

УДК 622.28

Е. Б. Ростальной

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТАМПОНАЖА ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КРЕПЕЙ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С целью изучения влияния тампонажного слоя в закрепном пространстве на несущую способность комбинированной системы "крепь–тампонаж–массив" в ОАО "Кузнишахтострой" были проведены исследования работы сборных многошарнирных крепей с различными материалами забутовки методом эквивалентных материалов на примере гладкостенной тюбинговой крепи (ГТК).

Выбор эквивалентного материала модели для моделирования горной породы по прочностным свойствам осуществляли в соответствии с принятыми критериями подобия [1].

Выработку моделировали в геометрическом масштабе M 1:20. При выбранном масштабе первоначальная нагрузка, создаваемая домкратами пригрузки, подобна величине γH в натуре, тогда нагрузка на модели определялась, как

$$P_m = \frac{P_n}{L/I} = \frac{P_n}{20/1}.$$

Характеристики прочности подобранного эквивалентного материала в значительной степени зависят от способа уплотнения и величины нагрузок, поэтому определение предела прочности образцов производили после их уплотнения нагрузками, равными предварительным напряжениям в модели, т.е. $(0,5–0,6) \cdot 10^5$ Па. Как показали лабораторные испытания, по физико-механическим свойствам наиболее подходящим эквивалентным материалом является огнеупорная глина с 23,5 % содержанием влаги. Определение предела прочности материала на срез и модуля упругости проводили на образцах цилиндрической формы диаметром 56 мм и высотой 20 мм при

помощи односрезного прибора П10С [2]. По результатам испытания на срез был построен график, служащий паспортом прочности эквивалентного материала. Всего было испытано 56 образцов по 7–8 образцов для каждой нормальной нагрузки. Коэффициент сцепления эквивалентного материала, подвергавшегося предварительно уплотняющей нагрузке до $0,5–0,6 \cdot 10^5$ Па, равен $0,48–10^5$ Па, $H = 500$ м. Стабильность физико-механических свойств материала достигалась предварительным обжатием образцов в течение 20–30 мин нагрузками. Подобранный эквивалентный материал позволял имитировать слабые породы в масштабе M 1:20 со следующими физико-механическими характеристиками в пересчете на натурные данные: $C = 9,6 \cdot 10^5$ Па, $\varphi = 21^\circ$, $r_{cp} = 10–22 \cdot 10^5$ Па, $\sigma_{cjk} = 30 \cdot 10^5$ Па.

Исследования работы сборной многошарнирной крепи при забутовке закрепного пространства мелкой породой, с тампонажем закрепного пространства, а также распределение напряжений в массиве модели без крепи проводили на специально сконструированном испытательном стенде, который позволял создавать в массиве плоско-деформированное состояние с любым соотношением вертикальных и горизонтальных напряжений.

Напряжение в массиве в процессе исследований регистрировали с помощью микродатчиков конструкции ОАО "Кузнишахтострой". Микродатчик состоит из двух грузовых площадок (диаметр 26 мм, площадь сечения 5,31 см). Одна из площадок служила крышкой, другая – днищем датчика. В крышке установлен шток, который при нагружке давит на упругую пластину с наклеенными тензодатчиками с базой 10 мм и сопротивлением 100 Ом. Тензодатчики сопротивления соединены между собой в полумост, включаемый в цепь цифрового измерителя деформаций ИДЦ1. Перед помещением в модель микродатчики тарировали на рычажном прессе. Во время изготовления модели в массив кровли и бока выработки закладываются репера для измерений смещений массива, а по вертикальной и горизонтальной осям симметрии – микродатчики для измерения нормальных σ_θ (тangенциальных) и σ_r (радиальных) напряжений.

Гладкостенную тюбинговую крепь (ГТК) моделировали криволинейными блоками, изготовленными из органического стекла толщиной 10 мм, шириной 35 мм, длиной 85 мм, что соответствует тюбингу в натуре в масштабе M 1:20. В модели выработка крепится 8 кольцами крепи с расположенным обратным сводом. Для измерения напряжений в блоках крепи применяли метод тензометрии. На каждый блок (тюбинг) попарно наклеивали три тензодатчика сопротивления с базой 10 мм. Для того чтобы определить напряжения в сечениях тюбинга, производили тарировку тензодатчиков специальным прибором, в результате чего определяли коэффициент тарировки, устанавливающий взаимозависимость между относительной деформацией и изменением сопротивления тензодатчиков.

