

**Сницарь М.А., Самедов А.М.**

## **О РАСЧЕТЕ ФУНДАМЕНТОВ НА НАБУХАЮЩИХ ГРУНТАХ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ ГОРЯЧЕЙ ВОДОЙ**

Рассмотрены проблемы расчета фундаментов сооружений на набухающих глинистых грунтах при увлажнении горячей водой. Определены величины контактных давлений при набухании основания  $P_H(x)$  под подошвой сооружения при увлажнении водой  $T = 20^\circ\text{C}$  и  $T = 40^\circ\text{C} \dots 80^\circ\text{C}$ . Предложено принять эпюры набухающих сил при увлажнении в виде квадратной параболы купола набухания и добавить к нагрузкам от собственного веса сооружения, как эквивалентную нагрузку контактных давлений  $P_H(x)$ .

При расчете фундамента подземного сооружения определена необходимость учитывать реактивное давление основания из набухающих грунтов на сооружение во время увлажнения горячей водой.

Ключевые слова: набухающие глины, контактное давление под подошвой, сила набухания, «бугры набухания», эквивалентная нагрузка, коэффициент постели, уплотняющее давление.

**И**з литературных источников [1–6] видно, что недостаточное количество теоретических и экспериментальных исследований не дает возможность проанализировать эффективность и надежность использования существующих моделей глинистых грунтов, отражающих взаимодействие конструкции фундаментов с деформированным основанием при набухании во время увлажнения, особенно горячей водой. Как известно, в настоящее время за рубежом при расчете фундаментов в основном применяются модели типа Винклера-Фусса и Пастернака, основанные на расчете гибких фундаментов на упругом основании, где при прогибе гибкой фундаментной балки под действующей нагрузкой возникает реактивное, контактное давление упругого основания. При этом принимается величина распределения контактных давлений  $P(x)$  под фундаментом, зависящая от коэффициента жесткости (коэффициента постели) основания,  $k = \text{const}$ , постоянная величина, хотя этот коэффициент, даже любого грунта имеет изменчивый характер,  $k(x)$ . В таких случаях величина контактных давлений под подошвой фундамента  $P(x) = k(x)Y(x)$ , где  $Y(x)$  – прогиб фундаментной балки. Тогда величина контактных давлений  $P(x)$  является функцией 2-х неизвестных параметров, т.е. функцией коэффициентов жесткости основания  $k(x)$ , имеющих изменчивый характер и прогиб балки  $Y(x)$  – тоже изменяющийся по длине оси  $x$ .

Для усовершенствования и развития методов расчета фундаментов на набухающих грунтах, увлажненных горячей водой, температурой  $T = 40^\circ\text{C} \dots 80^\circ\text{C}$ , увеличение набухания поверхности определяется умножением на коэффициент  $\beta_T = 1,2 \dots 1,65$  (кривая 2 из рис. 1), когда для воды температурой  $T = 18^\circ\text{C} \dots 20^\circ\text{C}$ ,  $\beta_T = 1,0$  (рис. 1, кривая 1).

При расчете фундамента на набухающих грунтах, особенно при источниках увлажнения водой, температурой  $T = 40^\circ\text{C} \dots 80^\circ\text{C}$  реактивное давление оснований при набухании,  $P_H(x)$ , можно принимать в следующем виде:

$$P_H(x) = \left\{ P_{sw} \left[ 1 - \frac{u_0 - rx^m}{\varepsilon_0 H} \right] \right\} \beta_T \quad (1)$$

где  $P_{sw}$  – величина «порога» набухания, определяется по данным компрессионных испытаний образцов при заданных температурах воды во время увлажнения;  $u_0$  – высота траектории набухания (рис. 1) без нагрузок по многочисленным опытным данным Р. Литтона и К. Майера, максимальная величина которой достигается при  $m = 2$ , т.е. абсолютная деформация набухания  $S_{sw}$  будет:

