

РАСЧЕТ ОСАДОК ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ ПРИ ГЛУБОКОМ ВОДОПОНИЖЕНИИ В ЛАГЕРНОМ САДУ ГОРОДА ТОМСКА

Н.А. Чернышова

При освоении урбанизированных территорий исключительно актуальное значение приобретает проблема оценки геоэкологических условий и прогноза осадок грунтовых толщ при водопонижении. Рассматриваемая проблема имеет исключительно важное значение для г. Томска в связи с внедрением комплекса противооползневых мероприятий на правом берегу р. Томи в районе Лагерного Сада. Среди мероприятий инженерной защиты рекомендуемых комплексным проектом предусмотрено строительство дренажной горизонтальной выработки (штольни) для осушения склона и снижения уровня риска развития оползневых процессов. Реализация данного мероприятия может иметь, наряду с положительным эффектом негативные последствия, связанные с развитием осадок при водопонижении.

В геологическом строении территории принимают участие отложения палеозойской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

Решающую роль в обводнении грунтового массива в Лагерном Саду г. Томска играют подземные воды неоген-палеогеновых отложений ($N_2kcs + P_3/g$), которые залегают на глубине 19-33 м и оказывают большое влияние на развитие оползневых процессов. Для предотвращения такого развития реализуется проект осушения грунтового массива с помощью горизонтальной дренажной выработки (ДГВ), что приведет к улучшению физико-механических свойств грунтов и повышению устойчивости склона. Вместе с тем при глубоком водопонижении будут наблюдаться осадки грунтовых толщ, что может привести к деформации зданий и сооружений в пределах развития депрессионных воронок. Поэтому в настоящей работе на основании выполненных исследований дается прогнозная оценка осадок грунтовых толщ при водопонижении.

Решению данной проблемы посвящены работы Н.М. Герсевича [1], В.А. Мироненко, В.М. Шестакова [2], З.Г. Тер-Мартirosяна [3, 4], Ю.И. Ярового [5] и многих других.

Общее решение дифференциальных уравнений одномерного уплотнения водонасыщенных дисперсных грунтов при равномерном водопонижении на большой площади и с переменными граничными условиями, а

также методика расчета оседаний земной поверхности при образовании депрессионной воронки предложены профессором З.Г. Тер-Мартirosяном [3]. Осадка слоя грунта в предположении, что коэффициент фильтрации его велик, а скелет не обладает ползучестью и эпюра напряжений треугольная, определяется по формуле

$$S_{(t)} = \gamma_w \cdot \Delta H^2 \cdot m / 2,$$

где t – время от начала водонасыщения;
 m – коэффициент относительной сжимаемости;

ΔH – величина понижения;

γ_w – удельный вес воды.

Для прогнозирования напряженно-деформированного состояния грунта З.Г. Тер-Мартirosяном [3] использовано решение задачи о силе, приложенной внутри полупространства. Вначале определяются осадки в точке на поверхности земли, расположенной под центром водопонижающей скважины по формуле

$$S_0 = \frac{\gamma_w (1 - \nu)}{E} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta C_i \cdot C_i \cdot A_i,$$

где C_i – расстояние от поверхности до депрессионной кривой в i -ой точке воронки;

ΔC_i – мощность элементарного слоя внутри депрессионной воронки;

ν – коэффициент Пуассона (коэффициент бокового расширения грунта);

$$A_i = 2 \cdot (1 - \nu_i) (\sqrt{1 + \alpha_i^2} - \sqrt{1 + \beta_i^2}) + 1 / \sqrt{1 + \beta_i^2} - 1 / \sqrt{1 + \alpha_i^2},$$

$$\alpha_i = \frac{r_i}{C_i}; \quad \beta_i = \frac{r_0}{C}$$

– вспомогательные величины;

r_i – расстояние от центра скважины до поверхности депрессионной кривой в слое;

r_0 – радиус скважины или колодца.

Предполагая, что форма прогиба поверхности подобна кривой депрессии, описываемой уравнением

$$Z^2 = h_0^2 + (H^2 - h_0^2) [\ln(r/r_0) / \lg(R/r_0)],$$

вычисляются осадки в любой точке по площади мульды депрессии

$$S_{ri} = \sqrt{S_0^2 + (S_R^2 - S_0^2) \ln(r/r_0) / \lg R/r_0},$$

где R – радиус влияния скважины (радиус депрессии);

h_0 и H – пониженные уровни воды в скважине и на расстоянии r от нее;

r_0 – радиус скважины или колодца;

S_R – осадка поверхности на границе депрессионной воронки R.

Ю.И. Яровой [5] на основании сравнения аналитического и численного решений, с допущением «структурной прочности» грунтов, предлагает в формулу З.Г. Тер-Мартirosяна ввести поправочный коэффициент

$$K_m = 1 + \frac{N_m}{m}.$$

Тогда формула З.Г. Тер-Мартirosяна принимает вид

$$S_0 = \frac{\gamma_w(1 + \nu_m)}{E_m \cdot K_m} \sum_{i=1}^n \Delta C_i \cdot C_i \cdot A_i,$$

где E_m , ν_m – приведенные значения (средне-взвешенные) модуля деформации и коэффициента Пуассона грунта;

N_m – коэффициент, принимаемый из таблицы в зависимости от мощности сжимаемой толщи (м).

Осадка в любой точке по площади депрессионной воронки рассчитывается по формуле

$$S_r = \sqrt{S_0^2 - S_0^2 \cdot \ln(r/r_0) / \ln(R/r_0)},$$

где R – радиус депрессионной воронки;

r – расстояние от точки до центра водопонижительной скважины.

