

УДК 622.281.424.001.57

Коваленко В.В., к.т.н., доц., Мостовой В.В., студ., каф. СГМ, ГБУЗ «НГУ», г. Днепрпетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С НАБРЫЗГБЕТОННОЙ И ФИБРОБЕТОННОЙ КРЕПЬЮ

При увеличении глубины на крепь горной выработки действует нагрузка со стороны породного массива, численно равная значению γH . Устойчивость крепи в значительной степени зависит от размеров действующей со стороны приконтурного массива нагрузки, а также физико-механических свойств вмещающих пород и материала крепи. Для условий заданной глубины варьируются параметры набрызгбетонного покрытия, а также исследуются случаи возведения собственно набрызгбетонной крепи, а также набрызгбетонной крепи с тампонажем закрепного пространства. Второй случай подразумевает, что предварительно устанавливается анкерная крепь, происходит разгрузка массива с образованием области трещиноватых пород. Осуществляется нанесение набрызгбетонного покрытия и затем производится последующий тампонаж зоны ослабленных пород. Для данного случая моделируются набрызгбетонная крепь и область затампонируемых пород на глубину 1,50 м.

Моделируются условия, характерные для глинистых пород (аргиллитов, алевролитов), породы – однородные изотропные. По периметру модели приложена нагрузка, соответствующая параметру γH .

Решение выполнялось для двух основных ситуаций выработки с набрызгбетонной крепью и выработки с набрызгбетонной крепью и тампонажем. Данные ситуации являются наиболее характерными для условий использования набрызгбетона – собственно набрызгбетонная крепь и набрызгбетонная крепь в сочетании с тампонажем закрепного пространства. В ходе выполнения работ по математическому моделированию варьировались основные технологические параметры – глубина расположения выработки, 500 м., 600 м., 700 м. и марка используемого набрызгбетона, а именно М 300, М 400, М 500. Всего было исследовано 18 вариантов.

На рис. 1 и 2 представлены расчетные схемы для проведения математического моделирования соответственно выработок с набрызгбетонной крепью, а также с набрызгбетонной крепью и тампонажем.

Для проведения численного моделирования использован метод конечных элементов. Построение модели осуществлялось с использованием программы Cosmos/M 2.6.

Первоначально была рассмотрена ситуация при которой выработка закреплена только набрызгбетонной крепью. Для данной ситуации с использованием программы Cosmos/M были получены эпюры эквивалентных напряжений. Затем в точках элементов на контуре крепи, в диапазоне от 0 до 90°, брались максимальные значения эквивалентных напряжений и сравнивались с пределом прочности на сжатие. На основе полученных результатов проверялось выполнение критерия устойчивости материала крепи, характеризующего переход набрызгбетонной крепи в состояние потери устойчивости. При выполнении расчетов этот критерий принят в форме коэффициента устойчивости. Согласно положениям сопротивления материалов и строительной механики полное напряжение в точке равно

$$\sigma = \sigma_{сж} + \sigma_{изг}$$

Учитывая то, что в дальнейшем производятся исследования по определению влияния на устойчивость выработки фибробетона, который имеет повышенные характеристики на изгиб, коэффициент устойчивости запишем с учетом влияния напряжений, возникающих от совместного влияния изгиба и сжатия. Условие прочности при изгибе [4] в случае

приведения его к допускаемому напряжению при сжатию будет выглядеть следующим образом:

$$\sigma_{сж} + \frac{\sigma_{изг} \cdot [\sigma_{сж}]}{[\sigma_{изг}]} \leq [\sigma_{сж}].$$

После преобразования формула для определения коэффициента устойчивости примет вид:

$$K_y = \frac{[\sigma_{сж}]}{\sigma_{сж} + \frac{\sigma_{изг} \cdot [\sigma_{сж}]}{[\sigma_{изг}]}} \quad (1),$$

где – $\sigma_{сж}$, $\sigma_{изг}$ – соответственно предел прочности набрызгбетона (фибробетона) на одноосное сжатие и изгиб, $[\sigma_{сж}]$, $[\sigma_{изг}]$ – допустимые напряжения на сжатие и изгиб, возникающие в материале крепи.

