

УДК 622.013.2

В.В. Ковнат-Лернер

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ ФУТЛЯРОВ ДЛЯ ВОДОНЕСУЩИХ КОММУНИКАЦИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД В ТЕХНОЛОГИИ МИКРОТОННЕЛИРОВАНИЯ

Анализируется деформирование стальных футляров под воздействием грунтовых вод. Ключевые слова: стальной футляр, воздействие, грунтовые воды, деформирование, микротоннелирование.

Грунтовые воды оказывают двоякое воздействие на стальные футляры:

- 1) взвешивающее воздействие на скелет грунтов, что изменяет величину объемного веса грунтов γ , т.е. в обводненном состоянии объемный вес грунтов будет равен $\gamma_{взв} < \gamma$, и в конечном итоге изменяет величину нагрузки от горного давления;

- 2) грунтовые воды оказывают всестороннее радиальное давление на стальные футляры, что увеличивает напряжение сжатия σ_0 и вызывает соответствующие деформации стальных футляров.

Чтобы оценить взвешивающее воздействие грунтовых вод, запишем выражение для объемного веса грунта в обводненном состоянии

$$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_0 - 10}{1 + e}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}, \quad (1)$$

где γ_0 – удельный вес скелета грунта, который по рекомендациям Д.Е. Польшина можно принимать следующим образом: песок $\gamma_0 = 26,6 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$; супесь

$$\gamma_0 = 27,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}; \text{ суглинок } \gamma_0 = 27,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}; \text{ глина } \gamma_0 = 27,4 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3};$$

e – коэффициент пористости грунтов.

Ниже в таблице 1 вычислены величины $\gamma_{взв}$ для типовых грунтов при соответствующих коэффициентах пористости e . По результатам этих вычислений определены с некоторым запасом $\gamma_{взв}$ для основных типов грунтов по их максимальному значению: песок $\gamma_{взв} = 10 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$; супесь $\gamma_{взв} = 10,3 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$; суглинок

$$\gamma_{взв} = 11 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}; \text{ глина } \gamma_{взв} = 11,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

В среднем для расчетов нагрузки от горного давления в обводненном грунтовым массиве можно принимать $\gamma_{взв} = 11 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$.

Таблица 1

№ п/п	Тип грунтов	Коэффициент пористости, e	Удельный вес скелета грунта, $\gamma_0, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$	Объемный вес грунта в обводнённом состоянии, $\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$
1	Песок гравелистый	0,65	26,6	10,06
2	Песок крупный	0,65	26,6	10,06
3	Песок средней крупности	0,65	26,6	10,06
4	Песок мелкий	0,65	26,6	10,06
5	Песок пылеватый	0,70	26,6	9,76
6	Супесь пластичная	0,65	27,0	10,30
7	Супесь текучая	0,70	27,0	10,30
8	Суглинок полутвердый	0,55	27,1	11,03
9	Суглинок тугопластичный	0,55	27,1	11,03
10	Суглинок мягкопластичный	0,65	27,1	10,36
11	Глина твердая	0,55	27,4	11,22
12	Глина пластичная	0,55	27,4	11,22

Для анализа нагрузки от горного давления в обводнённом массиве рассмотрим две геомеханические ситуации:

1) если высота уровня грунтовых вод от шельги тоннеля H_B меньше высоты «свода давления» h (рис. 1, а), нагрузка от горного давления определяется по формуле

$$p = k\gamma(k_1H - H_B) + k\gamma_{взв}H_B \text{ при } k_1H > H_B; \quad (2)$$

2) если высота уровня грунтовых вод от шельги тоннеля H_B больше высоты «свода давления» h (рисунок 8, б), нагрузка от горного давления определяется по формуле

$$p = k\gamma_{взв}k_1H \text{ при } k_1H \leq H_B, \quad (3)$$

где H – глубина заложения тоннеля от его шельги; $k_1 = \frac{h}{H}$ – коэффициент, определяющий высоту свода давления ($k_1 \leq 1$); $k = 1,1$ – коэффициент надежности по нагрузке от воздействия грунтовых вод.

Приведем соответствующие формулы для определения суммарной нагрузки от горного давления и «колесной» нагрузки в обводнённом массиве:

$$p = k\gamma(k_1H - H_B) + k\gamma_{взв}H_B + \frac{190}{3 + H} \text{ при } k_1H > H_B; \quad (4)$$

$$p = k\gamma_{взв}k_1H + \frac{190}{3 + H} \text{ при } k_1H \leq H_B. \quad (5)$$

Чтобы оценить всестороннее давление на стальные футляры и возникающие при этом напряжения сжатия σ_θ в шельге стального футляра, будем в запас прочности считать $H_B > r$, где $r = 0,5D$, D – диаметр стального футляра.