Нагрузку на крепь выработки определяли по методике проф., д.т.н. Г. А. Каткова [3].

Подготовленную к испытаниям модель дополнительно нагружали при помощи гидродомкратов до давления 20–40 атм. и выдерживали в течение 3–5 часов до полного прекращения смещений, т.е. до полного уплотнения материала.

После выдержки материала модели измеряли напряжения нетронутого массива, а затем с помощью специального приспособления проводили выработку диаметром 29 см, что соответствует сечению выработки в свету $S_{cb} = 13,3 \text{ м}^2$, в проходке $S_{np} = 23,3 \text{ м}^2$ и снова измеряли напряжения в массиве. После этого в выработке устанавливали крепь.

Для определения распределения напряжений в массиве и сравнения их с результатами теоретических исследований применительно к упругим и упругопластическим средам исследованы модели без крепи. Образование зоны неупругих деформаций в модели наступало на расстоянии 0,26 м от центра выработки, что соответствует $0,9R$ от контура выработки. При этом почти полное совпадение размеров предельных кругов Мора в паспорте прочности эквивалентного материала с величинами напряжений σ_θ и σ_r подтверждает правильность выбора эквивалентного материала и выбранных критериев моделирования.

При моделировании работы

многошарнирной крепи с забутовкой закрепленного пространства мелкой породой после сооружения выработки модель крепи, состоящая из блоков, устанавливалась в подготовленную полость отдельными кольцами. Кольцо после его установки тщательно заполнялось мелкими кусками сухой неупругой глины. Тензометрические элементы крепи устанавливались в центре модели двумя полными кольцами.

Для оценки несущей способности системы "крепь–забутовка– массив" нагружение массива модели осуществляли ступенчато, вплоть до разрушения крепи. Ступень нагружения модели равнялась $0,56 \cdot 10^5 \text{ Па}$. С целью исключения явления ползучести эквивалентного материала после каждого нагружения модель выдерживали под этой нагрузкой в течение трех часов и только после этого производили замер напряжений в модели и в элементах крепи.

В результате испытания данной модели крепь потеряла свою устойчивость при внешней нагрузке: по вертикальной оси $P = 1,68 \cdot 10^5 \text{ Па}$, по горизонтальной оси $P = 1,12 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Коэффициент бокового давления при этом составил $\lambda = 0,66$. Максимальные напряжения в массиве на контуре выработки составили: в кровле $\sigma_r = 0,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\sigma_\theta = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

На графиках распределения

напряжений в массиве на момент разрушения крепи (рис. 1, а) видно, что напряжения на контуре выработки в момент потери ее устойчивости выросли на $0,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, то есть на 10 % по сравнению с незакрепленной выработкой, в то же время размер зоны неупругих деформаций уменьшился на 8 см, или на 32,5 %.

В соответствии с методикой проведения исследований одновременно с измерениями напряжений в массиве модели проводили измерения напряжений в элементах крепи на каждой стадии (ступени) нагружения модели: I ступень $1,12 \cdot 10^5 \text{ Па} / 1,12 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\lambda = 1$; II ступень $1,68 \cdot 10^5 \text{ Па} / 1,68 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\lambda = 0,66$. Разрушение модели произошло на II ступени нагружения. При моделировании работы многошарнирной крепи с тампонажем закрепленного пространства аналогично предыдущей модели при ее испытании измеряли напряжения в массиве до нагрузки на модель, равной $\sigma_m = 2,24 \cdot 10^5 \text{ Па} / 1,12 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Коэффициент бокового давления при этом составил 0,44. Как показывают результаты расчетов, наиболее благоприятные условия работы многошарнирной крепи достигаются при коэффициенте бокового давления $\lambda = 1$. В данном случае многошарнирная крепь находилась в менее благоприятных условиях, чем в предыду-

