

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД ТУННЕЛЯ АРПА-СЕВАН

Целью работы является разработка методики исследования и измерения напряжений в горных породах в туннеле Арпа-Севан. Даны способ установки динамометров в породе, их совместная работа и сравнение полученных результатов с расчетными.

Ключевые слова: напряжение, горные породы, туннель, динамометр, бурение скважин

Напряжения в горных породах имеют важное значение как для оценки прочности и устойчивости породного массива, так и для строительства надземных и подземных сооружений. Наиболее простым методом определения этих напряжений являются методы разгрузки – исследования деформаций при полном или частичном разгрузении горной породы с последующим переходом по формулам теории упругости к напряжениям. Таким образом, эти методы требуют знания модуля деформации породы, что вносит некоторые неточности в результаты измерения. Модуль деформации, определяемый лабораторным путем на кернах выбуренной породы, отличается от модуля деформации массива породы. Отмечается общий недостаток методов разгрузки и малая база измерения тензомерами [1].

Силовые методы измерения напряжений не требуют определения модуля деформации породы. К ним относятся компенсационный метод и предлагаемый нами метод последовательного бурения скважин с установкой динамометров [2, 3].

Компенсационный метод требует обнажения широкой полости в горной породе для установки гидравлического домкрата. Это связано с возникновением перенапряжений и возможным нарушением структуры горной породы в месте измерения, что искажает результаты исследования. Кроме того, этот метод служит только для измерения сжимающих напряжений.

Представляет интерес предлагаемый нами метод (рис.1, 2), согласно которому бурятся две параллельные скважины в плоскости измерений с зазором 5 см. В скважинах цементируют динамометры в виде металлических двутавров с тензомерами сопротивления. На следующем этапе разбуривают прорезы в породе, для чего удаляют целик породы между динамометрами и формируют скважины по краям динамометров. В породе образуется узкая щель, распертая динамометрами, которые загружаются напряжениями в породе. Таким образом выработанная порода заменяется стальной площадкой из динамометров. Отличительной особенностью метода является такая последовательность работ, чтобы при бурении скважин не оставались в породе полости, не подкрепленные динамометрами. Благодаря этому, при высокой жесткости динамометров не создается сколь-либо существенного нарушения породного массива.

Рассмотрим последовательность работ при методе динамометрического разреза (рис.1). В первую очередь пробуривается скважина 1 до заданной глубины. Вокруг скважины происходит концентрация тангенциальных напряжений и снижение радиальных напряжений до 0 у стенки скважины. Составим эпюру вертикальных напряжений для различных точек вертикального столбца

породы, расположенного по оси Y (рис. 2). Эти напряжения быстро выравниваются при удалении от стенки вглубь массива и приходят к первоначальному значению. Далее в скважину устанавливается динамометр 2 и цементируется. В заданной плоскости измерений пробуривают скважину 3, соседнюю с первой и пересекающую частично поперечное сечение первой скважины. При этом происходит концентрация напряжений в массиве породы вокруг этой скважины, а динамометр 2 получает некоторую загрузку со стороны массива горной породы. После цементации динамометра 4 пробуривают скважину 5, лежащую в плоскости измерений по другому борту первого динамометра и устанавливают другой динамометр. Аналогично пробуривают очередную пару скважин.

