

ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ТУННЕЛЯХ МЕТОДОМ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

Докт. техн. наук **Г. П. ЗАВРИЕВ**^{1*}, канд. техн. наук **Е. Г. ЗАВРИАН**^{2*}

Реферат. Рассмотрена работа нового типа обделки туннеля из прессованного бетона. Экспериментами, поставленными в натурных условиях, показано, что конструкция работает в условиях, близких к всесторонней равномерной нагрузке. Выявлены величины горного давления на обделку туннеля в различных породах. Отмечается значительное возрастание прочности бетона в результате процесса прессования бетонной смеси.

Щитовая проходка туннелей обычно связана с устройством несущей конструкции обделки из сборных элементов—тубингов или блоков. За последние два десятилетия благодаря трудам советских ученых и инженеров началось широкое применение обделок из монолитного бетона, уложенного в туннеле и подвергнутого прессованию.

Первоначальное предложение производить прессование специальными камерами, служащими опалубкой обделки туннеля (Словинский, 1937), оказалось малоэффективным и неудобным на практике. Распространение получила методика М. А. Гиндина и В. А. Словинского (Куперман, 1960), по которой прессование бетона производилось домкратами, расположенными по окружности туннеля и действующими параллельно его продольной оси. По этому способу после его усовершенствования построен ряд туннелей (Афендигов и др., 1971; Дорман, 1965; Ходош, 1977).

Значительный интерес представляет изучение совместной работы нового типа обделки и массива горной породы, проводимое в натурных условиях при помощи измерительных приборов. Эта задача осложняется тем, что при возведении монолитно-прессованной обделки затруднена закладка измерительной аппаратуры во время бетонирования. Здесь происходят процессы обжатия бетонной смеси щитовыми домкратами и ее перемещение в пространство, освобождающееся после ухода вперед оболочки щита, т. е. переформирование первоначально уложенной массы, что может привести к существенным перемещениям заложённых в бетонную смесь приборов и к потере их ориентирования в пространстве.

Наиболее целесообразной для обделок из прессованного бетона является установка приборов в уже выстроенном сооружении. Для измерения напряжений в обделке нами применялся метод динамометрического разреза (Завриан, 1968; 1971). Сущность метода заключается в следующем. В обделке туннеля бурят по соседству две сква-

¹ Зав. Ереванской лабораторией туннелей

² Мл. научный сотрудник Ереванской лаборатории туннелей

* Грузинский научно-исследовательский институт энергетики и гидротехнических сооружений

жины диаметром 50 мм, оставляя между ними целик бетона той же толщины. В скважинах, которые доходят до горной породы, цементируются динамометры в виде стальных двутавров с наклеенными на стенке тензометрами сопротивления. Следующим этапом является устройство в бетоне прорезей бурением смежных скважин. Сначала устраивается прорезь, лежащая в плоскости упомянутых динамометров и образованная пятью или семью смежными скважинами. Далее по концам этой прорези бурят перпендикулярно к ней две прорези. В итоге на фасаде обделки образуется вырез в форме буквы Н. Потенциальная энергия сжатия обделки в этом случае реализуется в виде смещения в сторону динамометров образовавшихся бетонных отсеков, которые загружают динамометры.

Напряжения в бетоне, измеренные динамометрами, определяются из условия $\sigma_x = N/F$, где N — нагрузка на динамометр, найденная по показаниям тензометров сопротивления и по данным тарировки динамометров на прессе, и F — площадь бетонного блока, передающего нагрузку на один динамометр.

При опытах с Н-образным разрезом, когда число скважин в горизонтальной прорези равняется числу скважин в каждой из вертикальных прорезей, т. е. когда полученная форма разреза может быть вписана в квадрат, дальнейшая обработка данных опыта ведется следующим образом.

Для определения фактического напряжения, действующего в бетоне до начала опыта, применяется выведенная нами теоретическая зависимость

$$k = \frac{\sigma_x}{p} = \frac{(2-\mu^2)n - 1,29}{(2-\mu^2)n + A} \frac{E}{E_{ст}} \quad (1)$$

где p — фактическое напряжение в бетоне; k — поправочный коэффициент измерения; E и μ — модуль деформации и коэффициент Пуассона бетона; $E_{ст}$ — модуль деформации стали; n — число скважин в горизонтальной прорези; A — числовой коэффициент, зависящий от толщины δ стенки двутавра; для толщины 4 и 16 мм этот коэффициент соответственно равен 18,4 и 7,84.