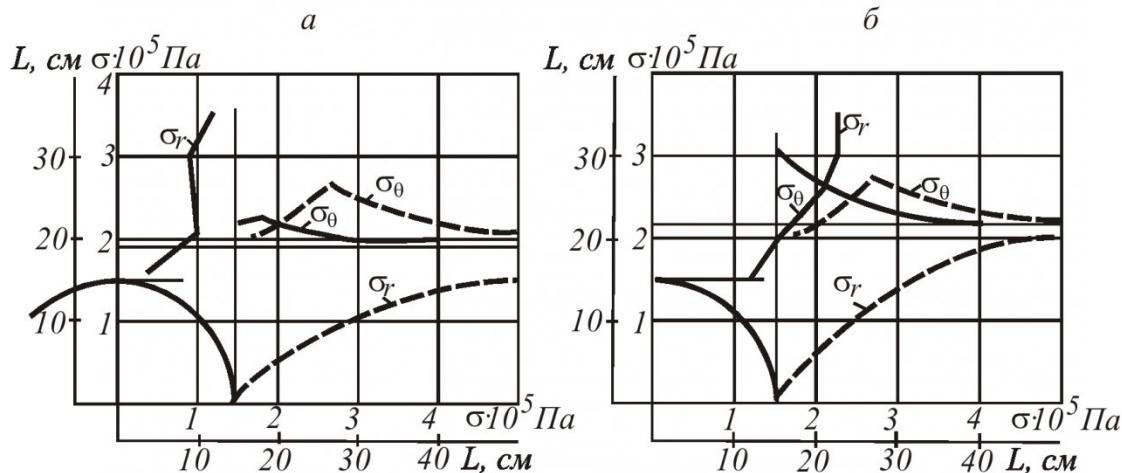


Рис. 1. Графики распределения напряжений в массиве, закрепленной многошарнирной крепью с забутовкой закрепленного пространства мелкой породой (а) и тампонажом (б):
— незакрепленная выработка; — крепь ГТК с забутовкой породной мелочью

щем случае, так как при испытании крепи с забутовкой породной мелочью $\lambda = 0,66$. В отличие от модели крепи с забутовкой закрепного пространства породой в данном случае разрушение крепи не наблюдалось даже при приложении к ней нагрузки со стороны массива, превышающей прежнюю на 34 % (максимальные напряжения на контуре выработки в боках составили $3 \cdot 10^5$ Па) без образования зоны неупругих деформаций. Измерение напряжений в крепи показывает, что тампонаж закрепного пространства обеспечивает более равномерное распределение нагрузок по периметру крепи, чем при креплении выработок с забутов-

Результаты измерений нагрузок на крепь

Место проведения измерений	Средняя нагрузка крепь (10) Па, при которой выработка теряет устойчивость		P_m/P_3
	С тампонажем закрепного пространства P_m	С забутовкой породной мелочью P_3	
в кровле	1,66	0,68	2,44
в боках	2,65	1,51	1,77
в почве	1,96	1,09	1,83
по периметру			2,13

кой мелкой породой. Графики распределения напряжений в массиве приведены на рис. 1.

Результаты измерений нагрузок на крепь в модели приведены в таблице.

Согласно данным, таблицы, выработка, закрепленная кре-

пью ГТК с забутовкой мелкой породой, теряет устойчивость при нагрузках на крепь в среднем в 2,13 раза меньших, чем при креплении крепью ГТК в сочетании с тампонажом закрепного пространства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Г. Н. Моделирование проявлений горного давления. – М. : – Недра, 1978.
2. Катков, Г. А. Исследование горного давления с применением фотоупругих элементов. – М. : – Недра, 1978. – 131 с.
3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации: Прибор для испытания грунтов на сдвиг П10С. – М. : Внешторгиздат, 25489/75 (4953).

□ Автор статьи:

Росстальной
Евгений Борисович
– соискатель кафедры теоретической
и геотехнической механики

УДК 622.33: 550.372

Е. Б. Росстальной

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Инъекционное укрепление приконтурного слоя пород приводит к формированию несущего слоя, способного обеспечивать устойчивость выработки. Применение инъекционного упрочнения в сочетании с традиционными видами крепи (бетонной, арочной металлической, анкерной и др.) в целом ряде случаев способствует оптимизации затрат на поддержание выработок в устойчивом состоянии [1].

Технология управляемого

инъектирования горных пород и создания тем самым вокруг выработки несущей оболочки из зацементированного массива включает бурение скважин, определение распределения по скважине поглощающей способности пород, искусственное изменение гидродинамического сопротивления пород пропорционально поглощающей способности и нагнетание цементного раствора в скважины. Данная технология позволяет обеспечить равномерное распро-

странение раствора от нагнетательной скважины в породном массиве с неоднородной трещиноватостью, что способствует повышению качества инъектирования. Данный метод управления состоянием массива трудоемок, поскольку требует большого объема буровых работ, измерений поглощающей способности пород и изменения их гидродинамического сопротивления. При этом тампонирование пород, как правило, ведут параллельно с установкой обыч-