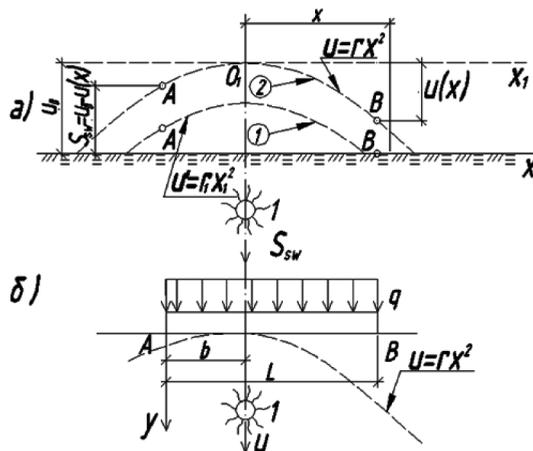
$$S_{sw} = (u_0 - rx^m) \beta_T \quad (2)$$

Можно принимать  $u_0 = \varepsilon_0 H = 0,4$  м – максимальное свободное набухание грунтов в основании при увлажнении водой  $T = 20$  °С, а при  $T = 40$  °С...80 °С умножаем на коэффициент  $\beta_T$ ;  $r$  – радиус «бугра набухания»,  $x$  – расстояние от центра «бугра набухания» до расчетной точки по горизонтальной оси  $x$ ;  $\varepsilon_0$  – величина относительной деформации при набухании без нагрузок (т.е. в свободном виде), определяется по данным компрессионных испытаний при заданной температуре увлажняемой воды и влажности  $W$ , %;  $H$  – мощность набухающего слоя грунта в основании сооружения.

Однако основание из набухающего грунта является не свободным от нагрузок, на него действуют вес сооружения и собственный вес грунта (рис. 1, б), т.е. на набухающий грунт действует дополнительное давление или уплотняющее давление  $P$ , которое будет иметь вид:

$$P_H(x) = P = \left\{ P_{sw} \left[ 1 - \left( \frac{u_0 - rx^2}{\varepsilon_0 H} \right)^{1/m_0} \right] \right\} \beta_T \quad (3)$$

Коэффициент жесткости набухающих глинистых грунтов основания по данным Р. Литтона при увлажнении водой  $T = 20$ °С:  $k_0 = 2 \cdot 10^4$  кН/м<sup>3</sup>,  $k = k_0 b_0 = 2 \cdot 10^4$  кН/м<sup>2</sup>, где  $b_0$  – ширина фундамента, 1 пог. м; показатель гибкости  $\alpha = \pi E_0 b L^3 / (EI)$ , где  $L$  – длина фундамента, м, при модуле общей деформации



**Рис. 1.** Максимальная траектория поверхности набухания по Р. Литтону (а) и расчетная схема для произвольного расположения «бугра набухания» под сооружением (б)

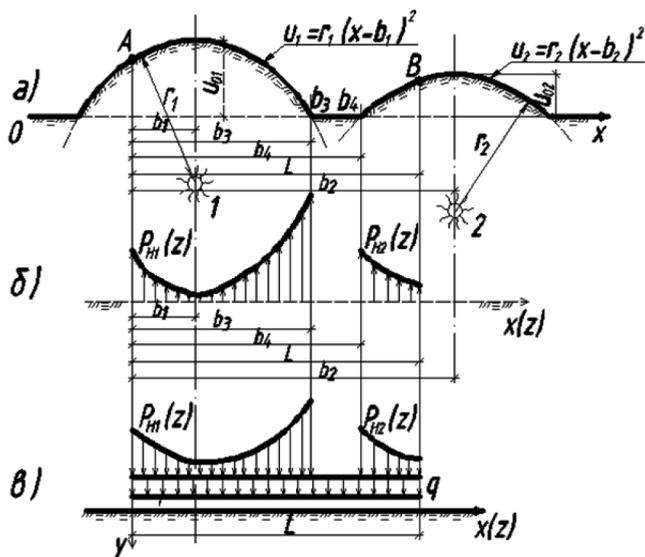


Рис. 2. Двухбугровая поверхность набухания (а); эпюры набухающих давлений (б); расчетная схема двухбугровых непересекающихся бугров набухания эквивалентной нагрузки от силы набухания  $P_H(x)$  фундаментной балки (в)

