

УДК 622.284.7

В.А. Ткачѐв, А.Ю. Прокопов, В.Е. Толкачев

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБЧАТОГО
АНКЕРА ФРИКЦИОННОГО ТИПА
В МАССИВЕ ПОРОД**

С использованием метода конечных элементов, определен характер взаимодействия трубчатого анкера для трех массивов горных пород с определенными свойствами. В результате проведенных исследований взаимодействия трубчатого анкера с массивом пород, получена диаграмма радиальных напряжений на контуре трубчатого анкера. Выведена аналитическая зависимость для определения усилия закрепления анкера в массиве пород.

Ключевые слова: метод конечных элементов, трубчатый анкер, массив горных пород, диаграмма радиальных напряжений.

В последние годы на угольных шахтах России испытывается трубчатая анкерная крепь. Такая крепь отличается простотой изготовления и установки, а также более высокими технико-экономическими показателями в сравнении с традиционными типами анкеров. Однако в настоящее время не существует научно-обоснованных методов определения параметров трубчатых гидрораспорных анкеров. Принцип работы анкера в шпуре - фрикционный. Установка анкера осуществляется подачей воды (под давлением до 20 МПа) в полость анкера с последующим его снятием.

Для расчета параметров крепления горной выработки трубчатыми анкерами необходимо знать их несущую способность, которая определяется следующими факторами: прочностью самого анкера на разрыв и силой закрепления анкера в шпуре.

Первый параметр легко определяется и зависит от материала анкера и площади поперечного сечения. Второй параметр определяется, исходя

из площади контакта анкера с породой, коэффициента трения стали по породе и действующих со стороны породных стенок шпура радиальных напряжений.

Следовательно, конечная цель теоретического исследования - определить радиальное давление породы на трубу анкера после снятия внутреннего давления.

Для выработки количественной оценки несущей способности трубчатого анкера методом конечных элементов (МКЭ) исследовался характер взаимодействия данного анкера с окружающим массивом на двух стадиях его установки: при подаче давления воды ($P = 20 \text{ МПа}$) и после его снятия.

Решалась объемная задача. Для расчета принят цилиндрический массив длиной 1050 мм и диаметром 400 мм с центральным шпуром, диаметр которого 40 мм. Весь массив был разбит на 359 элементов, из которых 80 элементов принадлежат анкеру. При такой дискретности модели количество решаемых независимых

уравнений равно 3174 и столько же неизвестных.

В результате расчетов были получены продольные перемещения точек анкера; эпюры нормального давления на анкер со стороны массива; эпюры радиальных нормальных напряжений по глубине массива; усилия, возникающие в опорной плитке. Все перечисленные переменные получены при давлении жидкости в полости анкера 20 МПа и после его снятия.

Проведенные исследования показали, что после снятия давления в полости анкера происходит перераспределение напряженного состояния как анкера, так и окружающего массива. Массив "возвращает" полученную энергию и, воздействуя на анкер, удерживает его в шпуре. Величина радиальных напряжений по сечению анкера составляет от 4 до 22 МПа.

Данные исследования были проведены на объемной модели которая имеет как достоинства, так и недостатки, связанные с ограниченными возможностями пакета программы для ЭВМ по количеству обрабатываемых элементов.

Кроме того, проведенные ранее исследования не дали ответа на такой важный вопрос - как зависит величина радиальных напряжений на контуре трубчатого анкера от физико-механических свойств пород.

Для этой цели проведены исследования влияния физико-механических свойств горных пород на величину радиальных напряжений и закономерности их распределения по контуру трубчатого анкера.

Исследования проводили методом конечных элементов. Решалась плоская задача для трех массивов горных пород со следующими свойствами:

1. $E = 0,32 \cdot 10^5$ Мпа; $\mu = 0,2$;

$G = 0,133 \cdot 10^5$ Мпа

2. $E = 0,50 \cdot 10^5$ Мпа; $\mu = 0,21$;

$G = 0,206 \cdot 10^5$ Мпа

3. $E = 0,75 \cdot 10^5$ Мпа; $\mu = 0,11$;

$G = 0,337 \cdot 10^5$ Мпа

Массив и анкер был разделен на элементы - массив на 684 элемента, а анкер на 38 элементов. С помощью программы, на основе МКЭ, с учетом принятых граничных условий и механических свойств материалов анкера и массива, по заданному давлению жидкости внутри анкера $P = 20$ МПа, определялись перемещения всех узловых точек, напряженно-деформированное состояние массива и анкера, а также усилия в закрепленных угловых точках (прямая задача).

Обратная задача заключалась в том, что задавалась реакция массива в виде распределенного давления на анкер, получаемого при решении прямой задачи. При этом связь контура анкера и массива оставалась прежней, материал анкера для всех его элементов принимался однородным и имел значения:

$E = 2,1 \cdot 10^5$ Мпа; $\mu = 0,3$;

$G = 0,8 \cdot 10^4$ Мпа

На этих условиях рассчитывалось напряженно-деформированное состояние массива и анкера и усилия в заземленных узлах при нулевом давлении внутри анкера. Далее, используя принцип суперпозиции определялось результирующее перемещение и напряжения в узлах, имеющие место после снятия давления.

