

# Прогноз просадки подстилающего слоя под намывным грунтом при равномерном подъеме грунтовых вод



**А. Д. МАНИ,**  
магистр  
(НТУУ «КПИ»)

Рассмотрены проблемы прогноза просадки подстилающего слоя под намывными песками малой толщины в массиве основания подземного сооружения при равномерном подъеме уровня грунтовых вод. Определены основные параметры грунтов при просадке и значения конечной стабилизированной просадки.

**Ключевые слова:** просадка, подстилающий слой, намывной грунт, лессовые грунты, структурно-неустойчивые грунты.

**Контактная информация:** aghadavoodi.m@gmail.com

Известны [1–4] свойства многих структурно-неустойчивых грунтов, в том числе лессовых просадочных, однако не изучено их поведение в подстилающем слое, если они расположены под намывными грунтами. Поэтому при проектировании и строительстве подземных сооружений исследования изменения свойства лессовых просадочных грунтов (лессовидные суглинки, супеси и лессы по второму типу просадочности) в виде подстилающего слоя – актуальны.

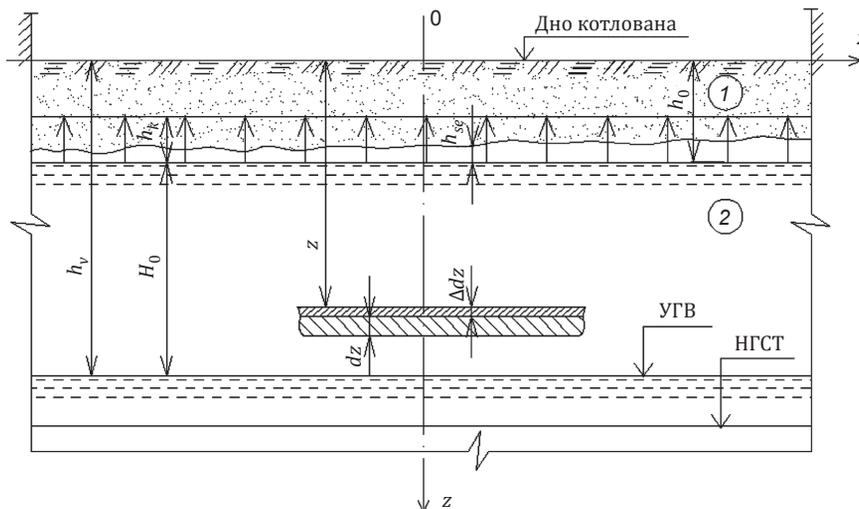
Толщина намывных грунтов составляет от 4,5 до 6,5 м, в редких случаях – 7,5 м, но во время строительства подземных сооружений под подошвой остается от 0,5 до 2 м. Такая малая толщина даже наиболее прочного песчаного грунта, обладающего условным расчетным давлением  $R_0 = 0,4 \dots 0,5$  МПа, не воспринимает всю

статическую и динамическую нагрузку от подземных сооружений. Основания под их подошвой на глубину примерно 10–16 м и более до линии нижней границы сжимаемой толщи (НГСТ), – активная зона. Они находятся под влиянием напряжений и могут давать осадки, просадки, набухание, разжижение и другие опасные деформации.

Прогноз просадки сооружений в подстилающих просадочных грунтах под намытым песком малой толщины (от 0,5 до 2 м), находящихся под подошвой подземных сооружений, можно рассматривать в двух стадиях возникновения и развития: при равномерном и при куполообразном подъеме подземных вод.

Рассмотрим случай, когда подземные воды имеют равномерный уровень подъема, и развитие просадки происходит после «вторжения» подземного потока в активную зону основания сооружения (рис. 1).

Уровень подземных грунтовых вод (УГВ), который часто изменяется, доходит до  $H_0$ , а в зоне капиллярного подъема – на высоту  $h_k$  и захватывает часть намывного грунта. При этом верхняя часть лессового суглинка и намывного песка теряют просадочные свойства.



**Рис. 1.** Расчетная схема просадки от веса лессового грунта при равномерном подъеме уровня подземных вод: 1 – намывной грунт под открытым котлованом толщиной 0,5–2 м; 2 – лессовидный суглинок мощностью 22 м;  $h_0$  – высота уровня грунтовых вод от дна котлована (после подъема уровня грунтовых вод).

В пределах глубины  $h_v - h_k$  (где  $h_v$  – высота уровня грунтовых вод от дна котлована) залегает однородный лессовый суглинок, обладающий свойством просадочности II типа, который при увлажнении дает большую просадочную деформацию от собственного веса под дном котлована  $P_v = \gamma h_v$  и от давления грунта.

