

*И.В. Храпатова, к.т.н., доцент
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

УЧЕТ НАБУХАНИЯ И УСАДКИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ НА НДС СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ – ФУНДАМЕНТ – СООРУЖЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В работе приведен алгоритм расчета сооружения с основанием из набухающих грунтов с учетом ортотропных свойств этих грунтов для плоской задачи.

Ключевые слова: набухающие грунты, усадка набухающих грунтов, ортотропные свойства, метод конечных элементов, система «основание – фундамент – сооружение».

*I.V. Khrapatova, k.t.n., dozent
Харківський національний університет будівництва і архітектури*

УРАХУВАННЯ НАБУХАННЯ ТА УСАДКИ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ НА НДС СИСТЕМИ «ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ – СПОРУДА» В УМОВАХ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

У роботі наведено алгоритм розрахунку споруди з основою з набухаючих ґрунтів з урахуванням ортотропних властивостей цих ґрунтів для плоскої задачі.

Ключові слова: набухаючі ґрунти, усадка набухаючих ґрунтів, ортотропні властивості, метод скінченних елементів, система «основа - фундамент – споруда».

*I.V. Khrapatova, Ph.D.
Kharkiv National University of Building and Architecture*

BASEMENT SOIL SWELLING AND SHRINKAGE ACCOUNTING FOR FEM SYSTEM “BASEMENT – FOUNDATION – STRUCTURE” UNDER PLANE DEFORMATION CONDITION

This work presents a calculation algorithm of structure with a base of swelling soils considering orthotropic properties of these soils for the plane task.

Keywords: a swelling soils, shrinkage of swelling soils, ortotropical properties, final element method, system "basement – foundation – structure ".

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Здания и сооружения, возведенные на основании с набухающими грунтами нередко страдают от возникновения трещин в различных элементах и конструкциях этих сооружений [1]. Поэтому при проектировании следует учитывать влияние набухания на всю систему «основание – фундамент – сооружение» для более надежной работы конструкции.

Существующие нормы, к сожалению, не позволяют создать такую модель и советуют вычислять деформации от внешних нагрузок и деформации набухания грунта отдельно. Кроме этого, мало изучен процесс усадки набухающих грунтов и его влияние на напряженно-деформируемое состояние (НДС) системы «основание – фундамент – сооружение».

Обзор последних источников исследований и публикаций, в которых начато решение этой проблемы. Решение проблемы с учетом совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение» предложено в работах [2, 3] проф. А.В. Воблых. Предлагается представлять массив грунта, состоящий из набухающих грунтов, в виде линейно-деформируемой среды, набухание основания учитывать как дополнительное

влияние, близкое по природе к температурному, а набухающий грунт рассматривать как материал, обладающий ортотропными свойствами.

В работе [4] получена методика нахождения характеристик набухающих грунтов для расчета системы «основание – фундамент – сооружение». Приведен алгоритм расчета системы «основание – фундамент – сооружение» на набухающих грунтах с учетом ортотропных свойств этих грунтов для плоской задачи.

Выделение нерешенных ранее задач общей проблемы. Необходимо разработать алгоритм учета набухания и усадки набухающих грунтов на НДС системы «основание – фундамент – сооружение».

Поэтому **целью статьи** является создание методики определения НДС в условиях плоской деформации.

Изложение основного материала исследования.

1. Определение характеристик набухающих грунтов.

Основное соотношение для величины деформации набухания грунта принимается по Сорочану Е. А. [5]

$$\varepsilon_{i=1,2,3}^y = \varepsilon_i^y + \varepsilon_{i,sw} + \varepsilon_{i,sh}, \quad (1)$$

где ε_i^y – главные деформации в основании от напряжений в грунте; $\varepsilon_{i,sw}$ – деформации набухания, связанные с изменением влажности и главными напряжениями, соотношением [5]

$$\varepsilon_{i,sw} = m \cdot \Delta w \left(1 - \frac{P}{P_{sw}} \right), \quad (2)$$

где m – коэффициент, учитывающий набухающие свойства грунтов и определяемый опытным путем;

Δw – изменение влажности грунта;

P_{sw} – давление набухания;

P – давление по направлению набухания.

Предполагается, что зависимость деформации набухания от давления и влажности имеет линейный характер. Коэффициент m подобен коэффициенту температурного расширения. Кроме этого, он учитывает свойства набухающего грунта.

На основе данных испытаний в компрессионных приборах набухающих грунтов АР Крым были получены значения коэффициентов m для различных набухающих грунтов [6].