грунтов основания,  $E_0 = 20$  МПа,  $h$  – высота фундамента, м, тогда  $\alpha = 300$ , где  $EI$  – жесткость фундамента;  $E$  – модуль упругости материала;  $I$  – момент инерции сечения фундамента. При линейной постановке задачи можно принимать коэффициент  $m_0 = 1$ , в формуле (3).

Принимая величину набухающих сил  $P_H(x)$ , как эквивалентную нагрузку над уплотняющим давлением от собственного веса сооружения с весом грунта над

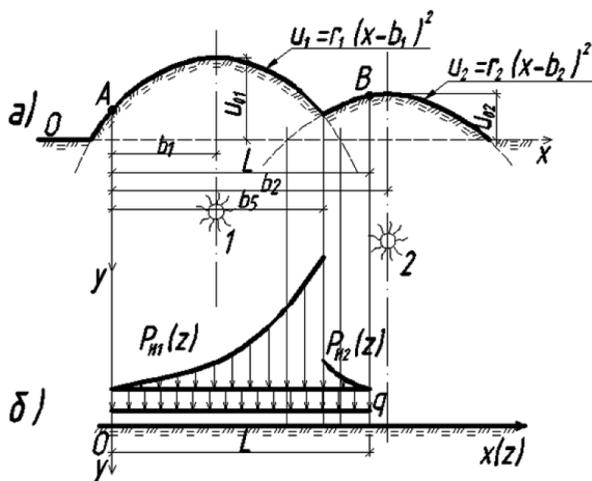


Рис. 3. «Двухгорбовая поверхность набухания» пересекающихся бугров набухания (а) и расчетная схема фундамента от эквивалентной нагрузки силы набухания основания при увлажнении горячей водой  $T = 40$  °С...80 °С

фундаментом, можно построить расчетную схему фундаментов (рис. 2) в зависимости от места расположения очагов увлажнения водой  $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более.

В зависимости от расположения источников увлажнения «бугры набухания» будут непересекающиеся (рис. 2 а, б, в) или пересекающиеся (рис. 3 а, б).

После определения величины набухающих давлений  $P_H(x)$ , можно построить эпюры давлений, как приведено на рис. 2, б.

Согласно эпюрам давлений можно построить расчетную схему фундамента, принимая эпюры давлений набухания, как эквивалентную нагрузку, действующую на фундамент над собственным весом сооружения (рис. 2, в и рис. 3, б).

Используя расчетную схему фундамента с эквивалентной нагрузкой  $P_H(z)$  можно написать дифференциальные уравнения деформирования фундаментной балки, т.е. прогиб балки  $Y(x)$  с переменным коэффициентом жесткости основания  $k(x)$  на набухающих грунтах при увлажнении водой при  $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более, которые сводятся к решению

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ EI(x) \frac{d^2 Y(x)}{dx^2} \right] + k(x)b [Y(x) - S] = q(x), \quad (4)$$

или

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ EI(x) \frac{d^2 Y(x)}{dx^2} \right] + k(x)bY(x) = q(x) + k(x)bc(x - a)^2, \quad (4')$$

где  $EI(x)$  – жесткость фундаментной балки;  $Y(x)$  – прогиб балки;  $b$  – ширина балки;  $S = c(x - a)^2$  – поверхность основания фундамента при его набухании, принимаем, согласно уравнению по данным Р. Литтона;  $q(x)$  – внешняя нагрузка от сооружения на фундамент, кН/м; контактное давление грунта от силы набухания грунта:

$$P(x) = k(x)bc(x - a)^2, \quad (5)$$

где  $c$  – криволинейная траектория набухания основания, характеризуется показателем  $c = 10^{-2} \text{ м}^{-1} = 0,01 \text{ м}^{-1}$ ;  $a$  – расстояние от края балки до центра источника увлажнения;  $x$  – расстояние от начала балки до расчетной точки.