В просадочном лессовом суглинке условно вырезаем пластинки толщиной  $dz$ , находящиеся на расстоянии  $z$  от уровня поверхности дна котлована. При приращении пластинки будет  $\Delta dz$ , которая создает относительную просадку

$$E_{se} = \Delta dz / dz = \beta_0 N^{m_0}, \quad (1)$$

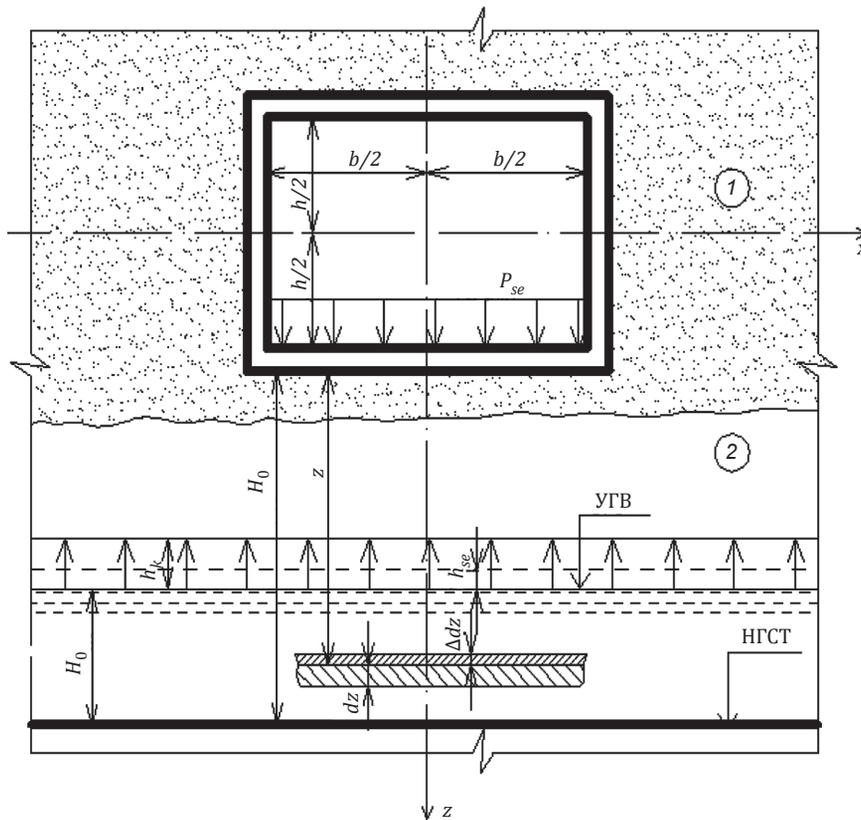
где  $\beta_0$  и  $m_0$  – параметры нелинейной деформируемости лессового просадочного грунта; определяются испытанием образцов в лабораторных условиях в компрессионном приборе;

$N$  – действующие нагрузки,

$$N = q_{н.п} + q,$$

$q_{н.п}$  – вес намывного песка, кН/м;

$q$  – вес лессового грунта, кН/м.



**Рис. 2.** Расчетная схема для развития просадки в основаниях подземных сооружений из подстилающих лессовых грунтов над намывным песком при равномерном подъеме уровня грунтовых вод: 1 – намывной песок; 2 – лессовидный суглинок.

Высота капиллярной каймы лессового грунта

$$h_{se} = h_k [1 - (W_{se} / W_{sat})^2] / [1 - (W_0 / W_{sat})^2], \quad (2)$$

где  $W_{se}$ ,  $W_0$  и  $W_{sat}$  – влажность при начальной просадке, природная влажность и влажность при полной водонасыщенности.

Конечную стабилизированную просадку можно прогнозировать по формуле

$$S_k = 0,5 \gamma_0 \beta_0 h_v^2 [1 - (1 - H_a / h_v)^2], \quad (3)$$

где  $\gamma_0$  – удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии;  $h_v$  – высота уровня грунтовых вод от дна котлована;  $H_a$  – высота активной зоны от дна котлована до линии НГСТ.

Таким образом, можно прогнозировать конечное значение стабилизированной просадки, если определить некоторые параметры просадочных грунтов в лабораторных условиях. Рассмотрим пример на основе исследований с полученными данными.

**Пример.** Допустим, требуется прогнозировать изменение просадки подстилающего слоя под намывными песками толщиной 0,8 м под подошвой подземного сооружения прямоугольного сечения с внутренними размерами: шириной  $b = 6$  м, высотой  $h = 4,6$  м (рис 2).