Для территории Лагерного Сада расчет осадок при условии полного осушения проводился по формуле

$$S = \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{h_i \cdot \sigma_{zq}}{E_i},$$

где S – полная осадка грунтовой толщи, м;

β – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

h_i – мощность слоя грунта, м;

σ_{zq} – среднее значение дополнительного вертикального напряжения, вызванного снижением уровня подземных вод, МПа;

E_i – модуль деформации с учетом m_k .

Расчеты по вышепредложенной формуле с использованием результатов изучения физико-механических свойств грунтов выполнены для территории Технопарка (скв. ГФ – 3). По результатам расчетов суммарная осадка грунтовой толщи на участке Технопарка составит 61,61 мм. Осадки, вызванные понижением уровня подземных вод, будут зависеть от литологического состава осушаемых грунтов и от величины понижения.

Исходные данные и результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица

Расчет осадки грунтовой толщи при глубоком водопонижении (Технопарк, скв. ГФ-3)

№ игэ	Тип грунта	h, м	ρ_0 , г/см ³	ρ_s , г/см ³	$\rho_{взв}$, г/см ³	E^*m_k , МПа	σ_{zq} , кПа	σ_{zq}' , кПа	$\sigma_{zq,доп}$, кПа	σ_{zq} , кПа	S, мм
	Гравий	1,0	1,97	2,75	-	50,0	19,7	19,7	0	0	0
1	Суглинок п/тв	1,1	2,01	2,76	-	27,8	41,81	41,81	0	0	0
2	Суглинок т/пл	0,9	1,93	2,74	-	13,5	59,18	59,18	0	0	0
9	Песок м/вл	1,1	1,95	2,65	-	24,5	80,63	80,63	0	0	0
2	Суглинок м/пл	2,1	1,93	2,74	-	13,5	121,16	121,16	0	0	0
1	Суглинок п/тв	1,6	2,01	2,76	-	27,8	153,32	153,32	0	0	0
3	Суглинок т/пл	4,0	1,95	2,75	-	21,8	289,82	289,82	0	0	0
3	Суглинок т/пл	3,0	1,95	2,75	-	21,8	289,82	289,82	0	0	0
4	Суглинок п/тв	0,8	2,01	2,76	-	23,5	305,9	305,9	0	0	0
3	Суглинок т/пл	2,0	1,95	2,75	-	21,8	344,9	344,9	0	0	0
4	Суглинок п/тв	2,8	2,01	2,76	-	23,5	401,18	401,18	0	0	0
3	Суглинок т/пл	1,4	1,95	2,75	0,97	21,8	414,76	425,26	10,5	5,25	0,27

РАСЧЕТ ОСАДОК ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ ПРИ ГЛУБОКОМ ВОДОПОНИЖЕНИИ В ЛАГЕРНОМ САДУ ГОРОДА ТОМСКА

Прод. табл.

№ игэ	Тип грунта	h, м	ρ_0 , г/см ³	ρ_s , г/см ³	$\rho_{взв}$, г/см ³	E^*m_k , МПа	σ_{zq} , кПа	σ_{zq}' , кПа	$\sigma_{zq,доп}$, кПа	σ_{zq} , кПа	S , мм
5	Суглинок твердый	3,6	2,04	2,71	1,08	33,8	453,64	493,3	39,66	25,08	2,14
6	Песок гравелистый, в/н	3,8	1,97	2,75	0,97	50,0	490,5	552,2	61,7	50,68	3,08
9	Песок пылеватый, в/н	8,8	1,95	2,65	1,97	24,5	575,86	705,32	129,46	95,58	27,46
11	Глина т/пл	1,3	1,84	2,59	0,85	49,5	586,91	729,24	142,33	135,9	2,855
9	Песок м/вл	4,5	1,95	2,65	0,97	24,5	630,56	807,54	176,98	159,66	23,46
14	Супесь пластичная	1,1	2,04	2,68	0,95	68,8	641,01	829,15	188,14	182,56	2,34

Примечание. h - мощность слоя грунта; ρ_0 - плотность грунта; ρ_s - плотность частиц грунта; $\rho_{взв}$ - плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды; E - модуль деформации; σ_{zq} , σ_{zq}' - напряжения в подошве слоя до и после осушения; $\sigma_{zq,доп}$ - дополнительные напряжения; σ_{zq} - дополнительные напряжения в середине слоя.

ЛИТЕРАТУРА

Следует отметить, что расчет осадок при водопонижении проводился без учета суффозионного выноса частиц грунта из массива при осушении, поэтому реальные осадки земной поверхности могут существенно превышать расчетные.

Таким образом, при полном водопонижении с помощью горизонтальной дренажной выработки будут наблюдаться значительные осадки, что необходимо учитывать при эксплуатации природно-технических систем.

1. Герсеванов Н.М. Собрание сочинений. Том 2. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. - 375 с.
2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. – М.: Изд-во Недр, 1974.-296с.
3. Тер-Мартirosян З.Г. Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов. – М.: Недр, 1986. - 292 с.
4. Тер-Мартirosян З.Г., Нурджанян С.М. Прогноз оседания поверхности земли вследствие понижения уровня грунтовых вод скважинами / Межвуз. сборник ЕрПИ, 1980, сер. 12, вып. 6. - С. 178-183.
5. Яровой Ю.И. Прогноз деформаций земной поверхности и защита городской застройки при строительстве метрополитенов на Урале. – Екатеринбург: Изд-во УрГАПС, 1999. - 258 с.