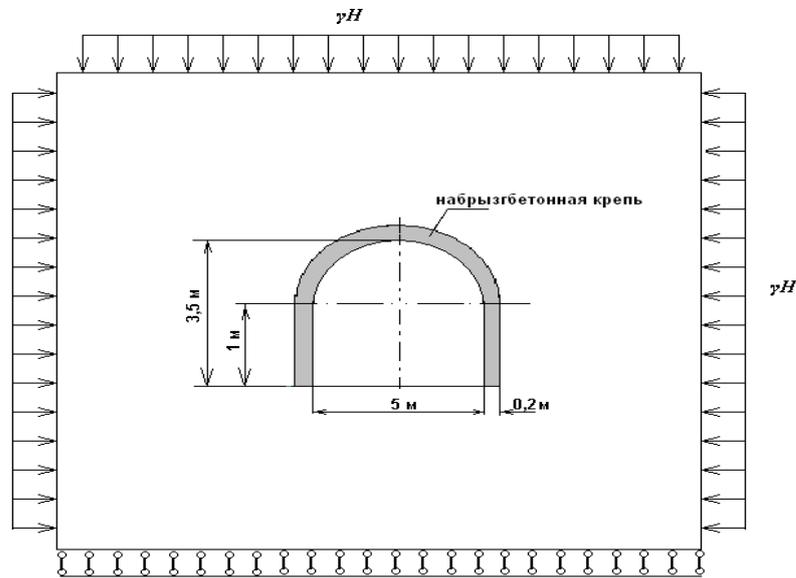


Рис. 1. Расчетная схема выработки с набрызгбетонной крепью, толщиной 20 см

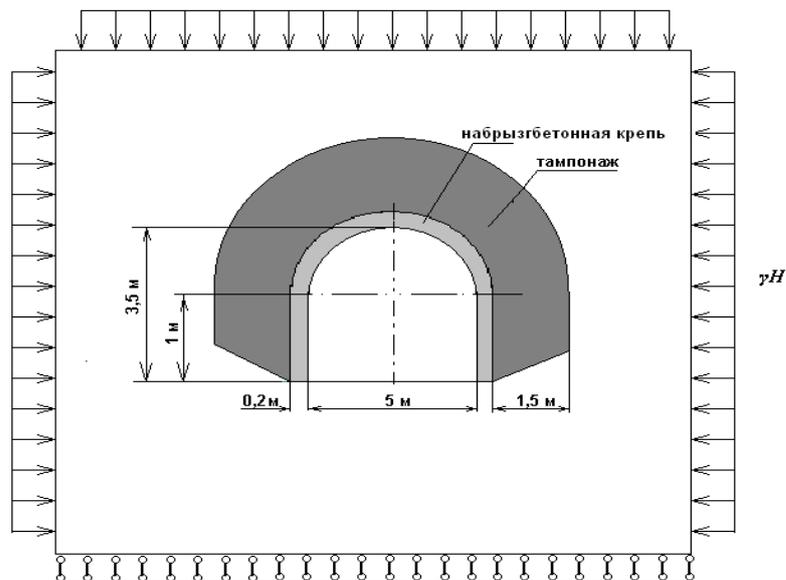


Рис. 2. Расчетная схема выработки с набрызгбетонной крепью, толщиной 20 см и тампоном закрепного пространства на глубину 1,5 м

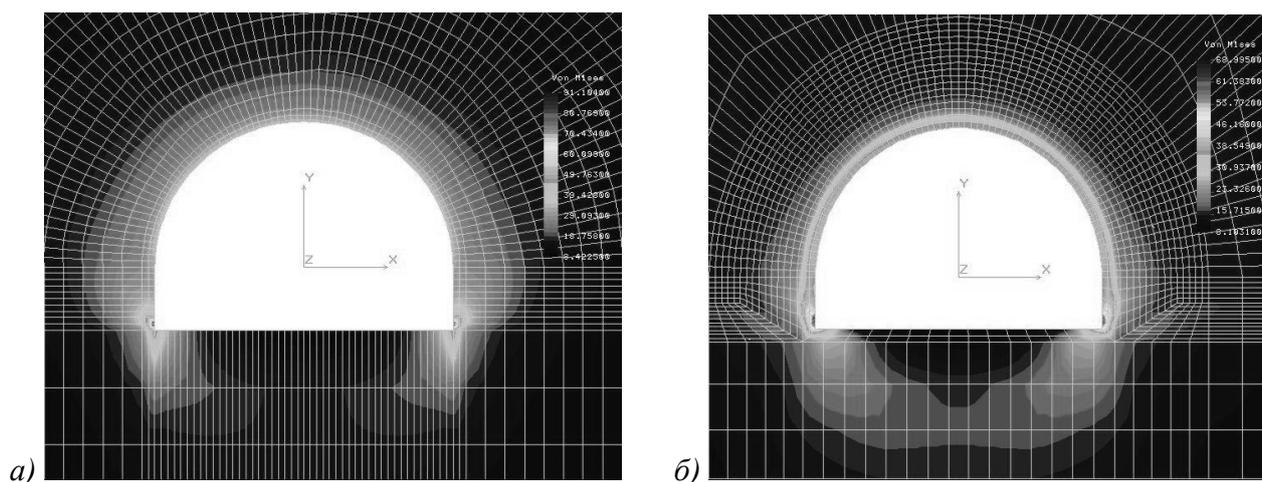


Рис. 3. Эпюры эквивалентных напряжений для выработки с крепью из набрызгбетона марки М500, расположенной на глубине 700м:

