

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ

Розглянуті методи розрахунку прямокутних підземних споруд, розроблені у минулому і на початку нашого століття, з метою виявлення основних напрямків розвитку цього питання. Висловлені думки автора про перспективи розвитку методів розрахунку підземних споруд прямокутного обрисю.

Рассмотрены методы расчета прямоугольных подземных сооружений, разработанные в прошлом и в начале нашего столетия, с целью выявления основных направлений развития этого вопроса. Высказано мнение автора о перспективе развития методов расчета подземных сооружений прямоугольного очертания.

The methods of computation of rectangular underground building developed last century and at the beginning of the 21st century with the purpose of exposing basic development directions of the given problem have been considered. The author's opinion concerning computation method development prospect of underground building of rectangular outline has been suggested.

Многие подземные сооружения в поперечном сечении представляют собой цельные или с шарнирами прямоугольные конструкции. Это – обделки перегонных тоннелей мелкого заложения, пешеходные тоннели, водопропускные трубы, галереи, коммуникационные тоннели и т.д.

Первоначально прямоугольные обделки тоннелей или другие подземные сооружения рассчитывали как плоские рамы, нагруженные по контуру распределенной нагрузкой. В других случаях давление на боковые стенки рамы определялись по теории Кулона [1, 2]. При этом рекомендовалось проверять прямоугольную конструкцию как раму с защемленными в лотке стойками [1]. Это требование осталось и в последнем нормативном документе [3]. Основной недостаток указанных способов расчета – полное игнорирование влияния грунтового массива на НДС системы. Грунт рассматривался только как нагрузка. С другой стороны, определение бокового давления по Кулону (в виде трапециевидальной эпюры или еще хуже, в виде равномерно распределенной нагрузки) при расчете этих конструкций является грубым приближением. Кроме того, подземные конструкции рассчитывали только на симметричное воздействие внешних нагрузок.

Известно, что давление по Кулону возможно только при некоторой подвижке жестких стенок или при деформации гибких стенок. Следует отметить, что в подземных сооружениях при симметричной нагрузке возникают деформации элементов обделки, которые в значительной степени и влияют на характер распределения давления по контуру конструкции.

При несимметричной нагрузке (одностороннем воздействии транспортных средств) и незначительной глубине заложения возможны боковые смещения сооружения, что тоже вызывает реактивный отпор грунта. Все это влияет на величину давления грунта на подземную конструкцию, и эпюры давлений становятся криволинейными. Таким образом, истинное давление грунта зависит не только от физико-механических свойств грунта, но и от вида конструкции и жесткостей ее элементов. Однако в силу своей простоты упомянутые способы расчета нашли довольно широкое применение при проектировании подземных сооружений и до сих пор рекомендуется в литературных источниках [1, 3] при определении НДС системы.

Далее были разработаны решения, рассматривающие подземное сооружение как плоскую раму, лоток которого контактирует с грунтом. Лоток рассматривался как элемент, лежащий на основании Винклера [4] или на линейно-деформируемой полуплоскости [5, 7]. Б. Н. Жемачкин [6], М. И. Горбунов-Посадов [5] и В. А. Киселев [4] за основную схему принимали раму с разрезом в середине ригеля, где прикладывались неизвестные усилия – горизонтальные и вертикальные силы, а также моменты. И. А. Симвулиди [7] предлагает расчленять раму на отдельные элементы, разрезая раму в узлах. Для определения концевых моментов полос им использованы условия совместности деформаций. Несмотря на недостатки винклеровской модели, её используют и при разработке программных комплексов (например, комплекса «Ли́ра»). Методику расчета, предложенную И. А. Симвулиди, следует при-

знать более гибкой, т.к. задача сводится к расчету отдельных полос, что позволяет, как это будет показано ниже, применять при определении НДС системы любые модели грунта, при чем разные у разных элементов сооружения (у боковых стенок, в районе ригеля и лотка).