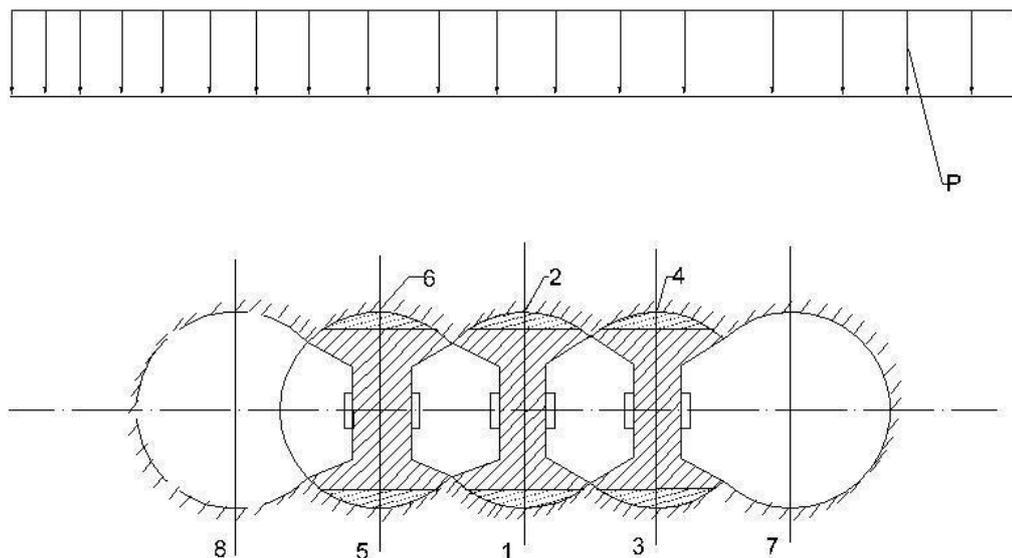


Рис.1. Динамометрический разрез

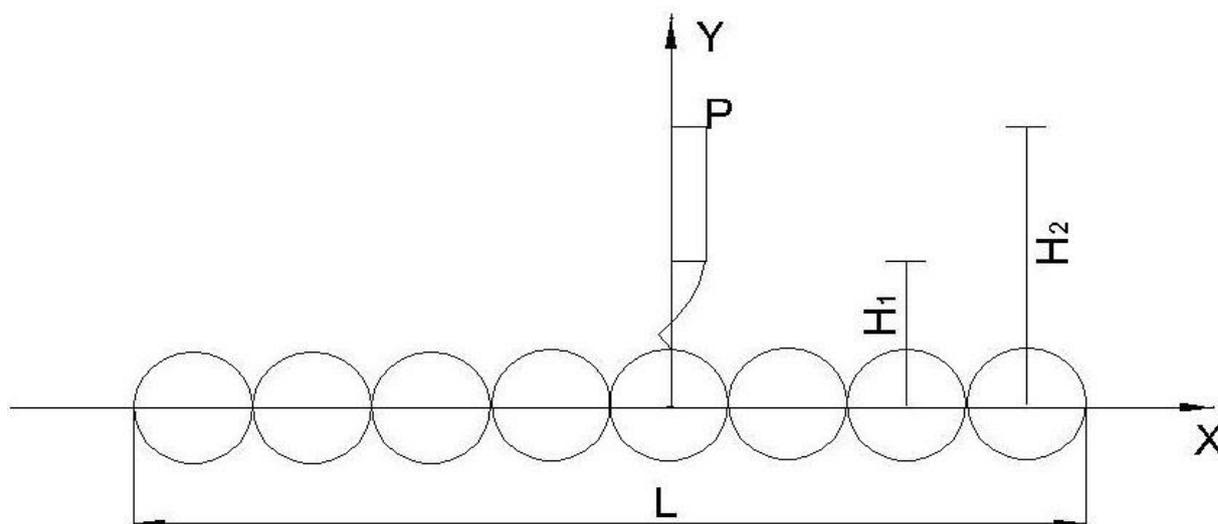


Рис.2. Этюра вертикальных напряжений

Активная толща, загружающая динамометр 2, постепенно возрастает, вовлекая в работу новые пласты массива бетона, отдаленные от плоскости разбуриваемых скважин. Будет возрастать и нагрузка на динамометр 2 до тех пор, пока разбуривание новой пары скважин по краям зоны измерений уже не даст эффективного результата.

В породе, не имеющей чрезмерных напряжений, можно ограничиться установкой динамометров с перерывами, т.е. буровые скважины могут лишь касаться друг друга, или даже можно оставить часть скважин пустыми. В этом случае целесообразно применять такую последовательность в расположения скважин, когда при первоначальном бурении остаются целики породы между скважинами, разбуриваемые во вторую очередь. Очевидно, чтобы повысить точность измерения нужно увеличить размеры измерительной площадки с целью включить в работу значительный объем массива. Для выяснения точности этого метода необходимо провести теоретический анализ вопроса. В случае невысокой точности измерений надо разработать меры для повышения эффективности метода.

Характерно также, что при достаточно больших размерах измерительной площадки в работу вовлекаются элементы массива, существенно отдаленные от места бурения. Таким образом, фактическая активная зона горной породы, влияющая на результаты измерения, может во много раз превышать диаметр разбуриваемых скважин. Это разрешает применять наш метод, названный методом динамометрического разреза, и в неоднородной породе типа конгломерата и для бетонных обделок туннелей. При одноосном напряженном состоянии упомянутая плоская прорезь, снабженная динамометрами, была пополнена по краям двумя вертикальными прорезями, но без установки в них приборов. Прорезь имела очертание буквы “Н”.