а) выработка с н/б крепью; б) выработка с н/б крепью и тампонажем

Коэффициент устойчивости K_y характеризовал состояние конструкции крепи. В случае если $K_y < 1$ – следовательно, конструкция крепи характеризуется состоянием потери устойчивости. И напротив, если $K_y > 1$ – элементы конструкции не испытывают предельно напряженного состояния и конструкция находится в устойчивом состоянии.

Таким образом, устанавливается зависимость состояния крепи от параметров глубины расположения выработки и марки набрызгбетона.

На рисунке 4, 5 представлены результаты математического моделирования изменения коэффициента устойчивости в зависимости от глубины расположения выработки и марки набрызгбетона.

Как видно из рисунка относительно благоприятными можно считать условия поддержания выработки на глубине 500 метров с использованием набрызгбетона марки М 300, в случае последующего увеличения глубины до 600 метров целесообразным является увеличение марки до М 400. При глубине выработки – 700 метров близкое к устойчивому состоянию будет обеспечивать крепь из набрызгбетона М 500. Использование набрызгбетона марок М 400 и М 500 на глубине расположения выработки 500 метров хотя и обеспечивает более высокий коэффициент устойчивости, однако ведет к значительному перерасходу материалов.

При сравнении графиков на рис. 4 и 5 является очевидным снижение коэффициентов устойчивости выработки в среднем на 11%. Это происходит по причине того, что в первом случае (ситуация А) выработка рассматривается как идеализированная, с ненарушенными вмещающими породами, тогда как второй случай (ситуация Б) рассматривает выработку, ослабленную слоем разрушенных пород в приконтурной зоне, для обеспечения устойчивости которых выполнен тампонаж. Тампонаж закрепного пространства не обеспечивает полного восстановления прочностных параметров пород, а создает новый слой породобетона со свойственными ему физико-механическими параметрами.

Из рисунка 6 следует, что с увеличением глубины от 500 до 600 метров для обеспечения устойчивости необходимым является переход на марки набрызгбетона большей прочности (с М400 на М500). Последующее увеличение глубины вызывает необходимость использования комбинированной крепи – усиления набрызгбетона фибрами или сеткой.

Исследование с помощью численных методов факторов, влияющих на несущую способность фибробетонной крепи.

Более перспективной для использования в условиях горных выработок глубоких горизонтов является фибробетонная крепь. Исследования устойчивости фибробетонной

крепи проводятся по рассмотренной ранее методике. Результаты устойчивости набрызгбетонной крепи используются в качестве контрольных значений, для сравнения эффективности использования крепи при переходе от набрызгбетона к фибробетону.

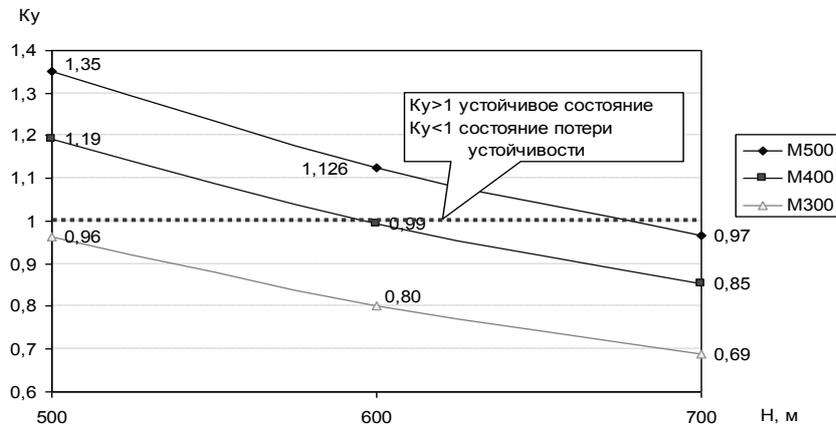


Рис. 4. Изменение коэффициента устойчивости выработки с набрызгбетонной крепью в зависимости от глубины расположения выработки и марки набрызгбетона