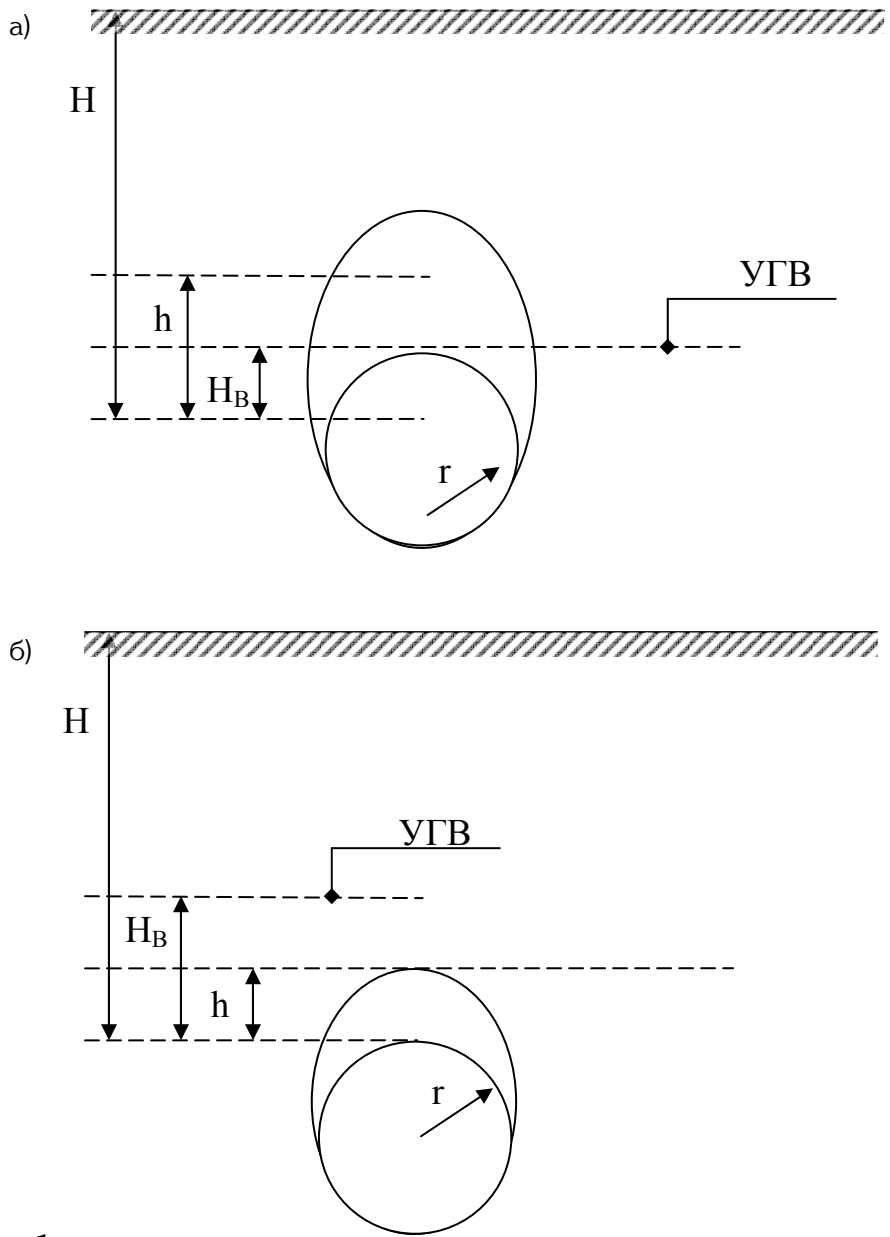


Рис. 1

Тогда

$$\sigma_{\theta} = -\frac{k(H_B + 0,5D)r}{d} 10, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}, \quad (6)$$

где d – толщина стенки стального футляра.

Радиальные перемещения в шельге стального футляра при этом составят

$$U = -\frac{2k(H_B + 0,5D)r^2}{E_1^*d} 10, \text{ м} \quad (7)$$

где E_1^* – приведенный к условиям плоской деформации модуль упругости стали.

Чтобы оценить воздействие грунтовых вод, сопоставим напряжения сжатия σ_θ и радиальные смещения в шельге стального футляра, находящегося в «сухом» грунтовом массиве и в полностью обводненном грунтовом массиве при одной и той же глубине заложения, т.е. будем считать $H_B=H$. Кроме того, рассмотрим наиболее неблагоприятную геомеханическую ситуацию - формирование горного давления, как от веса грунта до земной поверхности ($k_1=1$). Тогда по формуле (5), положив $\gamma_{взв} = 11 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$, будем иметь суммарную нагрузку от горного давления и «колёсную» в обводненном грунтовом массиве

$$p_B = 12,1H + \frac{190}{3+H}, \quad (8)$$

соответственно в «сухом» грунтовом массиве

$$p_C = 20,9H + \frac{190}{3+H}. \quad (9)$$

Возникающие при этом напряжения сжатия в шельге стального футляра от этой нагрузки будут равны согласно исследованиям [1]:

в объемном массиве

$$\sigma_{\theta_{НВ}} = -\left(0,75 \frac{r}{d} + 2 \frac{r^2 s^*}{d^2}\right) p_B,$$

в сухом массиве

$$\sigma_{\theta_{НС}} = -\left(0,75 \frac{r}{d} + 2 \frac{r^2 s^*}{d^2}\right) p_C,$$

где безразмерный параметр контактной нагрузки s^* определяется по результатам исследований [1].