В результате расчетов на ЭВМ были получены $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$ во всех узлах массива и анкера. После дальнейшей их обработке была получена диаграмма радиальных напряжений на контуре трубчатого анкера, в результате его взаимодействия с массивом пород после снятия давления в по-

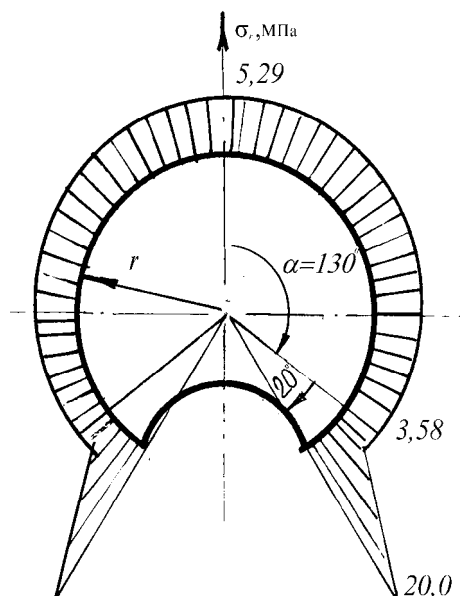


Рис. 1. Эпюра распределения радиальных напряжений по контуру трубчатого анкера

лости анкера. Аналогичный расчет был проведен по всем трем вариантам исходных условий.

Анализ полученных результатов расчета показал, что распределение радиальных напряжений на контуре анкера одинаковое для всех трех вариантов массивов горных пород.

Полученные результаты исследований позволили сделать вывод о том, что радиальные напряжения на контуре трубчатого при подаче в него давления жидкости зависят от физико-механических свойств вмещающих пород. Однако после снятия давления в полости анкера их величина и характер распределения не зависят от свойств вмещающих пород, а зависят только от физико-механических свойств материала трубчатого анкера.

На рис. 1 приведена эпюра радиальных напряжений на контуре анке-

ра после снятия давления в его полости.

Анализ данной эпюры показывает, что величина этих напряжений у профилированной части резко возрастает. Это объясняется повышением жесткости конструкции в данных местах анкера и соответственно его "реагирования" на массив горных пород.

С технологической точки зрения для расчета трубчатой анкерной крепи необходимо иметь величину усилия закрепления анкера в массиве горных пород.

Согласно закона Кулона усилие закрепления анкера может быть рассчитано по формуле:

$$F_{\text{зак}} = f \cdot g \cdot l, \text{ Н}$$

где: f - коэффициент трения материала анкера по массиву пород; g - интенсивность нормального усилия по контуру сечения анкера, МПа; l - длина дуги на которой действуют напряжения, м.

Как видно из рис. 1, результирующая эпюра напряжений состоит из двух частей σ_{r1} - на участке от $\alpha = 0$ до $\alpha = 130^\circ$ и σ_{r2} на участке от $\alpha = 130^\circ$ до $\alpha = 150^\circ$.

Изменение радиальных напряжений по контуру анкера в зависимости от дуговой координаты "S" представлены на рис. 2.

Зависимость $\sigma_{r1} = f(S)$ подобрана на ЭВМ с высокой точностью методом парной корреляции (коэффициент корреляции $R=0.9$) и имеет вид:

$$\sigma_{r1} = 5,29 - 1027 \cdot S^2 + 5,7 \cdot S, \text{ МПа}$$

гд: S - дуговая координата, $S = \alpha \cdot r$, м; угол α изменяется в пределах от $\alpha = 0$ до $\alpha_1 = 2,27$ радиан.

