ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.241.54

Н. В. Черданцев

УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ В РАЙОНЕ ТРЁХСВОДЧАТЫХ СТАНЦИЙ КОЛОННОГО ТИПА

Устойчивость сопряжений горных выработок или нагрузка на их крепь оценивается обычно с применением понятия эквивалентного пролета, т.е. устойчивость сопряжения считается эквивалентной устойчивости протяженной выработки некоего пролета [1], который определяется полуэмпирическим методом. Известно, однако, что трехмерное напряженное состояние горных пород, вмещающих сопряжения, как правило, является менее разрушающим, чем соответствующее плоское, поэтому необходимо уметь его вычислять.

Здесь полагается [2], что горные породы, как среда, имеющая упорядоченные поверхности ослабления, разрушается, прежде всего, по этим поверхностям. Поэтому введено понятие «зоны нарушения сплошности» – области, где условие прочности по этой поверхности не соответствует условию Кулона, в котором «трение» должно быть заменено на «внутреннее трение»

$$\tau_{n.} \le \sigma_n n + K, \qquad (1)$$

где τ_n и σ_n - касательное и нормальное напряжения по поверхности ослабления, n и K- коэффициенты внутреннего трения и сцепления поверхностей ослабления.

Рассмотрим напряжённое состояние в области сопряжения трёхсводчатой станции колонного типа с двумя параллельными перегонными тоннелями сводчатого поперечного сечения, (рис. 1) и сформулируем задачу о напряжённом состоянии вокруг выработок следующим образом: на бесконечности действуют вертикальные $\sigma_3^\infty = \gamma H$, горизонтальные напряжения $\sigma_1^\infty = \sigma_2^\infty = \lambda\gamma H$, где λ - коэффициент бокового давления.

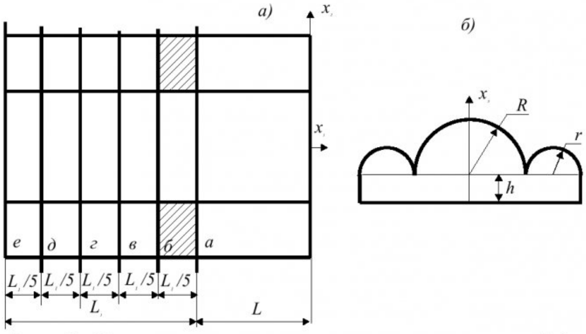

Рис. 1. Схема сопряжения станции и тоннелей (а -заштрихованная область усиленного проявления горного давления, б- сечение трёхсводчатой станции)

Для решения задачи использован метод граничных интегральных уравнений [3].

Напряжения от компенсирующей нагрузки, прилагаемой к поверхности полости определяются интегрированием решения Кельвина о силе в бесконечном пространстве в пределах этой поверхности, в результате чего условия на поверхности приводятся к интегральному уравнению [3]:

$$\frac{1}{2}a_q(Q_0) - \iint\limits_O \Phi_{qm}(Q_0, M_0)a_m(M_0)dO_{M_0} = \qquad (2)$$

$$= n_q(Q_0)\sigma_{qq}^\infty - F_q(Q_0)$$

(интегрирование вдоль поверхности полости).

В уравнении (2) $\Phi_{qm}(Q_0,M_0)$ - тензор влияния определяется как [3]. Здесь индексы q, m, t = 1, 2, 3 -номера координатных осей, Q_0 и M_0 – соответственно точки на компенсирующей поверхности и граничной поверхности исследуемой полости, R - расстояние между точками Q_0 и M_0, σ^∞_q - тензор напряжений на бесконечности, O - площадь поверхности полости, n_q, n_m - направляющие косинусы внешних к поверхностям нормалей в точках Q_0, M_0.

Уравнение решается численно. Сначала поверхность полости заменяется конечным числом N плоских элементов и интеграл заменяется суммой [3]. Затем производится интегрирование по каждому элементу, при этом считается, что в пределах элемента интенсивности a и F постоянны. В результате интегральное уравнение (2) заменяется следующими N векторными уравнениями:

$$\frac{1}{2}a^*_{q.i} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\ne i}}^{N} \Phi_{qm.ij}a^*_{m.j}\Delta O_i = n_{q.i}t^\infty_{qq.i} - F^*_{q.i}, \qquad (3)$$

где i номер точки на поверхности полости, в которой формулируется граничное условие, j - номер текущей точки на поверхности полости, а суммирование производится по всем точкам компенсирующей поверхности. Если компенсирующая поверхность и граничная поверхность полос-