$\varepsilon_{i,sh}$ – деформации усадки при высыхании.

Используя данные лабораторных испытаний и зависимость (2), аналогично получим формулу для определения деформации усадки

$$\varepsilon_{i,sh} = m_{sh} \cdot \Delta w,$$

при $p = 0$.

2. Учет анизотропных свойств набухающих грунтов при расчете системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях плоской деформации.

Величина относительного набухания зависит от уровня напряженного состояния, при этом для $\sigma_x, \sigma_z < P_{sw}$ – набухание не происходит. Поэтому для определения деформационных характеристик набухающего грунта приходится рассматривать несколько вариантов напряженного состояния грунта.

Для плоской задачи можно выделить 9 вариантов сочетания напряжений.

1. $\sigma_z > 0$ и $\sigma_x > 0$.

$$E_{np} = \frac{E}{1 - \mu^2}; \quad \mu_{np} = \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (3)$$

где E – модуль деформации грунта; μ – коэффициент Пуассона.

2. $\sigma_z < -P_{sw}$ і $-P_{sw} < \sigma_x < 0$.

Пусть $\frac{P_{sw}}{P_{sw} + Ekm\Delta w} = \alpha$, тогда

$$E_x^{np} = \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad \mu_{xz}^{np} = \frac{\mu + \alpha \mu^2}{1 - \mu^2 \alpha + E \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad (б)$$

$$E_z^{np} = \frac{E}{1 - \mu^2 \alpha}; \quad \mu_{zx}^{np} = \frac{\mu + \mu^2 \alpha}{1 - \mu^2 \alpha}, \quad (г) \quad (4)$$

где P_{sw} – давление набухания; m – коэффициент, определяемый опытным путем; Δw – изменение влажности грунта.

Набухающий грунт приобретает свойства ортотропии с деформационными характеристиками, определяемыми по формулам (а) – (г).

3. $\sigma_x < -P_{sw}$ і $-P_{sw} < \sigma_z < 0$.

$$E_z^{np} = \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad \mu_{zx}^{np} = \frac{\mu + \alpha \mu^2}{1 - \mu^2 \alpha + E \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad (б)$$

$$E_x^{np} = \frac{E}{1 - \mu^2 \alpha}; \quad \mu_{xz}^{np} = \frac{\mu + \mu^2 \alpha}{1 - \mu^2 \alpha}. \quad (г) \quad (5)$$

Набухающий грунт приобретает свойства ортотропии с деформационными характеристиками, определяемыми по формулам (а) – (г).

4. $-P_{sw} < \sigma_z < 0$, $-P_{sw} < \sigma_x < 0$.

$$E_z^{np} = \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad \mu_{zx}^{np} = \frac{\mu + \alpha \mu^2}{1 - \mu^2 \alpha + E \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad (б)$$

$$E_x^{np} = \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad \mu_{xz}^{np} = \frac{\mu + \alpha \mu^2}{1 - \mu^2 \alpha + E \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}. \quad (г) \quad (6)$$

5. $\sigma_x > 0$, $-P_{sw} < \sigma_z < 0$.

$$E_z^{np} = \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}; \quad \mu_{zx}^{np} = \frac{\mu - \mu^2 \alpha}{E \left(\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}} \right)}; \quad (б)$$

$$E_x^{np} = \frac{E}{1 - \mu^2 \alpha}; \quad \mu_{xz}^{np} = \frac{\mu + \mu^2 \alpha}{1 - \mu^2 \alpha}. \quad (г) \quad (7)$$

Набухающий грунт приобретает свойства ортотропии с деформационными характеристиками, определяемыми по формулам (а) – (г).

6. $-P_{sw} < \sigma_x < 0$, $\sigma_z > 0$.

Набухающий грунт приобретает свойства ортотропии с деформационными характеристиками, определяемыми по формулам, аналогичным сочетанию 5.

7. $\sigma_x < -P_{sw}$, $\sigma_z > 0$.

$$\begin{aligned} E_x^{np} &= \frac{E}{1-\mu^2}; \quad (a) & \mu_{xz} &= \frac{\mu-\mu^2}{1-\mu^2}; \quad (б) \\ E_z^{np} &= \frac{E}{1-\mu^2}; \quad (в) & \mu_{zx} &= \frac{\mu+\mu^2}{1-\mu^2}. \quad (г) \end{aligned} \quad (8)$$

Набухающий грунт приобретает свойства ортотропии с деформационными характеристиками, определяемыми по формулам (а) – (г).