Названные методы расчета дают возможность точнее определять величину и характер распределения реактивного давления, действующего на лоток, что сказывается и на решении рамы в целом. Тем не менее, они не лишены определенных недостатков, а именно:

- давления на боковые стенки по-прежнему определяются по Кулону;

- использование гипотезы Винклера не дает возможности определять общие деформации грунта, а использование модели линейно-деформируемой полуплоскости не позволяет определять местные деформации.

Параллельно с этими решениями были разработаны модели расчета, рассматривающие тоннельную обделку как упругую систему в упругой среде. Впервые теоретическое решение данного вопроса было дано С. С. Давыдовым [8] еще в 30-е годы прошлого столетия. Разработаны расчетные схемы с применением гипотезы Винклера, слоя конечной толщины и метода Б. Н. Жемочкина [6].

И. А. Симвулиди [7] разработал методику расчета, также учитывающую совместную работу с грунтом не только лотка, но и боковых стенок, используя модель упругой полуплоскости и разрезы рамы в узлах на отдельные полосы. Следует отметить, что применение модели линейно-деформируемой полуплоскости для расчета боковых стенок не совсем корректно.

Появились решения с применением других моделей грунта. Так, Т. А. Маликова [9] рассматривает тоннельную обделку как гибкую раму на линейно-деформируемом основании в виде двух четвертьплоскостей и с полосой конечной длины между ними, что позволило более точно учесть НДС системы.

Все предложенные решения в рамках статьи рассмотреть невозможно. Рассмотрим некоторые подходы к решению задачи с применением других моделей грунта. Так, А. Х. Астрахан и А. Л. Брик, а также болгарский ученый Д. Цанев воспользовались энергетическим способом, рассматривая грунт как винклеровское основание, А. Д. Давлетханова рассматривает грунт как статически неоднородное (стохастическое) основание, М. Г. Дмитриев применил нелинейную модель статической работы обделки, пластические свойства материала обделки

учтены Н. И. Михельсоном и В. Г. Голубовым, Д. Цанев использовал двухпараметрическую модель грунта.

Учитывалась и работа ригеля как элемента, контактирующего с грунтом. Например, С. Рахимов предложил задавать давление грунта на перекрытие в виде квадратной параболы, В. П. Кожушко получает давление по контуру всей обделки, расчлняя в узлах раму на плоские элементы, используя для решения задачи разные модели грунта и метод Б. Н. Жемочкина.

Во всех этих моделях окончательная эпюра давлений получается путем суммирования исходного давления грунта и реактивного давления.

Совсем другой подход к решению задач применили Ю. М. Айвазов [10] и Н. Н. Фотиева [11], которые сразу получают эпюры давления грунта по контуру обделок произвольного очертания, используя конформные отображения. Им составлены и программные комплексы для реализации решения задачи. Эти решения даются в рамках применения какой-то одной модели грунта.

Даже при разработке программных комплексов реализуются только некоторые модели грунта (например, в программном комплексе «Лира» предусматривается использовать только две модели грунта – модель Винклера и двухпараметрическую модель П. Л. Пастернака).

Широко используется и метод конечных элементов (МКЭ) для расчета тоннельных обделок, причем количество конечных элементов может достигать сотен тысяч. Недостаток этих программных комплексов, на наш взгляд, состоит в том, что суть дела понимают только разработчики программы. Пользователи же умеют только вводить исходные данные и рассматривать результаты расчета.

Проблематичен вопрос о расчете подземных сооружений на несимметричное воздействие нагрузок, возникающих при одностороннем нагружении системы транспортом. Первоначально [1, 2] отпор грунта на боковую стенку, возле которой нет транспортных единиц, принимался равным давлению на стенку, у которой располагался транспорт. В более поздних работах [12] этот отпор принимался как доля от давления транспорта, т.е. предполагалось, что все-таки боковое смещение тоннеля возможно. Однако, наши исследования показали, что уже при незначительной толщине засыпки над перекрытием (70-90 см) по причине значительных

сил трения грунта по лотку и перекрытию, боковое смещение тоннеля не происходит. Должно быть также учтено и затухание давления от транспорта по глубине грунтового массива.