Подстилающий однородный лессовый грунт при испытании в лабораторных условиях имеет следующие данные: удельный вес, кН/м<sup>3</sup>: частицы грунта  $\gamma_s = 27,2$ ; в природном состоянии  $\gamma = 16,2$ ; в водонасыщенном виде  $\gamma_0 = 18$ ; сухого грунта  $\gamma_d = 14,9$ ; влажность: природная  $W_0 = 0,1$ ; начальная просадочная  $W_{se} = 0,2$ ; влагоемкость при водонасыщении  $W_{sat} = 0,3$ ; коэффициент водонасыщенности до увлажнения  $k = 0,28$ , после увлажнения  $k_v = 0,74$ ; пористость  $n = 45\%$ ; коэффициент пористости в природном состоянии  $e_0 = 0,818$ ; угол внутреннего трения  $\phi = 28^\circ$  в природном виде, а после увлажнения  $\phi = 22^\circ$ ; сила сцепления в природном виде  $C = 0,019$  МПа; параметры нелинейной деформируемости лессового просадочного

грунта  $\beta_0 = 0,25$  МПа,  $m_0 = 0,82 \dots 1,25$  получены при испытании образцов в компрессионном и срезном приборах; начальное давление просадки  $P_{se}$  для лессового грунта составило  $0,072 - 0,076$  МПа.

Ожидаемую стабилизированную просадку только от собственного веса намывного песка малой толщины (до 2 м) и лессовидного суглинка мощностью 30 м при полной водонасыщенности  $W_{sat} = 0,3$  по полученным данным (в соответствии с рис. 1) при испытании:  $\beta_0(W_{sat}) = 0,012$ ;  $\gamma_0(W_{sat}) = 18$  кН/м<sup>3</sup>;  $m_0(W_{sat}) = 0,82$ ;  $h_v = 30$  м;  $h(t) = 15$  м можно определить так:

$$S_{se,g} = \frac{\beta_0(W_{sat})[\gamma_0(W_{sat})^{m_0(W_{sat})} \cdot h_v^{1+m_0(W_{sat})}]}{1+m_0(W_{sat})} \times \\ \times [1 - (1 - \frac{h(t)^{1+m_0(W_{sat})}}{h_v^{1+m_0(W_{sat})}})] = 56,52 \text{ см.}$$

Высота капиллярного поднятия  $h_k = 2$  м. Исходный уровень подземной воды от поверхности грунта  $h_v = 23 \dots 30$  м. Высоту капиллярной каймы лессового грунта определяем по формуле (2):

$$h_{se} = 2 \cdot \frac{1 - (0,20/0,30)^2}{1 - (0,10/0,30)^2} = 1,25 \text{ м.}$$

Влажность на границе текучести  $W_L = 0,219$ ; влажность на границе раскатывания  $W_p = 0,111$ , грунт относится: по пластичным показателям ( $I_p = W_L - W_p = 0,219 - 0,111 = 0,108$ ;  $0,07 < I_p = 0,108 < 0,17$ ) к лессовидному суглинку; по показателям консистенции:  $I_L = (W_0 - W_p) / (W_L - W_p) = (0,10 - 0,111) / (0,219 - 0,111) < 0$  – лессовидный суглинок находится в твердом природном состоянии; коэффициент фильтрации  $k_\phi = 2,8$  см/ч; относительная просадочность  $\epsilon_{se} = 0,146$ ; уплотняющее давление  $P_{se} = 0,22$  МПа; коэффициент жесткости лессового суглинка (коэффициент постели) в естественном состоянии  $K_0 = 1,2 \cdot 10$  МПа/м; модуль де-

формации в природном состоянии  $E_0 = 21$  МПа; линия НГСТ от подошвы сооружения находится на глубине  $H_a = 15$  м.

Для прогноза конечную стабилизированную просадку вычисляют по формуле (3):

$$S_k = 0,5 \cdot 0,0018 \cdot 0,12 \cdot 3000^2 \times \\ \times [1 - (1 - 1500/3000)^2] \approx 72,9 \text{ см.}$$

Таким образом, по полученным данным можно определить конечную стабилизированную просадку от нагрузки подземного сооружения при высоте активной зоны  $H_a = 15$  м.

**Выводы.** Под намывными грунтами часто остаются структурно-неустойчивые грунты – лессовые просадочные, илистые, торфяные, набухающие и другие. Намывные грунты, хотя и являются прочными, но под подошвой сооружений имеют малую толщину (до 2 м), а действующие нагрузки от подземных сооружений воспринимают слабые подстилающие грунты из структурно-неустойчивых отложений.

При увлажнении подстилающие слои из структурно-неустойчивых грунтов дают просадочные деформации, которые необходимо прогнозировать и определить расчетные параметры для оценки устойчивости и долговечности подземных сооружений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Самедов А. М. Расчет и проектирование подземных сооружений мелкого заложения (монография) / А. М. Самедов. – К., НТУУ «КПИ», 2013. – 851 с.
2. Крутов В. И. Расчет фундаментов на просадочных грунтах / В. И. Крутов. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 152 – 204.
3. Мустафиев А. А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах / А. А. Мустафиев. – М.: Высш. шк., 1989. – 590 с.
4. Цытович Н. А. Основания и фундаменты / Н. А. Цытович, В. Г. Березанцев, Б. И. Далматов, М. Ю. Абелев. – М.: Высш. шк., 1970. – 382 с.