8. $\sigma_x > 0$, $\sigma_z < -P_{sw}$.

Набухающий грунт приобретает свойства ортотропии с деформационными характеристиками, определяемыми по формулам аналогичным сочетанию 7.

9. $\sigma_x < -P_{sw}$, $\sigma_z < -P_{sw}$.

$$\begin{aligned} E_x^{np} &= \frac{E}{1-\mu^2}; \quad (a) & \mu_{xz} &= \frac{\mu-\mu^2}{1-\mu^2}; \quad (б) \\ E_z^{np} &= \frac{E}{1-\mu^2}; \quad (в) & \mu_{zx} &= \frac{\mu-\mu^2}{1-\mu^2}. \quad (г) \end{aligned} \quad (9)$$

3. *Алгоритм расчета системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях плоской деформации.*

1. Моделируется конечно-элементная расчетная схема системы «основание – фундамент – надземная часть сооружения» в плоском варианте и производится силовой расчет на действие заданных нагрузок, в том числе комбинаций загрузки.

2. Для текущей комбинации загрузки определяются напряженные состояния основания и устанавливаются девять зон, для которых выполняются условия: $\sigma_z > 0$ и $\sigma_x > 0$; $\sigma_z < -P_{sw}$ и $-P_{sw} < \sigma_x < 0$; $\sigma_x < -P_{sw}$ и $-P_{sw} < \sigma_z < 0$; $-P_{sw} < \sigma_z < 0$ и $-P_{sw} < \sigma_x < 0$; $\sigma_x > 0$ и $-P_{sw} < \sigma_z < 0$; $-P_{sw} < \sigma_x < 0$ и $\sigma_z > 0$; $\sigma_x < -P_{sw}$ и $\sigma_z > 0$; $\sigma_x > 0$, $\sigma_z < -P_{sw}$; $\sigma_x < -P_{sw}$ и $\sigma_z < -P_{sw}$.

3. В этих зонах для конечных элементов основания определяются деформационные характеристики по формулам (3 – 9) и вносятся в исходную информацию жесткостных характеристик конечных элементов.

4. Производится расчет всей системы на набухание и усадку от изменения заданной влажности как температурной задачи на температурное воздействие, равное $m\Delta w$ и $m_{sh}\Delta w$.

5. Полученное напряженное состояние основания суммируется с напряженным состоянием от набухания и усадки и уточняется положение зон с различным уровнем σ_j по сравнению с давлением набухания $-p_{sw}$.

6. Производится уточнение деформационных характеристик по новым зонам и выполняется новый расчет.

7. После вычисления новых значений суммарных напряжений производится уточнение зон и т.д.

8. Расчет заканчивается, когда изменение зон с разными σ_j не происходит.

4. *Пример расчета конструкций на набухающих грунтах.*

Рассмотрен пример двухэтажного кирпичного здания с фундаментом в виде плиты толщиной 0.35м в пос. Приморский г. Феодосии. Основание сложено из глины твердой сильнонабухающей, мощность слоя 11 м. Основание и стены моделируются

прямоугольными КЭ, размером 0.2х0.2м, фундамент моделируется прямоугольными КЭ, размером 0.2х0.35м. Перекрытие моделируется стержневыми элементами.

В процессе эксплуатации возможно намокание грунта, и как следствие, его набухание. Принимаем, что замоченный грунт работает как при температурном воздействии $m\Delta w = 0.096$, при коэффициенте набухания $m=0.383$. Деформационные характеристики найдены по формулам (3) – (9).