Результаты подсчетов по формуле (1) представлены на рис. 1 для двух случаев толщины стенки двутавра 4 и 16 мм. По вертикальной оси отложены величины поправочных коэффициентов измерения, а по горизонтальной оси — число скважин в горизонтальной прорези.

На каждом из опытных колец имелось четыре измерительных створа, расположенных вблизи концов горизонтального диаметра и около подошвы туннеля (рис. 2). В случае если эпюра напряжений в опытных сечениях обделки близка к равномерной, а данные измерений на отдельных блоках близки друг к другу, то величина вертикального горного давления на блок приближенно определится из следующей зависимости: $\sigma \cdot b = q(r+b)$, где σ — напряжение в стенке обделки на горизонтальном диаметре, b — ее толщина и r — радиус обделки. Аналогично по данным измерений напряжений в подошвенной части туннеля может быть определено горизонтальное горное давление.

Эксперименты по определению напряжений в обделке ставились на трех туннелях. Первый из них пересекал майкопские глины, аргилитоподобные, сланцеватые, анизотропные, твердые, по плоскостям напластования с линзами алеврита, сидерита и песчаника крепкого и слабощементированного. Глины трещиноватые, трещины в основном

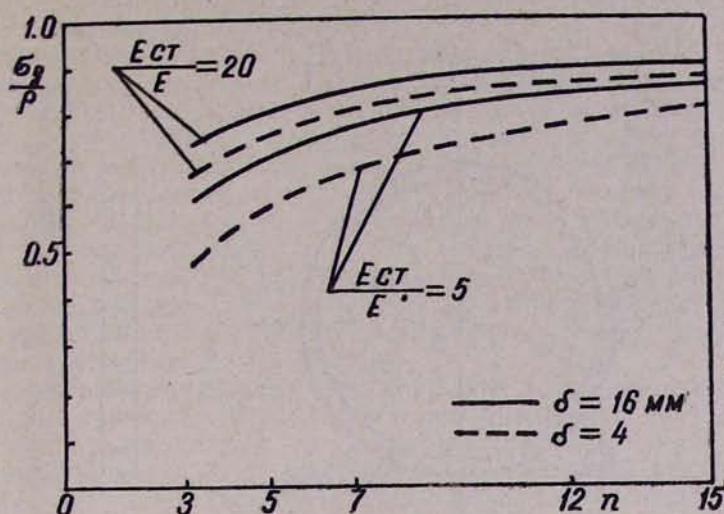


Рис. 1. Поправочные коэффициенты для H-образного разреза; δ — толщина стенки двутаврового динамометра, мм; абсциссы — число скважин в горизонтальной прорези; ординаты — отношение напряжения, измеренного динамометрами, к фактическому напряжению.

Նկ. 1. H- ների կտրվածքի համար բոլորման գործակիցներ: δ — երկտավր դինամոմետրի պատի հաստությունը մմ-ով, արացիաներ՝ հորատանցքերի թիվը հորիզոնական նկղանցքի մեջ, օրդինատներ՝ դինամոմետրերի կողմից չափած լարումների հարաբերությունը փաստական լարումներին:

Fig. 1. Coefficients of correction for H-like section. δ is the thickness of wall of the dynamometer made of double T structural section, in millimeters. Abscissas are numbers of boreholes in a horizontal lot, ordinates are ratios of stresses measured by dynamometers to the actual ones.

закрытые, отдельные трещины выполнены пиритом, набухаемы, легко выветриваются. В выветренном состоянии быстро размокают. Измерение на этом туннеле проводилось на двух опытных участках.

Для первого участка, залегающего на глубине 41 м, характерно наличие сильно трещиноватых глин. Напряжения в пятах свода составили 1,78 и 1,59, в среднем 1,69 МПа. Этому соответствует вертикальное горное давление, равное 0,18 МПа. Напряжения в бетоне в подошве туннеля составили 1,17 и 1,25, в среднем 1,21 МПа. Отсюда горизонтальное горное давление равно около 0,13 МПа.

