

УДК 622.28

С.А. Масленников

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ЧУГУННО-БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Рассмотрены особенности работы бетона в комбинированной чугуно-бетонной крепи. Предложен способ повышения экономичности и несущей способности указанного типа крепи, заключающийся в применении в качестве внешнего слоя бетона с повышенным модулем деформации.

Ключевые слова: строительство, деформация, крепь, тубинг.

В связи с усложнением условий проходки вертикальных стволов в последние десятилетия всё более широкое применение находят многослойные крепи. В частности в сложных горно-геологических условиях при проходке по слабым, несвязным породам, при наличии высоконапорных подземных вод широко применяют один из видов комбинированных крепей — чугуно-бетонную. Из последних, наиболее крупных проектов, в которых использовали данный тип крепи, нужно упомянуть строительство 5 стволов по заказу компании «Алроса» на двух рудниках «Мир» и «Удачный», самого глубокого в Евразии (1865 м.) ствола ВС-7 рудника «Таймырский», вертикального ствола ш. «Северная вентиляционная № 2». (1) В таблице приведены характеристики нескольких из упомянутых стволов.

Анализ современного опыта строительства стволов закрепляемых комбинацией чугунных тубингов и бетона позволил выделить ряд специфических особенностей существенно влияющих на характер работы такой крепи. Важнейшие из них приведены ниже.

Применяемая технология, в рамках которой спуск бетонной смеси выполняют по трубопроводам, а укладку производят через отверстия в тубингах, накладывает ограничения на её состав, которые отрицательно влияют на деформационные характеристики бетона.

Бетон, находящийся между породой и чугуном, работает в условиях объёмного напряжённого состояния, при этом предел допустимых напряжений повышается в несколько раз.

Под воздействием длительно действующей нагрузки в условиях объёмного напряжённого состояния бетон проявляет реологические свойства, значительно изменяя показатели, замеренные при мгновенном нагружении.

Рассмотрим подробнее первый пункт. Для предотвращения возникновения заторов в трубопроводе и отверстия для укладки, а также лучшего растекания, бетон, укладываемый в затубинговое пространство, должен иметь подвижность смеси не менее 11 см, с увеличением по мере роста глубины. Кроме этого по тем же причинам крупный заполнитель вводят с максимальными размерами

Таблица 1

Характеристики стволов

Рудник, шахта	«Удачный»	«Мир»	«Северная вентиляция № 2»
Назначение ствола	вентиляционно-вспомогательный	скиповой	вентиляционный
Проектная глубина, м	1090,5	1037,0	1285,5
Диаметр ствола в свету, м	8,0	8,0	7,5
Сечение ствола:			
в свету, м ²	50,24	50,24	44,1
в проходке, м ²	63,6	от 63,6 — до 78,5	51,5
Крепь ствола	Чугунные тубинги, бетон	Чугунные тубинги, бетон	Чугунные тубинги, бетон
Схема проходки	совмещённая	совмещённая	совмещённая

фракций не более 20 мм. Проведенные исследования показали, что такой бетон обладает пониженным модулем упругости, а это приводит к нерациональному распределению нагрузок между слоями и, в общем, неэффективной работе многослойной крепи.

Рассмотрим данное положение более подробно. Как известно модуль упругости характеризует соотношение приложенной нагрузки к величине вызванной деформации. Т. е. чем большую нагрузку необходимо приложить для деформации материала, тем большим модулем упругости он обладает. Как следствие этого при равной величине деформации наибольший отпор даёт высокомодульный материал, т. е. при условии равенства деформаций в многослойной крепи он будет воспринимать большую долю нагрузки. В двухслойной чугунно-бетонной крепи таким материалом является чугун, имеющий модуль упругости до 10 раз больше чем бетон.

Проиллюстрируем данное утверждение на примере. Расчёт будем производить по методике рекомендуемой приложением к СНиП 2-94-80 (4), перечисленные выше особен-

ности работы чугунно-бетонной крепи удалось количественно охарактеризовать, опираясь на исследования, посвящённые механическим свойствам бетона (в частности 2,3), за исходные взяты условия проходки скипового ствола рудника «Мир». Результаты представлены на рис 1.

