

УДК 69.035

А.А. Скворцов**ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИТОГОВУЮ
ВЕЛИЧИНУ СТРОИТЕЛЬНОГО ЗАЗОРА**

Рассмотрены расчетные схемы и алгоритм определения деформированного состояния грунтового массива при подработке.

Ключевые слова: грунтовый массив, деформированное состояние, смещения, деформации.

Строительство городских тоннелей закрытым способом вызывает сдвиги грунтового массива в окрестности подземной выработки, и как следствие поверхности земли, что влечет за собой повреждения фундаментов расположенных поблизости зданий, инженерных коммуникаций, дорожного покрытия и т.д.

В настоящее время широко распространено строительство тоннелей с применением современных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с активным пригрузом забоя и обделкой из высокоточных железобетонных блоков или железобетонных трубчатых секций.

Анализируя современные методы определения смещений грунтового массива, можно сказать, что наиболее распространенным является численный метод с применением современных программных продуктов. Это обусловлено тем, что данный метод позволяет учесть огромное множество различных технологических и инженерно-геологических параметров. К таким факторам можно отнести: строительный зазор ТПМК, вес ТПМК, свойства слагающих грунтовый массив пород и т.д.

Имеется также ряд технологических факторов, оказывающих слабое влияние на смещения массива или не поддающихся количественному описанию. К таким факторам можно отнести: наличие у щитовых тоннелепроходческих комплексов некоторых производителей конусности; проходка щита под различным углом («подъем» или «клевание»); «отступление» щита, приводящее к обрушению и разуплотнению грунтового массива в забое; отклонение движения щита от прямолинейной траектории; трение между оболочкой щита и поверхностью грунта; длительная консолидация грунта после завершения строительных работ.

На данный момент активно применяется методика прогнозирования оседаний поверхности земли в двухмерной постановке. При этом каждая задача решается в 2 этапа. На первом этапе моделируется разработка и выемка грунта из тоннеля, его осушение и установка обделки, на втором этапе — заполнение грунтом строительного зазора, выражаемое в процентах от его площади [1].

Данный метод позволяет прогнозировать величину оседаний поверхности с учетом качества выполнения строительных работ, т.е. с учетом коэффициента заполнения строительного зазора. Используется решение задачи, где в качестве основного влияющего фактора рассматривается величина строительного зазора (рис. 1).

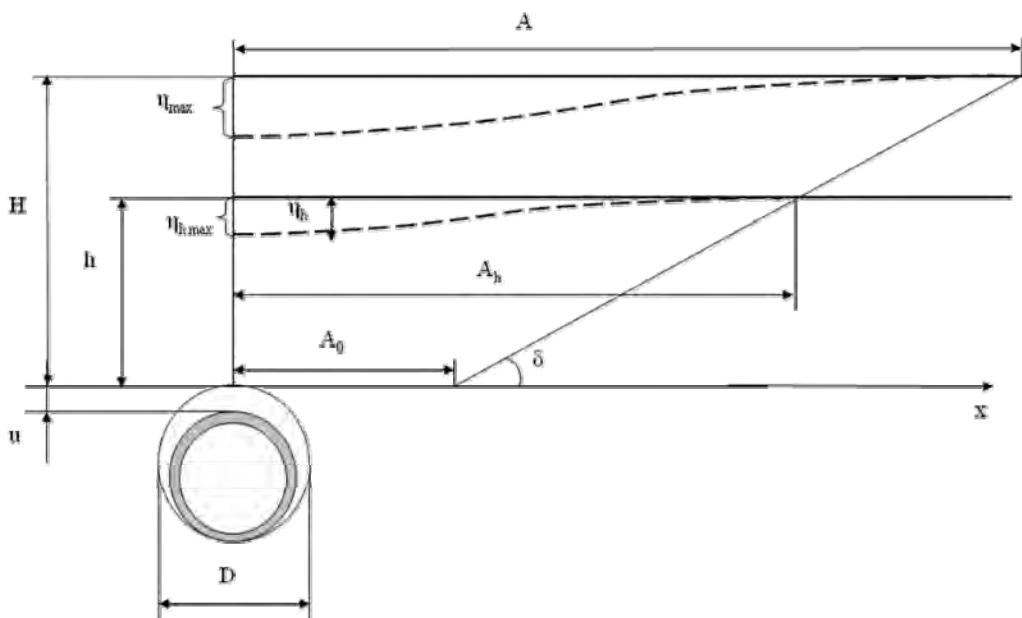


Рис. 1. Расчетная схема

На приведенной выше расчетной схеме:

D — диаметр подрабатываемой выработки, м;

u — итоговая величина строительного зазора, м;

A, A_0, A_h — размеры полумульды сдвижений грунтового массива соответственно на поверхности, на уровне шельги выработки и на горизонте слоя грунтового массива, считая от шельги выработки, м;

h, H — расстояние от шельги выработки соответственно до горизонта слоя и до земной поверхности, м;

δ — граничный угол сдвижений грунтового массива при подработке, измеряемый как внешний угол относительно горизонтальной оси x с началом координат в шельги выработки, град.;

$\eta_{\max}$ и $\eta_{h\max}$ — максимальное вертикальное смещение поверхности и максимальное вертикальное смещение слоя грунтового массива на горизонте h над выработкой, м;

η, η_h — вертикальное смещение соответственно поверхности и слоя грунтового массива на горизонте h в сечении с координатой x , м.

