

УДК 622.831

Е. Г. ЗАВРИЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ТОННЕЛЯХ

Проявление горного давления вызывает большие затруднения при строительстве тоннелей. Данные исследования проводились в тоннелях, проходящих в слабых горных породах, представленных сильно выветрелыми, разрушенными до состояния глины туфобрекчиями, диатомитовыми глинами, майкопскими глинами и песками. Опыты ставились в тоннелях Армении, на Северном Кавказе, на Московском метрополитене.

Для измерения использовались участки с уже возведенными бетонными обделками. Для кругового сечения обделки схема измерений представлена на рис. 1. По разработанной нами методике динамометрического разреза [3, 4] проводились измерения напряжений в сечениях бетонной обделки тоннеля, а затем подсчитывались силы горного давления на обделку. Экспериментальные блоки 1 и 2, расположенные по концам горизонтального диаметра, служили в основном для определения вертикального горного давления, а по створам приборов и подошвенной части, блоки 3 и 4, определялось горизонтальное горное давление.

В случае, если эпюра напряжений в блоках 1 и 2 близка к равномерной, величина вертикального горного давления при симметричном горном давлении (рис. 1) определялась из уравнения

$$\sigma \cdot b = p(r + b), \quad (1)$$

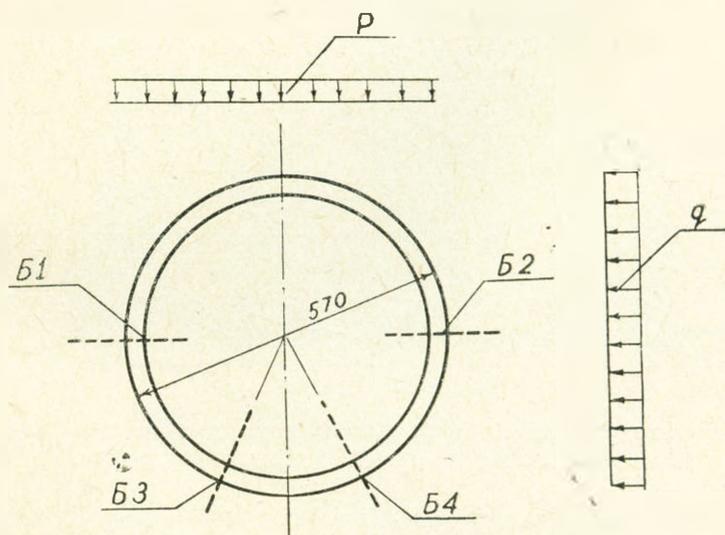


Рис. 1. Створы установки приборов для определения горного давления.

где δ — напряжение в стенке обделки;
 b — толщина стенки;
 r — средний радиус обделки.

Аналогичная формула может применяться для определения горизонтального горного давления.

Измерение горного давления в Арм. ССР проводилось на четырех опытных участках.

Измерение горного давления на опытном участке № 1 проводилось на глубине 400 м. Опытное кольцо коробового сечения пересекает зеленовато-серые туфобрекчии, сильно трещиноватые, разрушенные, местами раздробленные. Наблюдается незначительный приток воды. Обломки пород состоят из андезитов, порфиринов, песчаников. Зарисовка забоя (рис. 2) показывает, что загрузка левой половины свода соответствует силам горного давления, направленным приблизительно поперек пластов, а для правой половины свода эти силы ориентированы примерно вдоль пластов. При анализе данных измерений это обстоятельство подтвердилось.