Как видим с ростом нагрузки на крепь напряжения в бетоне и чугуне линейно нарастают, при этом наиболее благоприятное распределение напряжений достигается при величине эквивалентных напряжений менее 1,5 МПа и величине относительных менее 15 % от предельных. При достижении напряжениями, в рёбрах тубингов, предельных значений (при

$$P_{eq} \approx 10,2, \quad \frac{\sigma_{(1)}^{in}}{R_{c(1)}} \approx 100\%)$$

использование несущей способности бетона составляет менее 50 % (при $P_{eq} \approx 10,2$,

$$\frac{\sigma_{(4)}^{in}}{R_{ba(4)}} \approx 48,4\%).$$

Таким образом можно сделать вывод о неэффективности работы бетона, несущая способность которого используется не в полной мере, а рациональный режим работы крепи достигает при низких

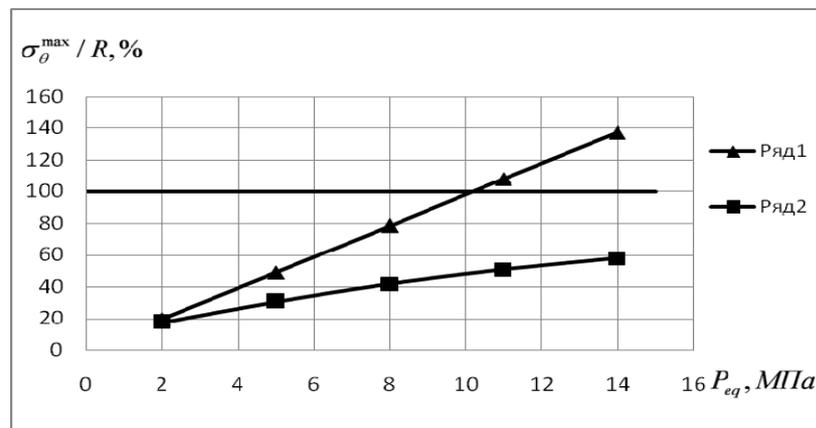


Рис. 1. Зависимость изменения относительных напряжений в двухслойной чугуно-бетонной крепи ($\frac{\sigma_{\theta(n)}^{in}}{R}$) при росте эквивалентных напряжений (P_{eq}): ряд 1 – рост относительных напряжений (%) на внутренней стороне внутренних рёбер чугунных тубингов; ряд 2 – рост относительных напряжений (%) на внутренней поверхности слоя бетона

напряжениях (менее 15 % от предельных).

Данный вывод подтверждается и фактическими данными. При разрушении чугуно-бетонной крепи вентиляционного стола рудника «Пийло», после разборки деформированных колец, было выявлено, что бетонная часть крепи не разрушилась, т. е. на момент достижения напряжениями в чугуне тубингов предельных значений, напряжения в бетоне были допустимыми, причём разрушения не произошло даже при выходе из состояния объёмного сжатия. А учитывая, что объёмная прочность для бетона в 3—4 раза выше прочности при одноосном сжатии, становится ясно, вывод, к которому пришли расчётным путём, о недостаточном использовании несущей способности бетона в чугуно-бетонной крепи, подтверждается.

Из сказанного выше следует, что для устранения указанного недостатка необходимо изменить существующую практику и использовать в чугуно-

бетонной крепи бетона не с пониженным, в силу технологических особенностей возведения, а с повышенным модулем деформации. Для этого существует две возможности: использование бетонов с более высоким классом по прочности или тех же по прочности, но с повышенным модулем деформации. В последнем случае указанное свойство проще всего варьировать за счёт изменения жёсткости/подвижности бетонной смеси и содержания/размера фракций крупного заполнителя. Сразу отметим, что, предлагаемый в последнем случае состав бетона оказывается дешевле используемого в настоящее время.

С учётом выделенных возможных вариантов решения существующей проблемы для тех же условий, что и в примере выше, был рассмотрен характер нагружения слоёв чугуно-бетонной крепи при применении различных бетонов. Для изучения были выбраны 4 вида: обычный, чаще всего применяемый, бетон класса В20 по