Второй опытный участок проходил на глубине 51 м, также в майкопских глинах, но со слабо выраженной трещиноватостью. В пята туннельного свода среднее напряжение в бетоне 1 МПа. Вертикальное горное давление 0,11 МПа. В подошве туннеля среднее напряжение 1,1 МПа и горизонтальное горное давление 0,12 МПа.

Таким образом, наличие сильной трещиноватости в майкопских глинах значительно, почти в два раза увеличило вертикальное горное давление на обделку, а горизонтальное давление не изменилось. Это свидетельствует о подвижках блоков горной трещиноватой породы над сводом туннеля.

Третий и четвертый опытные участки находились во втором туннеле. Туннель на всем протяжении проходил в прочных массивных туф-

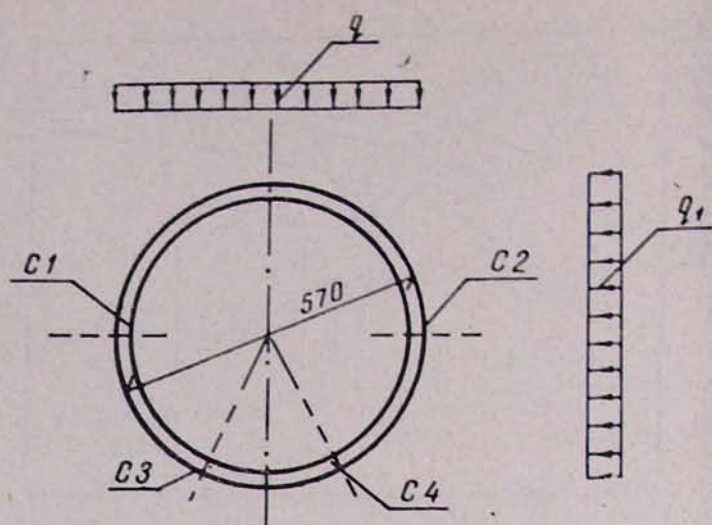


Рис. 2. Места установки приборов для измерения напряжений в обделке туннеля.

Նկ. 2. Թունելի պատերում լարումների չափման համար դրժիֆների տեղադրման կետեր:

Fig 2. Location of instruments for measurement of stresses in the tunnel lining.

фитах, которые литологически состоят из отдельных глыб, щебня и дресвы андезитов. В подошве у входного портала ниже туффигов залежали глины сланцеватые—70%, с редкими прослоями песчаников на известково-глинистом цементе—30%. Коэффициент крепости этих пород принят равным 2. В этих породах расположен третий опытный участок, находившийся в 13 м от портала на глубине 24 м от поверхности земли. Измеренные напряжения в подошве туннеля составили 0,31 МПа. Для створов, расположенных на уровне горизонтального диаметра, напряжения равны 0,41 МПа. Это соответствует горизонтальному горному давлению около 0,034 МПа и вертикальному—0,045 МПа.

На четвертом опытном участке, проходящем в скальной породе на глубине 50 м, напряжения в обделке оказались весьма незначительными, около 0,1 МПа, что свидетельствует об отсутствии горного давления на обделку.

Пятый опытный участок на трассе туннеля метрополитена был расположен на глубине 7 м в плотных песках. Напряжения в бетоне для сечения в пятах свода составили 0,45 и 0,38 МПа, т. е. в среднем 0,41 МПа. Часть этого напряжения вызывается собственным весом туннельного свода. По приближенному подсчету эта часть напряжения в бетоне составляет 0,1 МПа. Следовательно, напряжение в бетоне только от вертикального горного давления составляет 0,31 МПа, что соответствует осредненному вертикальному горному давлению 0,035 МПа. Напряжения в бетоне для сечения в подошве составили в среднем 0,45 МПа. Горизонтальное горное давление равно 0,05 МПа. Величина вертикального горного давления, рассчитанная по общепринятым формулам, для пятого опытного участка в 3,8 раза больше, чем при экспери-

менте. Подсчитанное теоретически горизонтальное горное давление, наоборот, меньше экспериментального в 1,5 раза.