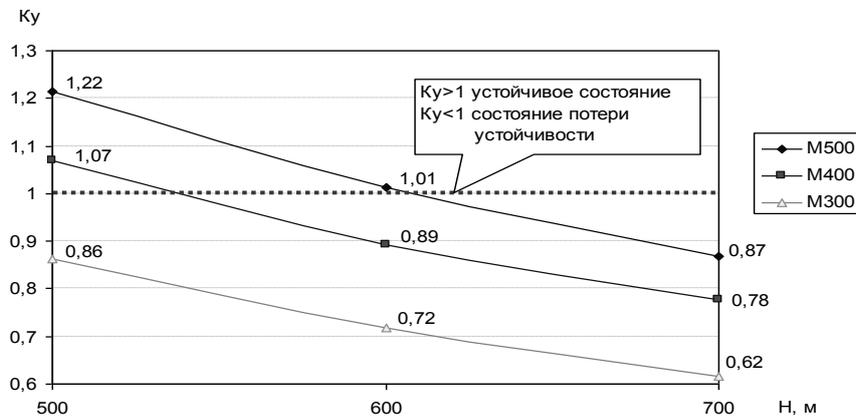


Рис. 5. Изменение коэффициента устойчивости выработки с набрызгбетонной крепью и тампонажем в зависимости от глубины расположения выработки и марки набрызгбетона

Материалу крепи задавались физико-механические свойства, характерные фибробетону на полипропиленовой фибре. Основные параметры модели выработки, закрепленной фибробетоном (и набрызгбетоном), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические параметры модели

Наименование материала	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Предел прочности на изгиб, МПа	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, МПа [6]	Объемный вес, МН / м ³
Аргиллит	30	6	0,23	$2,4 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Набрызгбетон	35	1,2	0,2	$2,85 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
Фибробетон	35	4,5	0,2	$2,85 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
Тампонаж	15	1,4	0,28	$1,6 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{-2}$

В процессе моделирования изучали варианты с варьированием глубины расположения выработки, которые соответствовали рассмотренным ранее условиям моделирования, в ходе которых исследовали несущую способность набрызгбетонной крепи. Для определения

влияния на устойчивость выработки с фибробетонной крепью основных технологических параметров были рассмотрены следующие варианты: выработка с фибробетонной крепью толщиной 50мм, выработка с двухслойной крепью (набрызгбетон – 50мм, фибробетон – 50мм), выработка с двухслойной крепью (набрызгбетон – 50мм, фибробетон – 100мм), выработка с фибробетонной крепью толщиной 50мм и тампонажем, выработка с двухслойной крепью (набрызгбетон – 50мм, фибробетон – 50мм) и тампонажем, выработка с двухслойной крепью (набрызгбетон – 50мм, фибробетон – 100мм) и тампонажем. Глубина расположения для всех вариантов задавалась 500 м., 600 м., 700 м. Всего было исследовано 18 вариантов.

Таким образом, исследованы способы крепления выработки с использованием только фибробетона (толщиной 50 мм), так и фибробетона в сочетании с набрызгбетоном. При этом учитывалось, что набрызгбетон работает на сжатие и практически не работает на изгиб, поэтому набрызгбетон располагался в зоне сжатия. Толщина фибробетона, который располагался в зоне растяжения, варьировалась в диапазоне 50...100 мм.

На рисунках 7 и 8 представлены результаты математического моделирования изменения коэффициента устойчивости в зависимости от глубины расположения выработки и типа крепи.

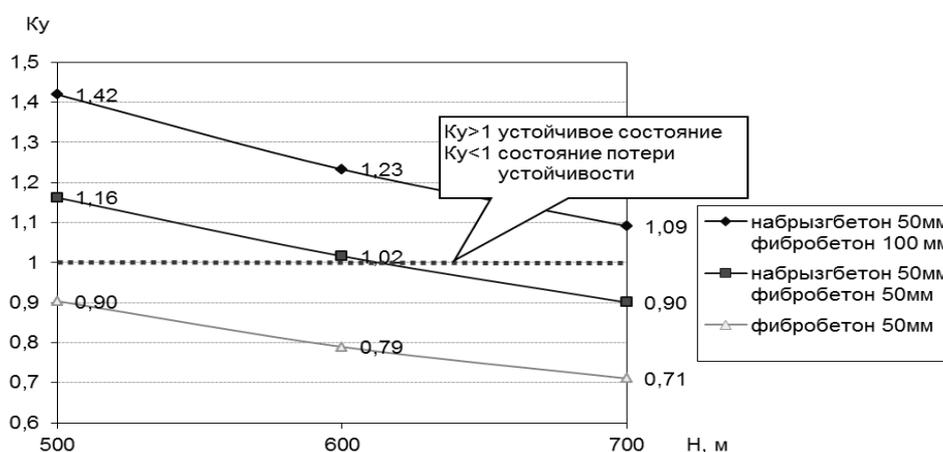


Рис. 6. Изменение коэффициента устойчивости выработки с фибронабрызгбетонной крепью в зависимости от глубины расположения выработки и толщины крепи