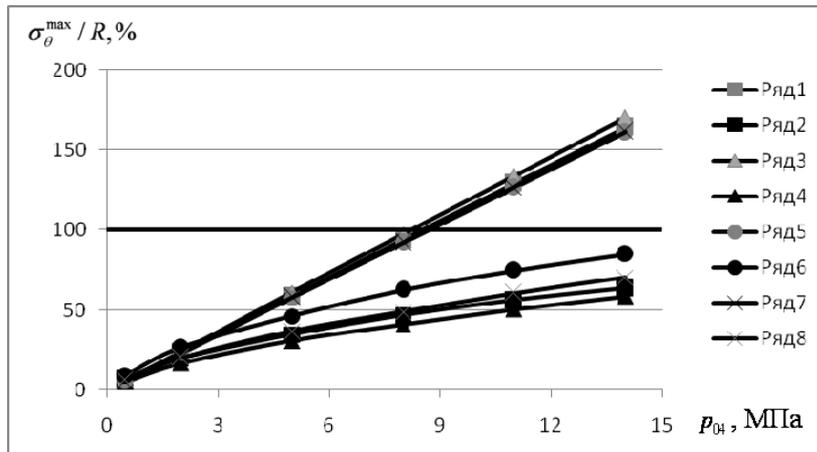


Рис. 2. Распределение напряжений в чугунно-бетонной крепи в зависимости от класса бетона и толщины слоя: ряд 1, 3, 5, 7 – изменение напряжений на внутренней поверхности рёбер тюбингов, соответственно при слое бетона толщиной 0,5 м, В20, толщиной 0,3 м, В40, толщиной 0,3 м, В20, $E_{\sigma}=37500$ МПа, толщиной 0,2 м, В40, $E_{\sigma}=45500$ МПа; ряд 2, 4, 6, 8 – изменение напряжений на внутренней стороне слоя бетона, соответственно при слое толщиной 0,5 м, В20, толщиной 0,3 м, В40, толщиной 0,3 м, В20, $E_{\sigma}=37500$ МПа, толщиной 0,2 м, В40, $E_{\sigma}=45500$ МПа

прочности; с повышенным модулем упругости В20; используемый при креплении стволов за рубежом бетон класса В40; В40 с повышенным модулем упругости. Для наглядности толщина слоя бетона подобрана таким образом, чтобы несущая способность крепи оставалась примерно одинаковой (разница не более 2,5%). Результат см. рис. 2. $\sigma_{\theta}^{\max} / R, \%$.

Как видим из графиков применение высокопрочных бетонов (ряд 3-4) либо того же класса по прочности, но с повышенным модулем деформации (ряд 5-6) позволяет снизить толщину крепи при сохранении несущей способности. При этом в последнем случае достигается более рациональное распределение напряжений между

слоями, для бетона это $\frac{\sigma_{(4)}^{in}}{R_{ba(4)}} \approx 65,5\%$

при достижении предельного состоя-

ния чугуном, в рёбрах тюбингов. Сравнивая по аналогии, видим, что использование высокопрочного бетона приводит к снижению относительного нагружения до $\frac{\sigma_{(4)}^{in}}{R_{ba(4)}} = 41,4\%$, т.

е. материал используется менее эффективно.

В общем, по результатам проведённых исследований можно заключить:

При существующих параметрах чугунно-бетонных крепей бетон используется неэффективно.

Применение более прочных или с повышенным модулем деформации бетонов обеспечивает повышение несущей способности крепи в целом.

Повышение модуля деформации бетонов, с точки зрения эффективности использования материалов, рациональнее добиваться использованием более жёстких смесей и повыше-

нием размеров крупного заполнителя, а не более прочных бетонов.

Толщину затюбингового слоя при использовании высокомодульных бетонов можно сокращать, по сравнению с обычным бетоном того же класса по прочности, без снижения несущей способности крепи.

Применение высокомодульных бетонов в чугуно-бетонной крепи приводит к более благоприятному рас-

пределению напряжений между слоями и, как следствие, к повышению несущей способности крепи.

Использование в комбинированной крепи бетонов класса выше В20 по прочности может быть признано рациональным только в стволах проходимых способом замораживания, где решающее значение, при снижении толщины слоя, приобретает скорость твердения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленников С.А. Состояние и перспективы строительства вертикальных стволов в Российской Федерации. // Перспективы развития Восточного Донбасса. Часть 1: сб. науч. тр./Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – с. 174 — 191.

2. Gröbl P.; Weigler H., Sieghart K. Beton. Arten, Herstellung und Eigenschaften. Berlin: Ernst&Sohn Verlag für Architektur und

technische Wissenschaften GmbH, 2001. – 789 S.

3. Weber R. Guter Beton: Ratschläge für die richtige Betonherstellung. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2006. – 150 S.

4. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчёту крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. — М.: Стройиздат. – 1983. – 272 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Масленников С.А. — ассистент каф. ППГСИСМ, Шахтинский институт (филиал) Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), e-mail: maslennikovSA@mail. ru.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ДЯДИН Валерий Иванович	Обоснование и разработка метода электродинамической сепарации труднообогатимых металлоносных песков	25.00.13	к.т.н.