Учитывая описанные выше факторы в итоговую величину строительного зазора необходимо включить и другие составляющие уменьшения вертикального диаметра поперечного сечения выработки:

$$u = u_0 + u_1 + u_2 + u_3,$$

где u_0 — величина удвоенного строительного зазора, с учетом заполнения строительного зазора тампонажным раствором, u_1 — смещение вызванное проседанием ТПМК под собственным весом, u_2 — смещение от деформаций грунта в забое; u_3 — смещение от деформаций обделки под воздействием горного давления.

Величина строительного зазора определяется разностью в диаметрах ротора и обделки тоннеля, а также качеством его заполнения тампонажным раствором, выражаемое в процентах от первоначального строительного зазора.

Важным фактором, влияющим на результирующее оседание поверхности при щитовой проходке, является проседание тоннелепроходческого комплекса под собственным весом [2]. Вес ТПМК может достигать 20000 кН и вся нагрузка распределяется на грунтовое основание, находящееся под лотковой части щита, которое деформируется, что приводит к осыпанию грунта в шельге выработки и как следствие оседанию поверхности. В целях минимизации оседаний щита и следования траектории проходки, управление ТПМК осуществляется под специальным углом наклона, называемым углом тангажа. Определение величины оседания ТПМК под собственным весом дает возможность определить угол тангажа.

Известно, что образование мульды сдвижения начинается на некотором удалении впереди ТПМК. Это также вызвано влиянием пригруза забоя. При давлении пригруза меньше горного давления на уровне забоя ТПМК, будет происходить повышенный перебор грунта ротором, что вызовет увеличение оседаний поверхности. С этой целью необходимо определить минимальное давление пригруза, при котором не происходит образование пластических зон в забое. Расчет производился в несколько фаз: на первой фазе производился расчет начального напряженно-деформированного состояния массива; на второй фазе моделировалась закрепленная выработка и величина пригруза равная $0,95P_r$, если на данной фазе расчета пластические зоны не появлялись, то вместо нее создавалась новая фаза расчета с уменьшенной величиной пригруза на $0,05P_r$. Таким образом, выявлялась минимальная величина пригруза забоя, при которой не происходило его обрушения.

Также важным фактором, влияющим на оседание поверхности, является деформация обделки под действием горного давления. Наименьшей деформируемостью обладают обделки, используемые в микротоннелировании, состоящие из цельных железобетонных секций. Использование такого вида обделок для тоннелей диаметром более 2 м весьма затруднительно, в этом случае применяются обделки из высокоточных железобетонных блоков, которые более подвержены деформациям от горного давления, чем железобетонные секции. С этой целью рассматривалась задача о сравнении деформируемости обделок.

Воздействие нагрузок от горного давления с преобладающим вертикальным вектором на конструкции обделки коллекторных тоннелей может привести к вертикальным смещениям конструкции в своде и соответственно к увеличению итогового строительного зазора u , определяющего сдвижения подрабатываемого грунтового массива и земной поверхности. Используя расчетные рекомендации, приведенные в [3], выполним оценку максимальных величин вертикальных смещений железобетонных обделок кругового поперечного сечения в виде труб для технологии микротоннелирования или в виде блочных конструкций для щитовой проходки, обычно применяемых при сооружении коллекторных тоннелей.

Для оценки максимальных смещений в своде обделки к центру выработки, которые приняты отрицательными, воспользуемся выражением

Таблица 1

Расчет для труб разных диаметров

Наружный диаметр, м	1000	1200	1400	1500	1600	2000	2500	3000
d , мм	135	147,5	190	140	200	250	250	300
$\frac{r_0}{d}$	3,7	4,07	3,68	5,36	4,00	4,00	5,00	5,00
$4\left(\frac{r_0^3}{d^3} + 3\frac{r_0^2}{d^2}\right)$	367	470	362	961	448	448	800	800

$$u_k = \frac{2r_1}{E_0^*} \left\{ \left(\frac{r_0}{d} + 1 \right) \cdot q + \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot \left(\frac{r_0^3}{d^3} + 3 \cdot \frac{r_0^2}{d^2} \right) \cdot S \right\} \cdot p,$$