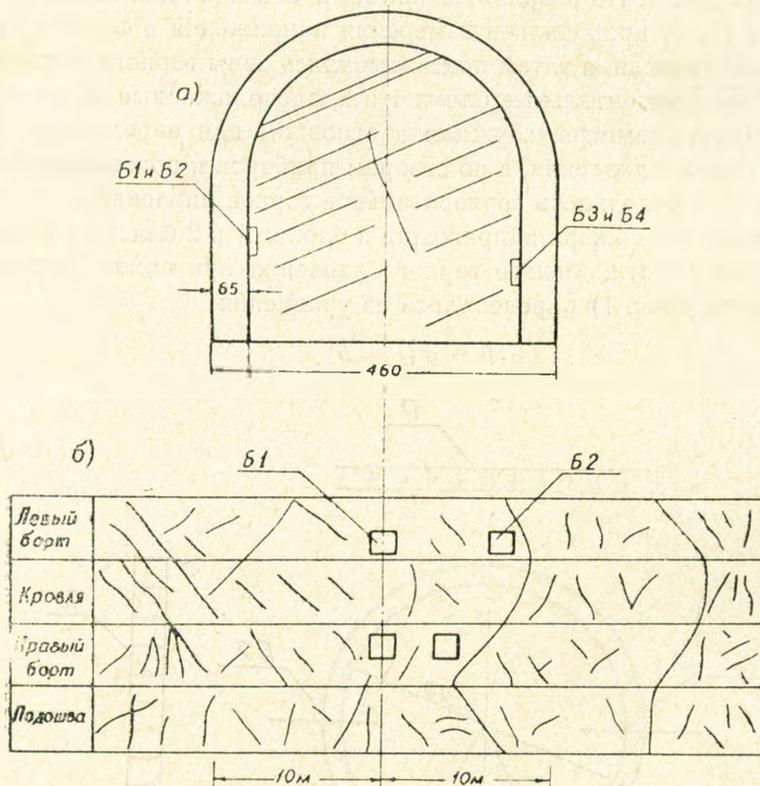


Рис. 2. Геологическая зарисовка участка тоннеля в разрушенных туфобрекчиях. Б1—Б4—измерительные блоки, а—забой тоннеля, б—развертка.

Измеренные напряжения в левой стене тоннеля на уровне горизонтального диаметра составили в среднем 24 кгс/см^2 . Для правой стены

тоннеля в блоках 3 и 4 напряжения равнялись 21 и 20 кгс/см², в среднем 20,5.

Дальнейший расчет ведется для участка тоннеля длиной 1 см. Опорные реакции тоннельного свода составляют: левая опора 1550 и правая 1330 кгс. Значительное повышение усилий в левой стене тоннеля увязывается с отмеченным геологическим строением пород. Горное давление развивается более интенсивно в направлении перпендикулярно к пластам породы.

Осредненное вертикальное горное давление на свод по формуле (1) равно 6,2 кгс/см², или 62 тс/м². Процесс измерения горного давления в этом тоннеле показан на рис. 3.

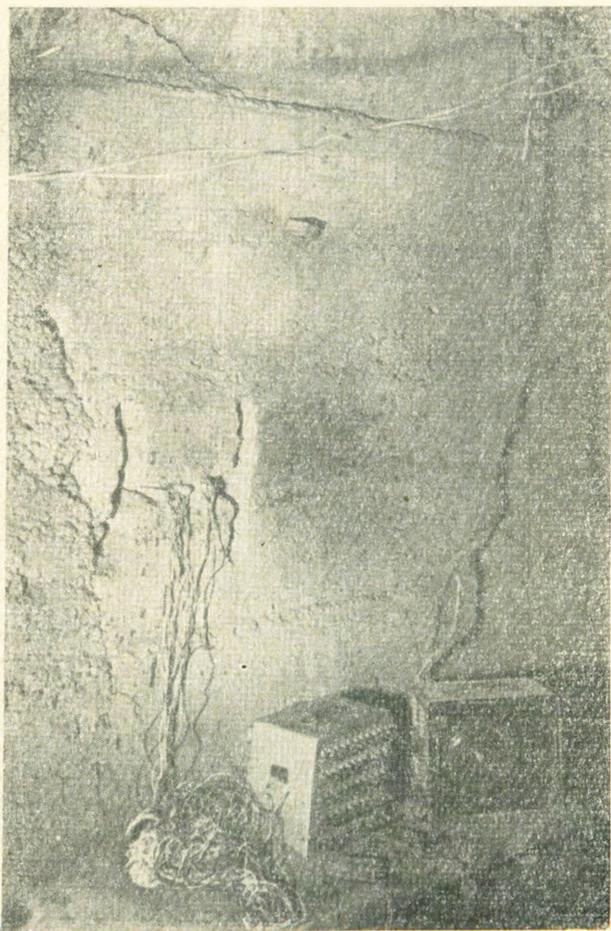


Рис. 3. Проведение измерений в тоннеле. И-образная измерительная прорезь в обделке. Аппаратура—автоматический измеритель деформаций и переключатель.

Измерение в тоннеле на опытном участке № 2 описано ранее [4]. Отметим, что стены обделки претердели на этом участке весьма интен-
Известия XXIX, № 3—5

сивные смещения до 0,5 м. Наличие интенсивных смещенной обделки вызвало снижение горного давления, которое составило 17 тс.