Решение уравнений (4) и (4') известно из литературных источников [1...4], в которых применяются безразмерные величины.

Расчет фундамента на набухающих грунтах при увлажнении горячей водой можно выполнить на основе существующих методов и гипотез с учетом эквивалентных нагрузок от силы набухания грунтов основания и предусмотреть инженерные меры по защите сооружения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов-Посадов М.И. Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.
2. Мустафаев А.А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах. – М.: Высшая школа, 1989. – 590 с.
3. Самедов А.М., Гембарский Л.В. Математическое моделирование совместной работы фундаментов и оснований из набухающих грунтов / Материалы международной научно-техни-

ческой конференции V-Iubileuszowa Szkola Geomechaniki, Gliwice-Ustran, 16–19 Pazdziernika, 2001. – С. 115–124.

4. Сорочан Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. – М.: Стройиздат, 1974. – 340 с.

5. Флорин В.А. Основы механики грунтов. – М.: Госстройиздат, т. 1, 1959. – 357 с.

6. Winkler T. Die Lerne von der Elasticitat und Festigkett, 1867. – 218 p. **П/АБ**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

Снишарь Марина Александровна – аспирант,  
Самедов Ахмед Меджид огли – доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», Украина,  
03056, Киев, e-mail: marinaradost@i.ua.

---

UDC 624.159.1

### **ON CALCULATION OF FOUNDATIONS ON SWELLING SOIL WHEN MOISTENED WITH HOT WATER**

Snitsar M.A., Graduate Student, e-mail: marinaradost@i.ua,  
Samedov A.M., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»,  
03056, Kiev, Ukraine, e-mail: marinaradost@i.ua.

---

*The problem of calculating the foundations of buildings on the swelling clay soils when wet with hot water. The values of contact pressure upon swelling  $P_{\text{H}}(x)$  under the sole base facilities for moistening water  $T = 20^{\circ}\text{C}$  and  $T = 40^{\circ}\text{C} \dots 80^{\circ}\text{C}$ . It is proposed to adopt diagrams swelling force when moistened in the form of a square parabola dome swelling and add to the load of its own weight structures as the equivalent load of contact pressures  $P_{\text{H}}(x)$ .*

*The calculation of the foundation of the underground facilities identified the need to consider the reaction pressure of the swelling soil foundation for the construction of moisture during hot water.*

*Key words: swelling clays, the contact pressure under the sole power of the swelling, «swelling hills», the equivalent load factor bed, sealing pressure.*

### **REFERENCES**

1. Gorbunov-Posadov M.I. Solomin V.I. *Raschet konstruktsiy na uprugom osnovanii* (Design calculation for structures on elastic foundations), Moscow, Stroyizdat, 1984, 679 p.

2. Mustafaev A.A. *Fundamenty na prosadochnykh i nabukhayushchikh gruntakh* (Foundations on collapsible and swelling soil), Moscow, Vysshaya shkola, 1989, 590 p.

3. Samedov A.M., Gembarskiy L.V. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii V-Iubileuszowa Szkola Geomechaniki, Gliwice-Ustran, 16–19 Pazdziernika* (Proceedings of International Scientific-Technical Conference V-Iubileuszowa Szkola Geomechaniki, Gliwice-Ustran, 16–19 Pazdziernika), 2001, pp. 115–124.

4. Sorochan E.A. *Stroitel'stvo sooruzheniy na nabukhayushchikh gruntakh* (Construction on swelling soil), Moscow, Stroyizdat, 1974, 340 p.

5. Florin V.A. *Osnovy mekhaniki gruntov*, t. 1 (Basics of soil mechanics, vol. 1), Moscow, Gosstroyizdat, 1959, 357 p.

6. Winkler T. *Die Lerne von der Elasticitat und Festigkett*, 1867, 218 p.

