

## **ДЕФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ НАБУХАНИИ ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ ОТ УВЛАЖНЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДОЙ**

В статье рассмотрены особенности строительства подземных сооружений на намывных песках с подстилающим набухающим слоем грунта при увлажнении горячей водой. Проведены исследования свойств набухающих грунтов и обоснованы эффективные методы инженерных мероприятий, направленных на увеличение надежности и долговечности сооружений.

В статті розглянуто особливості будівництва підземних споруд на намивних пісках з підстиляючим набухаючим шаром ґрунту при зволоженні гарячою водою. Проведено дослідження властивостей набухаючих ґрунтів та обґрунтовані ефективні методи інженерних заходів, спрямовані на збільшення надійності і довговічності споруд.

The article describes the features of underground construction on alluvial sands with the underlying layer of swelling soil, moistened with hot water. The research on properties of swelling soils is conducted and effective methods of engineering measures aimed at increasing the reliability and durability of structures are proved.

**Вступление.** Как показывает строительная практика, недооценка деформаций набухания и усадки глинистых грунтов в основаниях приводит к преждевременным повреждениям конструкций сооружений вследствие неравномерных и длительных деформаций грунтов их оснований. Проблема набухания грунтов основания в строительстве зданий, особенно под тепловыми сооружениями, возникает в том случае, если глинистый грунт под фундаментом из-за уменьшения уплотняющих давлений или увеличения содержания влаги в грунте начинает набухать.

Глинистые набухающие грунты имеют широкое распространение. Достаточно, например, указать, что в Индии более 30% территории занимают так называемые хлопковые почвы, способны интенсивно увеличиваться в объеме при замачивании. Такие грунты распространены в Египте, Южно-Американской республике, Южной и Северной Корее, Бирме, США, в районах Поволжья, Закавказской республике, Казахстане, на Крымском полуострове, Павлодарском Прииртышье, в Европейских странах: Германии, Польше, Австрии, Словакии, Франции, Англии, Китае, Латинской Америке, Новой Зеландии и т.д.

Возведенные на набухающих глинистых грунтах тепловые сооружения, при работе которых выделяется большое количество теплоты и распространяется на большую глубину, нагревает подземные воды до кипения, создает подъем уровня подземных вод.

Можно привести множество случаев из практики строительства и эксплуатации зданий и сооружений (особенно тепловых сооружений), когда деформация набухания грунтов основания привела к аварийным ситуациям.

Набухание глинистых грунтов при взаимодействии с водой (особенно с горячей водой), носит сложный физико-химический, химико-минералогический и реологический характер. Отрицательные влияния температурных факторов на

деформацию набухания глинистых грунтов не изучены и при проектировании тепловых сооружений влияние воды на свойства глинистых грунтов принимают без учета высокой температуры воды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В литературных источниках [1-4] приведены свойства набухающих грунтов, а также расчет и проектирование сооружений при строительстве на набухающих грунтах, которые изучены многими учеными, однако до сих пор не исследовано изменение оснований под подошвой сооружений состоящих из подстилающих набухающих грунтов, когда они находятся под намывными песками малой толщины и подвергаются увлажнению горячей водой.

**Формулирование цели работы.** Исследование процесса деформирования основания подземного сооружения на намывных песках с подстилающим набухающим слоем грунта при увлажнении горячей водой. Установить возможное набухание подстилающего слоя под намывными грунтами и подземным сооружением для принятия эффективных методов, направленных на увеличение надежности и долговечности сооружений.

**Изложение основного материала.** В лаборатории были исследованы образцы из подстилающих под намывным песчаным слоем монтмориллонитовых глин, взятые под дном открытого котлована будущего подземного сооружения бурением скважины. В результате исследований были получены следующие показатели: предел пластичности при текучести -  $W_L=0,72$ ; предел пластичности при раскатывании -  $W_p=0,52$ ; число пластичности  $I_p=W_L-W_p=0,72-0,52=0,20>0,17$  – глина; удельный вес частицы  $\gamma_s=27,6\text{кН/м}^3$ ; удельный вес в природном состоянии  $\gamma=19,4\text{кН/м}^3$ ; удельный вес в сухом состоянии  $\gamma_d=17,6\text{кН/м}^3$ ; природная влажность  $e_0 = 0,535$ , модуль общей деформации в природном состоянии без увлажнения  $E_0=36,0$  МПа, после увлажнения водой при  $T=60^\circ\text{C}$  до водонасыщения  $W_{sat}=0,30$ ;  $E'_{0,60^\circ\text{C}}=8,2$  МПа (в 4 раза меньше, чем без увлажнения,  $E_0$ ); коэффициент жесткости набухающего грунта при набухании (коэффициент постели)  $K_0=1,1\cdot 10^4$  кН/м<sup>3</sup>; пороговое давление набухания при увлажнении водой  $T=60^\circ\text{C}$ ,  $P_{sw,60^\circ\text{C}}=0,55$  МПа, а при увлажнении водой  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $P_{sw,20^\circ\text{C}}=0,40$  МПа; нижняя граница области давления набухания при увлажнении водой  $T=60^\circ\text{C}$ ,  $P'_{sw,60^\circ\text{C}}=0,32$  МПа, а при  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $P'_{sw,20^\circ\text{C}}=0,24$  МПа;