В дальнейшем трасса тоннеля в этом месте проходила по сооруженной обходной ветви.

Эксперименты на третьем опытном участке проводились на глубине 132 м от поверхности. Порода представлена желтовато-белыми слоистыми диатомитовыми глинами, имеющими почти горизонтальное простирание. Объемный вес породы около 1,5 гс/см³. Вертикальное горное давление равно 16,1 тс/м².

Четвертый опытный участок пересекал глинистые горные породы, залегающие на контакте с сильно разрушенными обводненными туфами, глины в основном залегали в подошве или в нижней части профиля тоннеля.

Глинистые породы были темно-коричневого цвета с буровато-красным оттенком. Местами наблюдались прослойки серо-бурой глины мощностью не более 0,4 м. Предел прочности глин при одноосном сжатии около 10 кгс/см². Глины проявляли интенсивное пучение внутри выработки, в первые же часы после проходки. Это приводило к поломкам бетонной и железобетонной обделки, уложенной непосредственно на горную породу. Пришлось применить обделку из чугунных тюбингов.

В соответствии с этим типом обделки была изменена методика измерений напряжений в конструкции. Перед монтажом в тюбингах рассверливались отверстия диаметром 3,7 мм, куда запрессовывались стальные стерженьки диаметром 4 мм. Измерительный створ длиной 30 см был образован двумя стерженьками.

Деформации тюбингов измерялись переносным тензомером. Корпус прибора представляет стальную трубку, по концам которой были устроены вырезы для опирания на два стерженька. Отсчеты брались по мессуре, закрепленной на трубочке. По данным измерения, среднее напряжение в чугунной обделке достигло 1550 кгс/см², что соответствовало горному давлению на обделку 173 тс/м². Эта величина близка к данным измерения горного давления при помощи других приборов—динамометрических секций размером 50×50 см, заложенных за обделку.

На данном этапе наблюдений, который соответствовал уходу забоя вперед на 8 м, началось интенсивное трещинообразование тюбинговой обделки. Проходка была прекращена и внутри тюбингов срочно возвели мощную железобетонную обделку толщиной 50 см, что дало удовлетворительное решение вопроса. В связи с закрытием тюбингов бетоном наши наблюдения были прекращены. Ожидая, по данным опытов на других объектах, что горное давление может возрасти еще на 20—25%, приходим к величине горного давления в 220 тс/м².

Пятый и шестой опытные участки находились в тоннеле на Северном Кавказе, проходка которого осуществлялась специальным щитовым агрегатом с возведением обделки из монолитно-прессованного бетона. Тоннель пересекал глины майкопские, аргиллитоподобные, сланцеватые, анизотропные, твердые, по плоскостям напластования с линзами

алеврита, сидерита и песчаника крепкого и слабо цементированного. Глины трещиноватые, трещины в основном закрыты, отдельные трещины выполнены пиритом. Глины относятся к набухаемым, легко выветриваются. В выветренном состоянии быстро размокают.

Для пятого участка характерно проявление сильно трещиноватых глин. Напряжения в пятах свода составили 17,8 и 15,9, в среднем 16,9 $кгс/см^2$. Вертикальное горное давление равно 18 $тс/м^2$.

Напряжения в бетоне в подошве тоннеля составили 11,7 и 12,5, в среднем 12,1 $кгс/см^2$. Горизонтальное горное давление равно 12,8 $тс/м^2$.

Шестой опытный участок проходил также в майкопских глинах, но со слабо выраженной трещиноватостью. Для блоков в пятах тоннельного свода выявлено среднее напряжение в бетоне 10 $кгс/см^2$. Вертикальное горное давление равно 11 $тс/м^2$. В подошве тоннеля среднее напряжение 11 $кгс/см^2$ и горизонтальное горное давление 11,5 $тс/м^2$.

Седьмой опытный участок на трассе Московского метрополитена был расположен на глубине 7 м в плотных песках. Проходка осуществлялась специальным щитовым агрегатом с возведением обделки из монолитно-прессованного бетона.