По мере расширения фронта бурения, активная зона горной породы, загружающая динамометр, постепенно возрастает, вовлекая в работу новые пласты горной породы, отдаленные от плоскости разбуриваемых скважин. Будет возрастать и нагрузка на динамометр, пока разбуривание новой пары скважин по краям зоны измерений не даст эффективного результата.

Как показали проведенные расчеты, этот метод требует от пяти до семи скважин. При использовании предложенного метода измерения динамометрами не могут быть включены в результаты эксперимента и должны были быть пересчитаны для определения напряжений в породе. Необходимо ввести поправку на изменения поля напряжения и при бурении опытных скважин. После образования опытного отсека часть потенциальной энергии теряется на обжатию цементного раствора, которым закрепляется динамометр в скважине. Кроме этого, часть энергии затрачивается на деформацию корпуса динамометра. Величина этих поправок зависит от условий опыта. Применительно к динамометру в виде двутавра, расположенного в скважине диаметром 50 мм, нами сделаны теоретические подсчеты. Величина поправочного коэффициента будет зависеть от жесткости динамометров и числа скважин, образующих как горизонтальную, так и вертикальную прорезь и др. факторов. По этим формулам найдены поправочные коэффициенты (табл.1).

Условимся называть коэффициентом измерения соотношение величины $\sigma_{дин}/P$. При этом необходимо увеличить высоту активной зоны, загружающей динамометры. Это достигается при помощи вертикальных прорезей, расположенных по концам горизонтальной щели. Общий контур аналогичен букве “Н”.

В табл. 2 приведено соотношение измеренного напряжения к первоначальному при различных величинах модуля деформации стали и массива на основании формулы:

$$\sigma_{\text{дин}} = \frac{E_{\text{ст}(2-\mu^2)}}{E} \cdot \frac{n - 1,29}{7,84 + (2 - \mu^2)n \frac{E_{\text{ст}}}{E}} P.$$

Таблица 1

Измеренные динамометрами напряжения в отношении к фактическому. Случай одноосного равномерного поля напряжений при плоской прорези при толщине стенки двутавра 16 мм

| Отношение модулей деформаций материала динамометра и массива, $E_{\text{ст}}/E$ | Коэффициент Пуассона, $\mu = 0,2$ | | | |
|---|-----------------------------------|------|------|------|
| | Число скважин | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 15 |
| 1 | 0,15 | 0,28 | 0,37 | 0,58 |
| 2 | 0,24 | 0,40 | 0,52 | 0,71 |
| 5 | 0,36 | 0,56 | 0,68 | 0,82 |
| 10 | 0,45 | 0,64 | 0,73 | 0,86 |
| 20 | 0,50 | 0,68 | 0,77 | 0,89 |
| 50 | 0,53 | 0,72 | 0,80 | 0,90 |

Таблица 2

Соотношение измеренного напряжения к первоначальному

| Отношение модулей деформаций стали и массива, $E_{\text{ст}}/E$ | Коэффициент Пуассона, $\mu = 0,2$ | | | |
|---|-----------------------------------|------|------|------|
| | Число скважин, n | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 15 |
| 1 | 0,33 | 0,48 | 0,58 | 0,76 |
| 2 | 0,47 | 0,63 | 0,70 | 0,84 |
| 5 | 0,61 | 0,75 | 0,81 | 0,91 |
| 10 | 0,69 | 0,8 | 0,86 | 0,93 |
| 20 | 0,73 | 0,84 | 0,88 | 0,94 |

Сравним результаты Н-образной прорези и плоской. Способ Н-образного разреза при одном и том же числе горизонтальных скважин, т.е. скважин, где установлены динамометры, дает результат, значительно более приближающийся к начальному напряжению, чем плоский разрез (табл. 3).