Сила сцепления в природном состоянии  $c=0,068$  МПа, при увлажнении водой  $T=60^\circ\text{C}$ ,  $c'_{60^\circ\text{C}}=0,0034$  МПа (в 20 раз меньше, чем  $c=0,068$  МПа), а при  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $c''_{20^\circ\text{C}}=0,0042$  МПа (в 13 раз меньше, чем без увлажнения); угол внутреннего трения в природном состоянии  $\varphi=19^\circ 40'$ , при увлажнении водой  $T=60^\circ\text{C}$ ,  $\varphi'_{60^\circ\text{C}}=5^\circ 45''$  (в 4 раза меньше, чем  $\varphi$ ), при увлажнении водой  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi''_{20^\circ\text{C}}=6^\circ 33'$  (в 2,8 раза меньше, чем  $\varphi$ ).

Изменения относительных деформаций набухания  $\varepsilon_{sw}$  и усадки  $\varepsilon_{sh}$  зависят от влажности при замачивании  $W_{sw}$  и от уплотняющего давления  $P_{sw}$ , можно определить формулами:

- а) относительная деформация набухания:
  - от увлажнения:

$$\varepsilon_{sw} = \left[ 1 - e^{-\alpha_H (W - W_H)} \right] \beta_T \quad (1)$$

- от уплотняющих давлений:

$$\varepsilon_{sw} = \left[ \varepsilon_{sw,H} \left( 1 - \frac{P}{P_{sw}} \right)^{m_0} \right] \beta_T \quad (2)$$

б) относительная деформация при усадке:

$$\varepsilon_{sh} = 1 - e^{-\alpha_y (W - W_{sh})} \quad (3)$$

где  $e=2,72$  – величина логарифма натурального;  $\alpha_H$  – параметр, зависящий от свойства и состояния набухающих глин, определяется по формуле:

$$\alpha_H = \frac{1}{W_{sw} - W_H} \ln \frac{1}{1 - \varepsilon_{sw,k}} \quad (4)$$

где  $W_H$  – начальная влажность;  $W_{sw}$  – изменение влажности при набухании;  $W_{sw,k}$  – относительная деформация набухания, соответствующая по влажности  $W_{sw}$ ;  $m_0$  – параметр нелинейной деформируемости грунта при набухании, определяют компрессионными испытаниями, в наших случаях  $m_0=1,12$ .

Параметр при усадке  $\alpha_y$  определяется формулой:

$$\alpha_y = \frac{1}{W_H - W_{sh}} \ln \frac{1}{\varepsilon_{sh,H}} \quad (5)$$

где  $W_{sh}$  – влажность при усадке;  $\varepsilon_{sh}$  – относительная деформация усадки, соответствующая по начальной влажности  $W_H$ ;  $\beta_T$  – коэффициент, зависящий от температуры воды при увлажнении набухающих глин:

При  $T=18-25^\circ\text{C}$ ,  $\beta_T=1,0$ ; при  $T=40^\circ\text{C}$ ,  $\beta_T=1,2$ ; при  $T=60^\circ\text{C}$ ,  $\beta_T=1,35$ ; при  $T=80^\circ\text{C}$ ,  $\beta_T=1,55$ .

Возможное набухание подстилающего слоя под намывными грунтами и подземным сооружением показано на рис. 1.