Эксперименты на этом и на других опытных участках 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 туннельной обделки и очевидно связан с процессом изготовления бетонных обделок методом прессования. На первых двух туннелях из тела обделки были взяты керны алмазного бурения, которые затем испытывались в лаборатории на прочность при сжатии и растяжении. Оказалось, что в результате прессования давлением до 44 МПа прочность бетона резко повысилась—при сжатии примерно на 630%, а при растяжении даже в 2÷2,3 раза по сравнению с бетоном из смеси, не подвергнутой прессованию.

На основании проведенных исследований выявлено, что бетонная конструкция туннеля, изготовленная методом прессования, обладает весьма высокой прочностью и способствует образованию эпюры горного давления, близкой ко всеобщей равномерной нагрузке. Последнее обстоятельство особенно благоприятно для туннелей кругового профиля.

ԴԻՆԱՄՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ԿՏՐՎԱԾՔԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԹՈՒՆԵԼՆԵՐՈՒՄ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԶԱՓՄԱՆ ՓՈՐՁԸ

ՏԼԻՍԵ. գիտ. դոկտոր ԳԱԲՐԻԵԼ ԶԱՎՐԻԵՎ^{1*} և տիկն. գիտ. քեկնածու ԵԼԵՆԱ ԶԱՎՐԻԱՆ^{2*}

Թեֆերատ—Քննարկված է մամլած բետոնից պատրաստված թունելների նոր տեսակի ամրապատման աշխատանքը: Բնական պայմաններում դրված փորձարկումներով ցույց է տրված, որ կոնստրուկցիան աշխատում է համակողմանի հավասարաչափ բեռնվածքին մոտ պայմաններում: Բացահայտված են տարրեր ապարներում թունելի ամրապատման վրա դործող լեռնային ճնշման արժեքները: Բետոնի շաղախի մամլման հետևանքով նկատվում է բետոնի ամրության զգալի մեծացում:

EXPERIENCE IN MEASUREMENT OF STRESSES IN TUNNEL LINING BY USE OF DYNAMOMETRIC SECTION METHOD

GABRIEL ZAVRIEV, Dr. Sc. (Eng.)^{3*} and HELENE ZAVRIAN, Cand. Sc. (Eng.)^{4*}

Sinopsis. New type of tunnel lining made of compressed concrete is considered. In situ experiments have shown that the construction operates in conditions close to all round uniform load. Values of rock pressure of tunnel lining were determined for different rocks. Considerable increase strength of concrete was established as a result of compression of concrete mixture.

¹ Երևանի թունելների լաբորատորիայի վարիչ:

² Երևանի թունելների լաբորատորիայի կրտսեր գիտ. աշխատող:

^{*} Վրաստանի էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտ:

³ Head, Yerevan Laboratory of Tunnels.

⁴ Junior Scientific Worker, Yerevan Laboratory of Tunnels.

^{*} Georgian Scientific Institute of Hydroenergetics.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА—REFERENCES

- Афенди́ков Л. С., Дорман И. Я. 1971. Исследование монолитно-прессованных обделок туннелей.—Сб. научных тр. Всесоюзного НИИ трансп. строит., М., с. 159.
- Дорман И. Я. 1965. Деформации грунтового массива при сооружении туннелей с обделкой из монолитно-прессованного бетона.—Метрострой, № 5, с. 35—38.
- Заврия́н Е. Г. 1968. Силовые методы исследования напряженного состояния массивов горных пород. Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, т. 3, с. 91—99.
- Заврия́н Е. Г. 1971. Определение давления глинистых горных пород на подземные сооружения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, т. 2, с. 63—71.
- Куперман В. Л. 1960. Агрегат для проходки гидротехнических туннелей.—Гидротехническое строительство, № 3, с. 54—56.
- Словинский В. А. 1937. Новый тип облицовок высоконапорных туннелей, основанный на принципе обжатого бетона.—Гидротехническое строительство, № 3, с. 29—32.
- Ходош В. А. 1977. Советская техника на строительстве метрополитена в Праге.—Транспортное строительство, № 3, с. 55—58.