Коэффициент измерения при плоском и Н-образном разрезах

| Вид разреза | $E_{ст}/E$ | $\delta = 16$ мм | | $\delta = 8$ мм | |
|-------------|------------|--------------------|------|-----------------|------|
| | | Число скважин, n | | | |
| | | 7 | 15 | 7 | 15 |
| Плоский | 5 | 0,68 | 0,82 | 0,61 | 0,79 |
| | 20 | 0,77 | 0,89 | 0,75 | 0,87 |
| Н-образный | 5 | 0,81 | 0,91 | 0,78 | 0,90 |
| | 20 | 0,88 | 0,94 | 0,87 | 0,93 |

В случае применения приборов с толщиной стенки 8 мм при семи скважинах результат измерений методом Н-образного разреза отличается от фактического всего лишь на 10...20 %, что может быть легко компенсировано соответствующим поправочным коэффициентом.

Исследования в натуре велись в скальных породах туннеля 2 Арпа-Севан на глубине 740 м. Среднее вертикальное напряжение на двух участках равно 52 МПа, а среднее горизонтальное - 31,5 МПа. Коэффициент бокового давления равен $31,5/52 = 0,6$. В этом случае величина истинного коэффициента бокового давления равна 0,34. При этом соотношение модуля деформации динамометра и породы равно 10 для указанной толщины динамометра. Переходный коэффициент действующего в массиве горных пород и измеренного напряжения равен 0,41. Тогда окончательно получим вертикальное напряжение, равное: $0,415 \times 52 = 21,7$ МПа. Горизонтальное напряжение равно $0,34 \times 21,7 = 7,26$ МПа.

Сравним осредненные значения начальных напряжений, определенных экспериментальным путем в натуральных условиях, с теоретическим значением по формуле академика Динника $\sigma = 8H$: $2,75 \times 740 = 20,3$ МПа.

Из сравнения следует, что вертикальные главные нормальные напряжения, полученные из эксперимента, отличаются от теоретического всего лишь на 3,5%, что для натуральных исследований является вполне приемлемым. Горизонтальные напряжения в скале по данным измерений существенно меньше вертикальных в два раза. Этот результат работы имеет важное значение, т.к. наши исследования опровергают данные опытов, поставленные за последние годы авторами на больших глубинах в районах рудных месторождений. По данным этих опытов горизонтальные напряжения равны вертикальным. Различие следует объяснить высокой тектонической активностью в районах рудных месторождений.

E.G.Zavriyan

RESEARCH OF STRESS IN ROCK MASS OF ARPA-SEVAN TUNNEL

The purpose of work is the development of a technique for research and measurement of stress in rock mass of Arpa-Sevan tunnel. The installation method of dynamometers in rocks, their collaboration and comparison of the received results with the estimated ones are given.

Keywords: stress, rock, tunnel, dynamometer, well-drilling

ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԱՐՓԱ-ՍԵՎԱՆ ԹՈՒՆԵԼԻ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ
ԶԱՆԳՎԱԾՈՒՄ

Աշխատանքի նպատակն է՝ մշակել Արփա-Սևան թունելի լեռնային ապարներում լարումների հետազոտման և չափման մեթոդիկա: Տրված են ապարներում դինամոմետրերի տեղակայման եղանակը, դրանց համատեղ աշխատանքը և ստացված արդյունքների համեմատումը հաշվարկայինների հետ:

Առանցքային բառեր. լարում, լեռնային ապար, թունել, դինամոմետր, հորանցքի հորատում

Литература

1. **Завриян Е.Г.** Измерения напряжений в подземных сооружениях без закладки приборов во время бетонирования // Архитектура и строительство – актуальные проблемы: Сб. докл. межд. научно-техн. конф., Ереван-Джермук, 2008.- Ереван, 2008. - Т.2. - С. 166-168.
2. **Степанян В.Э., Завриян Е.Г.** Результаты натурных исследований горного давления по трассе крупногабаритного туннеля // Энергия. –Тбилиси: Груз НИИЭ, 2001. - С.48-53.
3. **Завриян Е.Г., Санагян А.А.** Исследования напряженного состояния бетонных обделок туннеля Севанского перевала // Энергия. –Тбилиси: Груз НИИЭ, 2010. - С. 114-117.

Զավրիյան Ելենա Գաբրիելի (ՀՀ. ք. Երևան) - (010) 532240, (099)532240, Zavrieva@mail.ru:
Завриян Елена Гавриловна (РА, г.Ереван) - (010) 532240, (099) 532240, Zavrieva@mail.ru.
Zavriyan Elena Gabriel (RA, Yerevan) - (010) 532240, (099)532240, Zavrieva@mail.ru.

Ներկայացվել է՝ 08.04.2014թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 27.03.2014թ.