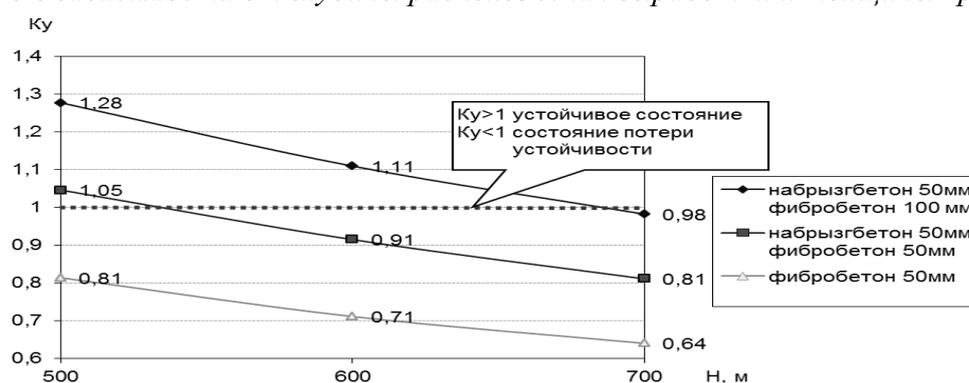


Рис. 7. Изменение коэффициента устойчивости выработки с фибронабрызгбетонной крепью и тампонажем в зависимости от глубины расположения выработки и толщины креп

Как следует из диаграммы на рис. 6 при использовании фибробетона и набрызгбетона марки М 500 достигается значительное увеличение коэффициента устойчивости выработки. На тех участках, где K_u равен или несколько меньше единицы выработка не теряет

устойчивости, как в случае, когда она закреплена только набрызгбетоном, т.к. фибробетон в отличие от набрызгбетона характеризуется вязким деформированием без лавинообразной потери устойчивости.

Рассматривая варианты крепления выработки набрызгбетоном и фибробетоном в сочетании с тампонажем, также наблюдается тенденция увеличения коэффициента устойчивости от 4 до 12% с увеличением глубины расположения выработки и экономией строительных материалов.

Выводы.

1. Использование численного моделирования хотя и имеет определенные ограничения по использованию, однако позволило получить зависимости изменения напряженно-деформированного состояния от глубины расположения выработки и марки используемого набрызгбетона.

2. При креплении выработки набрызгбетоном в условиях ненарушенных вмещающих пород анализом установлено наиболее целесообразное использование набрызгбетона марки М 300 для крепи выработки на глубине 500м, проектной марки М 400 – для выработки на глубине 600м и набрызгбетона марки М 500 – для выработки, расположенной на глубине 700м.

3. При креплении выработки набрызгбетоном и проведении тампонажа с позиций численного моделирования наиболее целесообразно уже на глубине 500 м использование набрызгбетона проектной марки М 400, на глубине 600 м – набрызгбетона марки М 500, а на глубине 700 м использование в качестве элементов усиления фибр, металлической сетки и анкером.

4. Использование фибробетона в сочетании с набрызгбетоном позволяет добиться повышения устойчивости выработок, а также значительной экономии строительных материалов в результате снижения толщины крепи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография. – Д.: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
 2. Коваленко В.В. Исследование устойчивости выработки с набрызгбетонной крепью с использованием численного моделирования методом конечных элементов / Геотехническая механика: межвед. Сб. науч. Трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 91. – с. 218-225.
 3. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Шилкин П.И. Конструирование и расчет набрызгбетонной крепи. М., Недра, 1971.
- Каринцев И.Б. О предельных напряжениях при растяжении и изгибе / Вісник СумДУ. Серія Технічні науки, 2009, №1, с. 162-166.

УДК 622.333.013.3

Логунов Д.М., асп., каф. СГМ, НГУ, г. Днепропетровск, Украина

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время основными энергетическими ресурсами являются уголь, нефть и природный газ, запасы, которых хотя и огромны, но из-за интенсивной добычи заметно истощаются. Ограниченность топливных природных ресурсов с всё нарастающей остротой показывает необходимость перехода к так называемым альтернативным или возобновляемым