

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛОК ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЕЙ, СООРУЖАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

П.В. Деев

Тульский государственный университет, пр-т Ленина 92, 300600 Тула, Россия
deev@mm.tsu.tula.ru

При проектировании тоннелей, расположенных в городской черте, необходимо учитывать влияние находящихся рядом зданий, а также уже существующих подземных сооружений на напряженное состояние тоннельных обделок. Аналогичная задача возникает и в том случае, когда вблизи тоннеля (комплекса тоннелей) возводится здание или строится подземное сооружение.

В Тульском государственном университете в течение ряда лет ведется работа по созданию новых аналитических методов расчета подземных сооружений, основанных на исследовании взаимодействия массива пород и подземных конструкций как элементов единой деформируемой системы, а также решений соответствующих плоских задач теории упругости для линейно-деформируемой среды, моделирующей массив пород, ослабленной одним или несколькими отверстиями, подкрепленными кольцами из разных материалов, моделирующими обделки тоннелей.

В настоящее время имеются методы расчета обделок одиночных тоннелей произвольного поперечного сечения [2] и обделок параллельных круговых тоннелей [6], позволяющие

определять напряжения в обделках подземных сооружений, обусловленные действием собственного веса пород и наличием на поверхности зданий или сооружений.

В работе предлагаются аналитические методы расчета обделок комплекса параллельных тоннелей, имеющих произвольное поперечное сечение, на действие собственного веса грунта и веса зданий или сооружений на поверхности. В основу предлагаемых методов расчета положены решения плоских задач теории упругости, общая расчетная схема которых представлена на рисунке.