где r_1 — радиус наружного контура обделки; r_0 — радиус внутреннего контура обделки; d — толщина обделки; E_0^* — модуль деформации бетона, равный 0,7 от начального модуля упругости бетона; $q = -0,75$ — параметр равномерно распределенной контактной нагрузки на границе «грунтовый массив-обделка» (нагрузка сжатия принята отрицательной); S — параметр неравномерно распределенной контактной нагрузки, определяемый по формуле

$$S = -\frac{1,9}{\alpha_1} \frac{E_0^*}{E^*},$$

где E_0^* — приведенный модуль деформации вмещающего обделку грунта равный 1,12Е; E — модуль деформации грунта; α_1 — деформационно-геометрический параметр обделки, определяемый по рекомендациям [3];

$$\alpha_1 = 4 \cdot \left(\frac{r_0^3}{d^3} + 3 \frac{r_0^2}{d^2} \right) + 4,5 \frac{E_0^*}{E^*}.$$

Ниже в табл. 1 приведены параметры деформируемости железобетонных труб, применяемых в технологии микротоннелирования

Судя по таблице 1, наибольшей деформируемостью обладает труба $D_0=1500$ мм.

Расчетное выражение (2) для последующего анализа целесообразно записать в виде:

$$S = -\frac{1,9}{4 \cdot \left(\frac{r_0^3}{d^3} + 3 \frac{r_0^2}{d^2} \right) \cdot \frac{E^*}{E_0^*} + 4,5}.$$

Поэтому для оценки максимальных вертикальных смещений обделки при заданном модуле деформации бетона E_0^* , который для бетона класса В40 будет равен $26200 \cdot 10^3$ кН/м², рассмотрим грунтовый с малой жесткостью $E^*=1,12 \cdot 15000=16800$ кН/м², что соответствует минимальному значению отношения $E^*/E_0^*=0,00064$. Тогда для обделки $D_0=1500$ мм с наибольшей деформируемостью находим из выражения (4) $S=-0,37$. При тех же исходных данных $E^*/E_0^*=0,00064$ для обделки $D_0=1400$ мм находим $S=-0,4$, что являет-

ся очевидно максимальным значением параметра контактной нагрузки для железобетонных труб.

Рассматривая наиболее податливую конструкцию обделки $D_0=1500$ мм с параметром деформируемости $r_0/d=5,36$ при $S=-0,37$, $q=-0,75$, $p=350$ кН/м², $r_1=0,89$, $E_0=26200 \cdot 10^3$ кН/м², находим по формуле (1)

$$u_3 = \frac{2 \cdot 0,89}{26200 \cdot 10^3} \left\{ (5,36 + 1) \cdot (-0,75) + \frac{1}{3} \cdot 961 \cdot (-0,37) \right\} \cdot 350 = -0,00254 \text{ м},$$

т.е. абсолютная величина максимальных смещений конструкции обделки $u_3=2,5$ мм.

При использовании блочной обделки в технологии шитовой проходки податливость конструкции будет больше за счет смятия межблочных прокладок толщиной $t_{пр}=0,005$ м из герметиков с модулем деформации $E_{пр}^*=100 \cdot 10^3$ кН/м². Если рассматривать блочную обделку $D_0=3,0$ м толщиной $d=0,3$ м из блоков, средний размер одного блока по окружности будет равен $t_{бл}=1,7$ м. Тогда приведенная жесткость конструкции обделки

$$E_K^* = \frac{E_0^* \cdot E_{пр}^*}{t_{пр} \cdot E_0^* + t_{бл} \cdot E_{пр}^*} = \frac{26200 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{0,005 \cdot 26200 \cdot 10^3 + 1,7 \cdot 100 \cdot 10^3} = 87000 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2.$$

После подставим E_K^* в расчетное выражение (1) находим $|u_3|=7,6$ мм. Таким образом, предельные максимальные смещения в своде конструкции обделки от воздействия горного давления будут не более 10 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов И.В., Мукаев И.Р., Сворцов А.А. Горный информационно-аналитический бюллетень «Определение параметров мульты сдвижения грунтового массива при подработке его строящимся тоннелем» № 2, — М., 2011. — С. 265—267.
2. Thomas Kasper, Gunther Meschke. Tunnelling and Underground Space Technology 21. 2006. — P. 160—171.
3. Баклашов И.В., Корчак А.В., Ковнат-Лернер В.В. Общие теоретические положения по определению нагрузки на обделку тоннелей от воздействия горного давления. ГИАБ № 11, 2011. — С. 184—190. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Сворцов Алексей Александрович — аспирант кафедры «Физика горных пород и процессов», sa@msmu.ru.

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru



НОВОСТИ ИЗ АВСТРАЛИИ

Горняки из компании Rio Tinto (Австралия) рассказали всему миру о своей находке — розовом алмазе огромных размеров.

Очень редкий камень розового оттенка весит 12,76 карата. Этот алмаз стал самым крупным розовым алмазом, когда-либо найденным на просторах Австралии. Оценщики затрудняются назвать стоимость находки, но уверены что его цена превысит 12 млн долл.