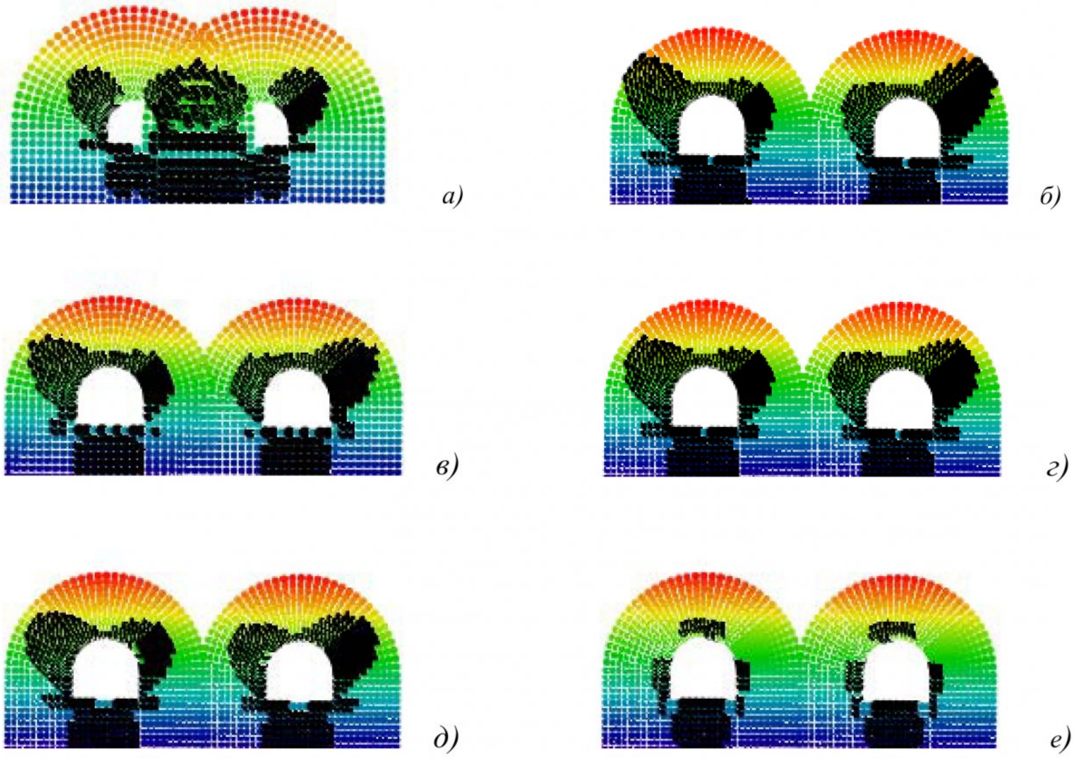

Рис. 2. Зоны нарушения сплошности в разных сечениях тоннелей (рис. 1)

ти совпадают, то за исключением $j = i$. В уравнении (3) (и далее) индексы тензоров и векторов отделены точкой от индексов точек полости.

После решения уравнений (3) относительно $a_{q.j}$ можно определить тензор напряжений σ_{qm} в любой точке i массива, используя принцип суперпозиции:

$$\sigma_{qm.i} = \sigma_{qmt.ij} a^{*}_{t.j} + \sigma^{\infty}_{qq.i}.$$

Здесь σ_{qme} - тензор напряжений от единичной нагрузки (тензор Кельвина), определяемый как [3].

Разрушенные области или зоны нарушения сплошности (ЗНС) вокруг сопряжения находятся как совокупность точек, в которых произошло разрушение поверхностей ослабления пород по критерию прочности (1).

Рассмотрен пример сопряжения тоннелей круговой сводчатой формы с трёхсводчатой круговой станцией в гидростатическом поле напряжений (λ=*1*) с горизонтальными поверхностями ослабления, для которых принят коэффициент сцепления K=0 и угол внутреннего трения φ=20^0.

На рис.1 приведена схема расчетной области. Приняты следующие параметры тоннелей и станции : R=2 , r=1, h=1, L=4, L_1=7.

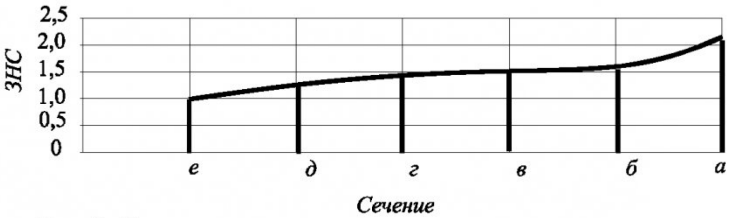

Рис. 3. Изменение вертикального размера зоны нарушения сплошности по длине тоннелей (рис. 1)

На рис.2 приведены зоны нарушения сплошности в характерных сечениях расчетной области.

