхслойной чугунно-бетон-бетонной крепи ($\sigma_{(i)}^{in}/R_{(i)}$) при росте эквивалентных напряжений (P_{eq}) (без учёта влияния разновременности возведения слоёв):

Ряд 1 – рост относительных напряжений (%) на внутренней стороне внутренних рёбер чугунных тубингов; Ряд 2 – рост относительных напряжений (%) на внутренней поверхности внутреннего слоя бетона; Ряд 3 – рост относительных напряжений (%) на внутренней поверхности внешнего слоя бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булычёв Н. С. Механика подземных сооружений. М: Недра, 1994. – 382 с.
2. Сергеев С.С. Разработка методов диагностики и прогноза напряжённого состояния крепи вертикальных шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях. Дисс. на соискание учёной степени д. т. н. Тула. – 1997 г. – 321 с.