Таким образом, должны разрабатываться по нашему мнению, такие подходы к решению задачи по расчету прямоугольных подземных сооружений, которые были бы применимы для всех типов конструкций, с реализацией любой модели грунтов в линейной или нелинейной постановках.

Первое направление решения этого вопроса мы видим в расчленении обделки в узлах или в точках постановки шарниров на плоские или сводчатые (для свода) элементы, а при их расчете применении предложенных автором [13-15] решений с использованием смешанного метода Б. Н. Жемочкина [6].

Это позволит решение тоннельной обделки свести к расчету отдельных полос, а это, в свою очередь, позволит применять любые модели грунта в пределах каждой полосы, учесть линейные или нелинейные процессы, происходящие в материале обделки и в грунтах, решать задачи с учетом воздействия симметричных и несимметричных нагрузок, упростить создание программных комплексов. Такая расчетная модель даст возможность рассчитывать все типы прямоугольных обделок по единой методике.

Второе направление – это расширение возможностей расчета обделок в рамках теорий, предложенных Ю. М. Айвазовым, Н. Н. Фотиевой и другими авторами. Здесь очень сложной будет реализация задачи по применению любых моделей грунта.

Таким образом, при расчете подземных сооружений еще придется решать целый ряд серьезных проблем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаренко Б. П. Железобетонные мосты: Учебник для вузов.- Изд. 2-е, доп. и перер.- М.: Высш. шк., 1970. – 432 с.
2. Волков В. П. Тоннели: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1970. – 408 с.

3. ДБН 2.3 – 14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. – К.: Міністерство буд-ва, арх. та житлово-комун. гос-ва, 2006. – 359 с.
4. Киселев В. А. Балки и рамы на упругом основании. – М.-Л.: Гл. редакция стр-й л-ры, 1936. – 228 с.
5. Горбунов-Посадов М. И. Расчет конструкции на упругом основании. – 3-е изд., перераб. и доп. / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. Н. Соломин. – М.: Стройиздат, 1984. – 689 с.
6. Жемочкин Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. – 2-е изд., перераб. и доп. / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М.: Госстройиздат, 1962. – 239 с.
7. Симвулиди И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании: Учебн. пос. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 575 с.
8. Давыдов С. С. Расчет и проектирование подземных сооружений. – М.: Стройиздат, 1950. – 376 с.
9. Маликова Т. А. Расчет цельносекционной обделки тоннелей мелкого заложения // Осн., ф-ты и мех. грунтов, 1964, № 2. – С. 17-24.
10. Айвазов Ю. М. Напружено-деформований стан гірничого масиву біля протяжної виробки довільного перерізу // Автом. дороги і дор. буд-во. – К.: Будівельник, 1980. – Вип. 33. – С. 65-72.
11. Фотиева Н. Н. Расчет обделок некругового поперечного сечения. – М.: Стройиздат, 1974. – 240 с.
12. Руководство по проектированию коммуникационных тоннелей и каналов. – М.: Стройиздат, 1974. – 70 с.
13. Кожушко В. П. Определение давления грунта от эксплуатационной нагрузки на подземные сооружения мелкого заложения // Сопротивление материалов и теории сооружений. – К.: Будівельник, 1972. – Вип. XVII. – С. 121-126.
14. Кожушко В. П. Основы расчёта подземных сооружений прямоугольного очертания на симметричную загрузку // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, 1971, № 3. – С. 29-32.
15. Кожушко В. П. О необходимости расчета подземных сооружений мелкого заложения на симметричное и несимметричное воздействие временных нагрузок // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, 1971, № 12. – С. 151-154.

Поступила в редколлегию 22.10.2007.