На рис.3.приведен график зависимости относительного вертикального размера ЗНС от места сечения тоннелей.

Выводы

1. Размер зоны нарушения сплошности в месте перехода станции в тоннели в полтора раза выше зон нарушения в средних сечениях перегонных тоннелей.

2. Активное проявление горного давления на область тоннелей, размером в одну пятую длины тоннеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Широков А.П., Писляков Б.Г.* Расчет и выбор крепи сопряжений горных выработок. - М.: Недра, 1988.-214 с.

2. *Изаксон В.Ю*. Методы расчета устойчивости выработок, пройденных комбайнами, в условиях Куз-

басса. - Дисс.докт.техн.наук, ИГД СО АН СССР, Новосибирск: 1975. - 361
3. *Лурье А. И.* Теория упругости. - М.: Наука. - 1970. -940 с.

Автор статьи:
Черданцев
Николай Васильевич
- канд. техн. наук, докторант каф. строительства подземных сооружений и шахт

УДК 519. 21

А.В. Бирюков

О ГИПОТЕЗЕ САДОВСКОГО

Изучая эмпирические распределения размера естественных отдельностей (от пылинок до планет), академик М.А. Садовский обнаружил, что моды распределений образуют геометрическую прогрессию со средним значением знаменателя, равным трем [1-3]. Эта закономерность нашла теоретическое обоснование в работах академиков Е.И. Шемякина, С.Н. Журкова и др. [4-5]

Гипотеза Садовского может быть положена в основу классификации породных массивов по естественной блочности, где классификационным признаком служит мода распределения размера структурных блоков в массиве. Поскольку эмпирические распределения размера блоков близки к симметричным, то моды распределений в каждом классе практически совпадают со средними значениями размера.

Пусть n - число классов, а m – отношение наибольшей моды к наименьшей. Тогда для геометрической прогрессии со знаменателем 3 имеем:

$$m=3^{n-1},\ n=1+\log_3 m .$$

Существующая классификация пород по естественной блочности весьма субъективна и неоправданно завышает число выделенных классов.

Так для рудных месторождений со средним размером блоков от 0,1 м до 1,2 м выделяют пять категорий пород [6]. Аналогичная по числу категорий классификация предложена и для вскрышных пород угольных месторождений со средними размерами блоков от 0,2 м до 1,8 м [7]. Пользуясь полученной оценкой числа классов, в первом и втором случаях получим соответственно n=3.25~3 и n≈3, что дает трехкатегорийные классификации.

Наряду со средним размером блоков используют также и другой классификационный признак – удельную площадь поверхности блоков, т. е. отношение суммарной площади поверхности к суммарному объему блоков. Поэтому рассматриваем два основных типа естественной трещиноватости породных массивов – хаотическую и системную. Первая из них характерна для рудных месторождений, а вторая – для осадочных пород угольных месторождений.

Математической моделью хаотической трещиноватости служит разбиение пространства пуассоновским множеством плоскостей с параметром λ, равным среднему числу плоскостей, пересекающих произвольно ориентированный отрезок единичной длины. В этом случае известно [8], что средняя площадь поверхности и средний объем блока равны соответственно $24/\pi\lambda^2$, $6/\pi\lambda^3$, откуда непосредственно находим значение удельной площади поверхности блоков, равное 4λ.

Из определения λ следует, что его значение легко найти замерами на обнажениях пород. При этом величина $1/\lambda$ равна среднему расстоянию между трещинами в произвольном направлении.

Следовательно, исходя из гипотезы Садовского, величина 4λ при классификации пород образует геометрическую прогрессию со знаменателем 1/3. Так для трехкатегорийной классификации при λ, равных 5, 5/3, 5/9 (1/м), и значениях средней крупности блоков 1/5, 3/5, 9/5 (м) их удельная площадь поверхности составляет соответственно 20, 20/3, 20/9 (1/м).

Для системной трещиноватости осадочных пород характерно наличие трех систем трещин, включая трещины наслоений. В этом случае структурные блоки имеют форму, близкую к прямоугольному параллелепипеду, у которого наименьшее ребро соответствует мощности слоя осадконакопления.

Статистика результатов измерений системной трещиноватости вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса показывает, что длины ребер структурного блока находятся в среднем соотношении 1:1,5:2. При этом средняя площадь поверхности и средний объем блока равны $12x^2$ и $3x^3$, а удельная площадь поверхности блоков - $4/x$, где x - среднее значение наименьшего размера блока.

Как видим, структура последней характеристики аналогична выше рассмотренной, где роль параметра λ играет величина, обратная средней мощности слоев осадконакопления.