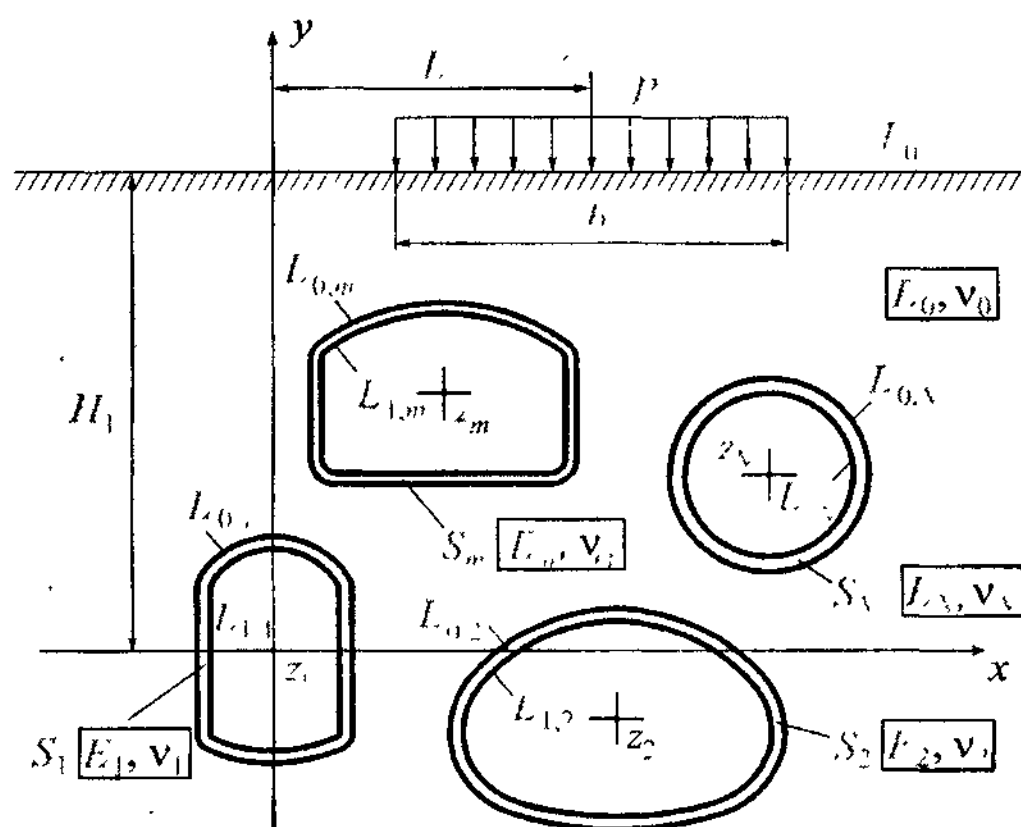


Рис. Общая расчетная схема рассматриваемых задач теории упругости

Здесь весома однородная линейно-деформируемая среда S_0 , ограниченная прямой L'_0 и контурами отверстий $L_{0,j}$ ($j = 1, \dots, N$), моделирует массив грунта, механические свойства которого характеризуются модулем деформации E_0 и коэффициентом Пуассона ν_0 . Кольца S_j ($j = 1, \dots, N$) из материалов с деформационными характеристиками E_j , ν_j ($j = 1, \dots, N$) моделируют обделки тоннелей, расположенных на глубинах H_j ($j = 1, \dots, N$), отсчитываемых от центров, помещенных в точках $z_j = x_j + iy_j$ ($j = 1, \dots, N$). Среда S_0 и кольца S_j ($j = 1, \dots, N$) деформируются совместно, то есть на линиях контакта $L_{0,j}$ ($j = 1, \dots, N$) выполняются условия непрерывности векторов напряжений и смещений. Внутренние контуры колец $L_{1,j}$ ($j = 1, \dots, N$) свободны от действия внешних сил.

Действие собственного веса пород моделируется наличием в среде S_0 поля начальных напряжений, линейно изменяющихся по глубине. Действие веса здания или сооружения на поверхности моделируется нагрузкой интенсивностью P , равномерно распределенной на участке прямолинейной границы L'_0 . Рассматриваются два случая — когда тоннель проходит вблизи уже существующего здания, и когда здание возводится рядом с пройденным и подкрепленным тоннелем (тоннелями). В последнем случае перемещения основания, происшедшие до проведения тоннеля, из рассмотрения исключаются.

Описанные задачи теории упругости решены с использованием теории аналитических функций комплексного переменного [3], аналитического продолжения комплексных потенциалов Колосова–Мусхелишвили, регулярных в нижней полуплоскости вне отверстий, в верхнюю полуплоскость через прямолинейную границу L'_0 [1], модификации метода Д.И. Шермана, описанной в работе [5], свойств интегралов типа Коши, аппарата конформных отображений и комплексных рядов. Такой подход позволяет свести решение рассматриваемой

задачи к итерационному процессу [7], в каждом приближении которого последовательно используются решения задач для каждого из колец, подкрепляющего отверстие произвольной формы в полной плоскости, при граничных условиях, содержащих некоторые дополнительные слагаемые, отражающие влияние прямолинейной границы полуплоскости и остальных подкрепленных отверстий. Эти слагаемые представляются в форме рядов Лорана, неизвестные коэффициенты которых в первом приближении полагаются равными нулю, а затем уточняются на каждом шаге итераций. Решение задач, составляющих основу итерационного процесса, получено с использованием метода, аналогичного описанному в работе [4].

Выполнение работы поддержано грантом Президента РФ для поддержки молодых ученых-кандидатов наук и их научных руководителей МК-2798.2007.5.

Литература

1. Араманович И.Г. Распределение напряжений в упругой полуплоскости, ослабленной подкрепленным круговым отверстием // ДАН СССР. Вып. 104. № 3, 1955. С. 372-375.
2. Деев П.В. Напряженное состояние обделок некруговых тоннелей мелкого заложения, обусловленное действием веса зданий или сооружений на поверхности // Известия ТулГУ. Сер. Геомеханика. Механика подземных сооружений. Вып. 3. — Тула, 2005. С. 57 – 63.
3. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966.
4. Фотиева Н.Н. Расчет обделок тоннелей некругового поперечного сечения. М.: Стройиздат, 1974.
5. Фотиева Н.Н., Козлов А.Н. Расчет крепи параллельных выработок в сейсмических районах. М.: Недра, 1992.
6. Fotieva N.N., Bulychiev N.S., Antziferov S.V., Sammal A.S., Deev P.V. Influence of soil grouting on the shallow tunnel linings stress state in urban areas // Proc. of the 33rd ITA-AITES World Tunnel Congress "Underground Space - the 4th Dimension of Metropolises", Prague, Czech Republic, Taylor and Francis, 2007. — pp. 439-443.
7. Fotieva, N.N., Bulychiev, N.S., Sammal, A.S. Design of shallow tunnel linings // Proc. of the ISRM International Symposium Eurock'96, Torino, Italy, pp. 677-680.