Напряжения в бетоне для сечения в пятах свода составили 4,5 и 3,82 $кгс/см^2$, т. е. в среднем 4,15 $кгс/см^2$. Часть этого напряжения вызывается собственным весом тоннельного свода по приближенному подсчету. Эта часть напряжения в бетоне составляет 1,0 $кгс/см^2$. Следовательно, напряжение в бетоне только от вертикального горного давления составляет 3,15 $кгс/см^2$, что соответствует осредненному вертикальному горному давлению 3,5 $тс/м^2$.

Напряжения в бетоне для сечения в подошве составили 3,75 и 5,4 $кгс/см^2$, т. е. в среднем 4,57 $кгс/см^2$. Горизонтальное горное давление равно 5,4 $тс/м^2$.

Отметим, что расчет по общепринятым формулам дает для седьмого опытного участка величину вертикального горного давления в 3,8 раза больше, чем при эксперименте. Подсчитанное теоретически горизонтальное горное давление, наоборот, меньше экспериментального в 1,5 раза.

Экспериментальные измерения показали, что величины вертикального и горизонтального горного давления довольно близки.

Этим объясняется близкое совпадение напряжений в бетоне по всем сечениям кольца обделки. Данный вывод весьма благоприятен для работы тоннельной обделки и, очевидно, связан с процессом изготовления бетонных обделок методом прессования. Результаты экспериментов по всем опытным участкам сведены в таблицу.

Выводы

Горное давление в зависимости от вида и состояния пород может достигать весьма значительных величин. По данным экспериментов в

Таблица

Горное давление в тоннелях

№ опытных тоннелей	Горная порода	Форма сечения	Ширина или диаметр выработки	Глубина залегания	Величина горного давления, $тс/м^2$	
					вертикального	горизонтального
1	Туфобрекчии разрушенные, местами раздробленные	короб.	4,6	400	62	—
2	Туфобрекчии разрушенные до состояния глин. Стена обделки смещена на 0,5 м	"	4,6	380	17	—
3	Диатомитовые глинны, слоистые	"	3,8	132	16	—
4	Глинистые породы на контакте с разрушенными туфами	круг	5,5	620	220	—
5	Глины майкопские, сильно трещиноватые	"	5,7	41	18	13
6	Глины майкопские трещиноватые	"	5,7	51	11	12
7	Плотные пески	"	5,9	7	4,6	5,4

ряде случаев вертикальное и горизонтальное горные давления сравнительно близки друг к другу. Это обстоятельство весьма благоприятно для работы тоннельных обделок.

Предложенная методика динамометрического разреза позволяет получить сравнительно просто данные по величине горного давления в тоннелях и должна найти в дальнейшем широкое применение.

Ереванская лаборатория
тоннелей

Поступила 26.I.1974.

Ե. Գ. ՉԱՎԻՅԱՆ

ԼԵՆՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՃՆՇՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԹՈՒՆԵԼՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում քննարկվում են լեռնային ապարների ճնշման հետազոտման հարցերը:

Կիրառված է թունելի պատերի ամրացման լարման չափման և լեռնային ճնշման ուժերի հետագա չափման եղանակը:

Փորձարարական և տեսական տվյալների համեմատումը բավական հաջող է ստացվել:

Ստուգման համար առաջարկված է ուժային մեթոդը, դրված են լաբորատոր փորձեր մեծ չափերի մոդելների վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Влох Н. П., Сашурин А. Д.* Измерение напряжений в массиве крепких горных пород. «Недра», М., 1970.
2. *Дорман И. Я.* Деформации грунтового массива при сооружении тоннелей с отделкой из монолитно-прессованного бетона. *Метрострой*, № 5, 1965.
3. *Заврян Е. Г.* Силовые методы исследования напряженного состояния массивов горных пород. *Известия АН АрмССР, Науки о Земле*, № 3, 1968.
4. *Заврян Е. Г.* Определение давления глинистых горных пород на подземные сооружения. *Известия АН АрмССР, Науки о Земле*, № 2, 1971.
5. *Ходош В. А., Черненко Е. А.* Новая технология сооружения тоннелей в песках. *Метрострой*, № 4, 1971.
6. *Чеботаев В. В., Лыткин В. А., Фотиева Н. Н.* Определение нагрузок на крепь железноподорожного тоннеля на основе натуральных измерений ее деформаций. *Ж. «Основания, фундаменты и механика грунтов»*, № 4, 1975.
7. *Эристов В. С., Мазур А. М.* Подземные работы и улучшение скальных оснований: плотин. «Энергия», М., 1966.