Интенсивность нормального усилия на анкер равна площади ограниченной

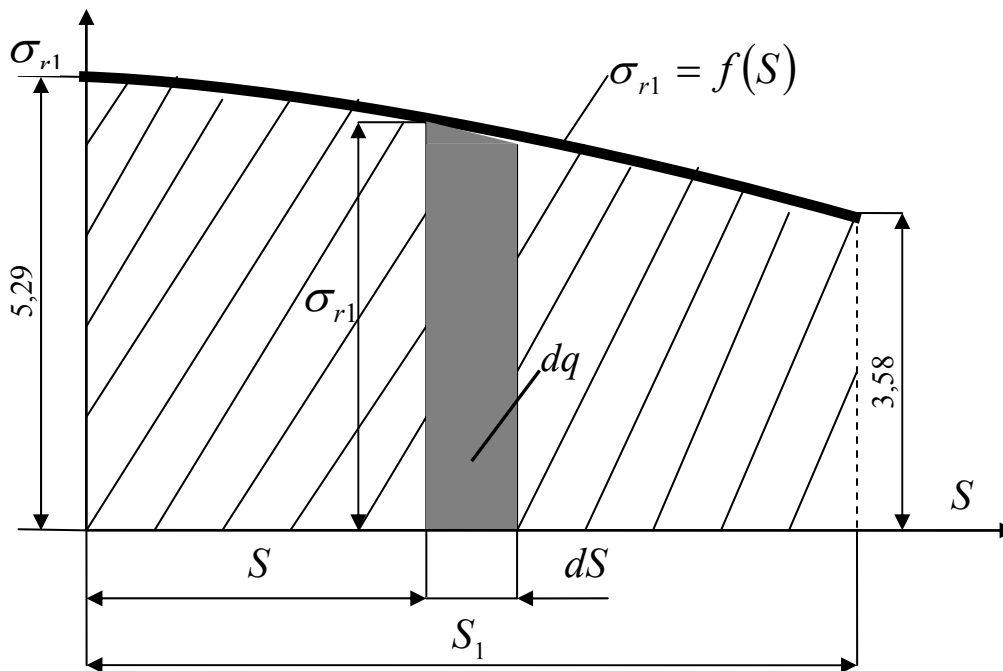


Рис. 2. Изменение радиальных напряжений в зависимости от дуговой координаты S

осью S и кривой $\sigma_{r1} = f(S)$, а также ординатами $S=0$ и $S=2,27r$.

Значения результирующей интенсивности на участке от $\alpha=0$ до $\alpha=130^\circ$ получим путем интегрирования:

$$g_1 = \int dq = \int \sigma_r dS$$

Выразим интенсивность нормального усилия на анкер через его радиус (r):

$$g_1 = \int \sigma_r r d\alpha$$

$$g_1 = \int_0^{\alpha_1} \sigma_{r1} d\alpha =$$

$$= r \cdot 10^\sigma \int_0^{\alpha_1} (5,29 - 1027 \cdot S^2 + 5,7 \cdot S) d\alpha$$

или

$$g_1 = r \cdot 10^6 \int_0^{\alpha_1} (5,29 - 1027r^2 \alpha^2 + 5,7r\alpha) d\alpha$$

проинтегрировав это выражение получим:

$$g_1 = r \cdot 10^6 \left(5,29\alpha_1 - 1027r^2 \frac{\alpha_1^3}{3} + 5,7r \frac{\alpha_1^2}{2} \right) \int_0^{\alpha_1=2,27}$$

или

$$g_1 = r \cdot 10^6 (12 - 4000r^2 + 14,7r), \text{ Н/М}$$

На участке от $\alpha=130^\circ$ до $\alpha=150^\circ$ величина интенсивности нормального усилия на анкер определяется по формуле:

$$g_2 = r \sin 10^\circ \cdot 20 \cdot 10^6 = r 0,1736 \cdot 20 \cdot 10^\sigma = 3,427 \cdot 10^\sigma r, \text{ Н/М}$$

Результирующая интенсивность нормального усилия по всему сечению анкера будет равна:

$$g = 2(g_1 + g_2) = \\ = 2 \cdot 10^6 r (15,472 - 4000r^2 + 14,7r), \text{ Н/М}$$

Окончательно формула для определения усилия закрепления имеет вид:

$$F_{\text{кр}} = 2 \cdot 10^6 f \cdot r \cdot l \times \\ \times (15,47 - 4000 \cdot r^2 + 14,7 \cdot r), \text{ Н}$$

При $r = 0.02$ м, $l = 1$ м, $f = 0.18$; $= 101980$ Н = 10,2 т/с.

Промышленная проверка результатов исследования была проведена на шахте "Майская" где был закреплен экспериментальный участок трубчатой анкерной крепью, с параметрами определенными согласно приведенных расчетов. Участок выемочного штрека протяженностью 50 м сохранял свою устойчивость и после прохода лавы. **Таб**

Коротко об авторах

Ткачев В.А. – доктор технических наук, профессор, ШИ ЮРГТУ (НПИ), тел/факс 8(8636)22-20-36, 22-30-88.

Прокопов А.Ю. – кандидат технических наук, доцент, ШИ ЮРГТУ (НПИ), E-mail: prokopov72@rambler.ru

Толкачев В.Е. – аспирант, ЮРГТУ (НПИ), E-mail: vtolkachev@rambler.ru



ПРЕПРИНТ

ОТДЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

Евсеев А.А. Минералы — спутники на расстоянии (2): Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технический журнал). — 2009. — № 12. — 35 с.— М.: Издательство «Горная книга»

На материале важных минералогических находок (крупных кристаллов, редких видов и др.) рассматриваются новые примеры минералов, которые встречаются на значительном расстоянии друг от друга, но в одних районах мира. Адресовано геологам, геохимикам, минерологам, сотрудникам музеев, коллекционерам.

Evseev A.A. MINERALS — PARTNERS ON DISTANCE (2)

On a material of the important mineralogical finds (large crystals, rare species, etc.) new examples of minerals which can be found on considerable distance from each other, but in one areas of the world are considered. This work is addressed to geologists, geochemists, mineralogists, museums' employees, collectors.