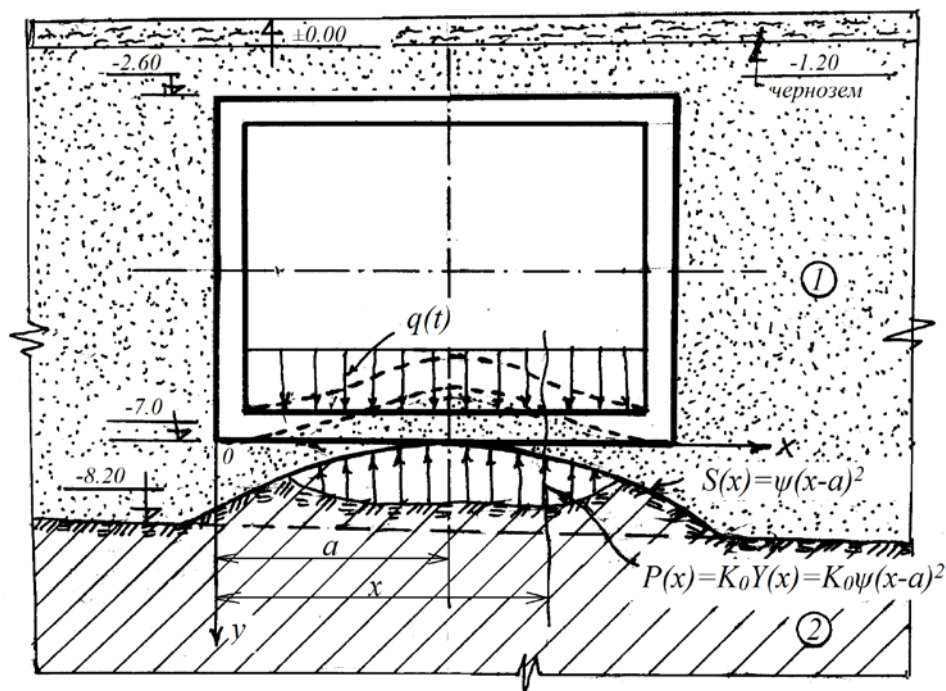


Рис. 1. Расчетная схема при набухании подстилающего слоя основания под сооружением и под намывным песком: 1 – намывной песок; 2 – набухающая монтмориллонитовая глина мощностью 8м.

Поверхность «бугра» или максимальная траектория набухающей глины при гидротермальном увлажнении на произвольном  $x$  расстоянии определяется формулой квадратной параболы следующего вида:

$$S = \psi(x-a)^2 = \psi l^2 x^2 = 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 6^2 \quad (6)$$

где  $\psi=10^{-2}\text{м}^{-1}$  - показатель криволинейной траектории при набухании;  $l=2a$ ;  $a$  – половина ширины сооружения;  $x$  – произвольное расстояние от начала системы координат.

Реактивное давление подстилающего набухающего слоя под подошвой сооружения будет:

$$S(x) = \psi l^2 x^2 = 10^{-2} \cdot 6^2 \cdot x^2$$

$$P(x) = k_0 \psi(x-a)^2 = 1,1 \cdot 10^4 \cdot 10^{-2} \cdot (x-3)^2 = 1,1 \cdot 10^2 (x-3)^2.$$

Зная траекторию набухания подстилающего слоя из набухающей глины  $S(x)$ , прогиб днища сооружения  $Y(x)$ , реактивное давление  $P(x)$  можно вычислить изгибающие моменты  $M(x)$ , перерезывающих сил  $Q(x)$  и угла поворота  $\theta(x)$  в любых сечениях днища сооружения.

**Выводы.** Подстилающие глинистые грунты, оставшиеся под намытыми песками в основаниях подземных сооружений при гидротермальном увлажнении могут набухать и деформировать сооружения. Сила набухания монтмориллонитовой глины при увлажнении горячей водой может достигать до  $1500\text{кН/м}^2=1,50\text{МПа}$ , что значительно превышает давление через дно подземного сооружения на основание и может деформировать конструкцию любых сооружений.

Определены изменения относительных деформаций набухания и усадки, траектория поверхности набухания, реактивные давления при набухании.

Получены необходимые параметры для расчета оснований сооружений, состоящих из подстилающего набухающего грунта при увлажнении горячей водой и водой комнатной температуры.

#### Список литературы

1. Самедов А.М. Расчет и проектирование подземных сооружений мелкого заложения: монография / А.М. Самедов. – Киев, НТУУ «КПИ», 2013. – 851с.
2. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов. – М.: Высшая школа, 2002. – 527с.
3. Месчан, С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов / С.Р. Месчан. — Ер.: Гитутюн, 2005. – 498 с.
4. Воблых В.А., Дионисьев-Македонский А.Д., Омар-М.Ш. Расчет подъема основания и фундамента при набухании грунта // Науковий вісник будівництва (ХДТ УБА). – 2000. – Вип. 11. – С.131–137.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Шашенком О.М..  
Надійшла до редакції 17.01.15*