Полные напряжения в обводненном массиве следует просуммировать с напряжениями от давления столба грунтовых вод $H_B=H$, которые определяются выражением (6), где можно положить $H_B \gg 0,5D$.

Тогда суммарные напряжения в обводненном массиве

$$\sigma_{\theta_{НВ}} = -\left(0,75 \frac{r}{d} + 2 \frac{r^2 s^*}{d^2}\right) p_B - 11 \frac{r}{d}.$$

Определим разность напряжений в сухом и обводненном грунтовом массиве:

$$\sigma_{\theta_{НС}} - \sigma_{\theta_{НВ}} = 4,4H \frac{r}{d} \left(1 - \frac{rs^*}{d}\right).$$

Напряжения сжатия в стальном футляре в сухом массиве будут всегда больше, чем в обводненном массиве, если будет выполняться соотношение

$$4 \frac{rs^*}{d} > 1. \quad (10)$$

Для наиболее неблагоприятной геомеханической ситуации – «жесткий» грунтовый массив ($E_2=35$ МПа) и «податливый» стальной футляр ($\frac{r}{d} = 61$) – на-

ходим произведение $\frac{rs^*}{d} = 0,675$, используя результаты исследований [1]. Тогда

$$4 \frac{rs^*}{d} = 2,7 > 1,$$

т.е. условие (10) выполняется и напряжения сжатия в шельге стального футляра будут всегда больше в сухом грунтовом массиве при прочих равных условиях.

Сравним радиальные смещения в шельге в обводненном грунтовом массиве при тех же предпосылках, с учетом результатов исследования [1] и расчетных выражений (7)

$$U_B = -2 \left(0,75 \frac{r}{d} + \frac{4 r^3 s^*}{3 d^3} \right) r \frac{p_B}{E_1^*} - 22 \frac{H r}{E_1^* d} r \quad (11)$$

и в сухом грунтовом массиве

$$U_C = -2 \left(0,75 \frac{r}{d} + \frac{4 r^3 s^*}{3 d^3} \right) r \frac{p_C}{E_1^*}.$$

Определим разность радиальных смещений

$$U_C - U_B = 8,8 \frac{H r}{E_1^* d} r \left(1 - \frac{8 r^2 s^*}{3 d^2} \right). \quad (12)$$

Радиальные смещения в шельге стального футляра в сухом массиве будут всегда больше, чем в обводненном, если соблюдается соотношение

$$\frac{8 r^2 s^*}{3 d^2} > 1, \quad (13)$$

которое выполняется для любой геомеханической ситуации.

Сравним условия равномерного обжатия в обводненном массиве

$$q_B = -0,75 p_B - 11 H \quad (14)$$

и в сухом массиве

$$q_C = -0,75 p_C. \quad (15)$$

После подстановки выражений (8) и (9) находим:
в обводненном массиве

$$q_B = -20,1H - 0,75 \frac{190}{3+H}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2},$$

в сухом массиве

$$q_C = -15,7H - 0,75 \frac{190}{3+H}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$$

т.е. в обводненном массиве равномерное обжатие стального футляра будет больше, что следует учитывать при анализе потери устойчивости незаполненного стального футляра.

Выполненные сопоставления нагрузок и деформирования стальных футляров в сухом и обводненном массиве позволяют сделать следующие выводы:

1) при наличии грунтовых вод проверка прочности и деформативности незаполненных стальных футляров может быть выполнена с определенным запасом в предположении отсутствия грунтовых вод;

2) воздействие грунтовых вод в прочностных и деформационных расчетах стальных футляров можно учитывать только в том случае, если известен постоянный минимальный уровень грунтовых вод над шельгой тоннеля H_B ;

3) проверку устойчивости незаполненного стального футляра следует выполнять с учетом максимального возможного уровня грунтовых вод H_B .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баклашов И.В., Корчак А.В., Ковнат-Лернер В.В. Определение напряжений и деформаций в стальных футлярах от воздействия эксплуатационных нагрузок в технологии продавливания. ГИАБ №8, 2009.

ГИАБ

Коротко об авторе

Ковнат-Лернер В.В. – аспирант кафедры Строительство подземных сооружений и шахт, Московский государственный горный университет, Moscow state mining university, Russia, ud@msmu.ru