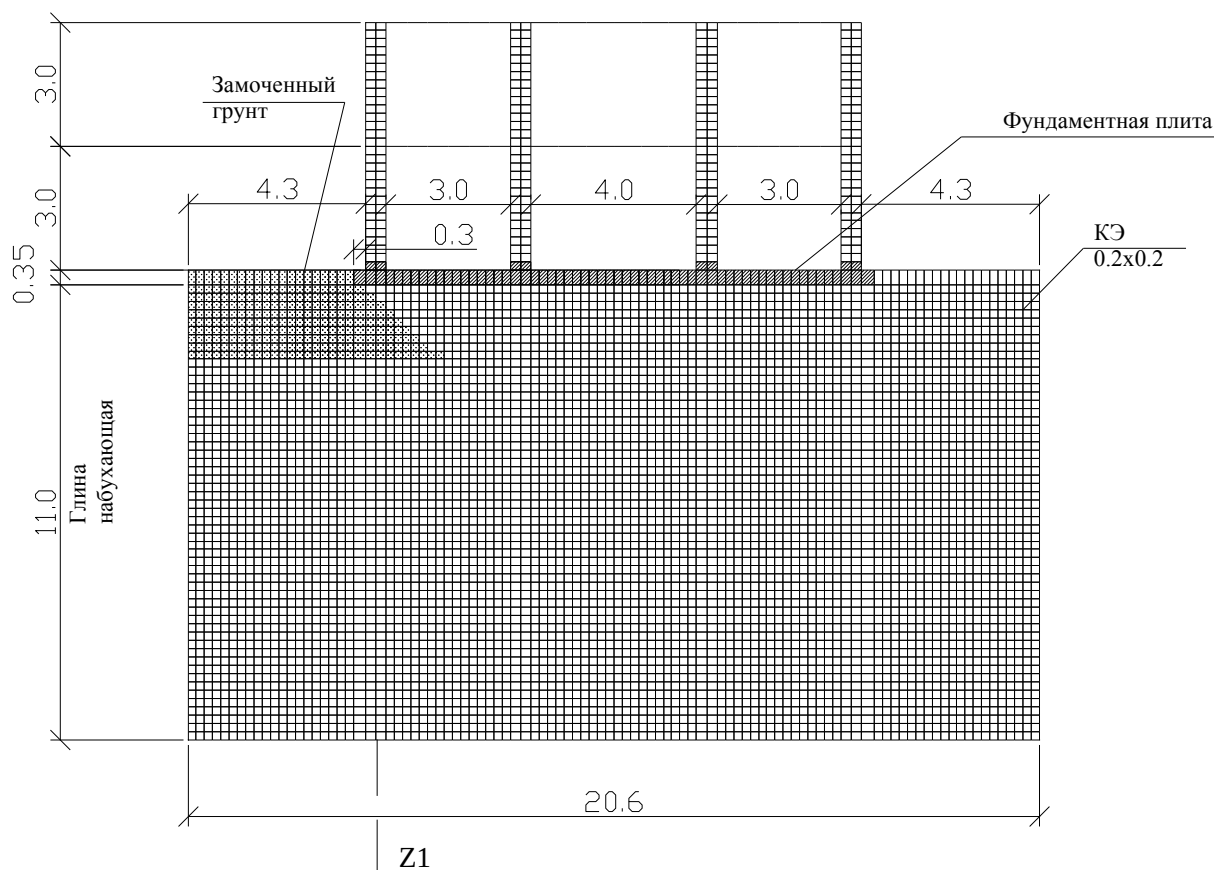


Рисунок 1 – Расчетная схема двухэтажного кирпичного здания с фундаментом в виде плиты на однослойном основании

Используя характеристики усадки грунтов (табл.1), полученные лабораторным путем, найдено значение коэффициента усадки $m_{sh} = 0,55$ для набухающего грунта п. Приморский.

Таблица 1 – Характеристики усадки грунтов (п. Приморский)

№	w	w_{sh}	ϵ_{sh}	m_{sh}
1	0,192	0,06	0,112	0,848
2	0,224	0,072	0,06	0,395
3	0,161	0,07	0,051	0,56
4	0,211	0,076	0,075	0,56
5	0,199	0,085	0,046	0,40

Получены следующие результаты.

Разница между значениями главных напряжений при расчете с учетом и без учета набухания и усадки для фундаментов достигает 27%, для надземных конструкций – 18%.

Выводы из данного исследования. 1. Набухание и усадку основания можно учитывать как дополнительное кинематическое влияние, близкое по природе к

температурному. 2. Получено решение для расчета системы «основание – фундамент – сооружение» для плоской задачи, учитывающий ортотропные свойства набухающих грунтов, которое дает более точные результаты.

Література

1. Khramchenkov, M.G. Physico-chemical mechanics of clay's swelling / Khramchenkov M.G., Khramchenkov E.M., Pleshchinskii N.B. // Book of Abstracts, 17-th Conf. on Clay Mineralogy and Petrology. – Prague, 2004. – P. 27.
2. Воблых, В.А. Моделирование грунтового основания из набухающих грунтов при определении напряженно-деформированного состояния системы «основание-фундамент-сооружение»/ В.А. Воблых, О.В. Кичаева // Науковий вісник будівництва. – 2003. – № 23. – Харків: ХДТУБА. – С. 55–59.
3. Воблых, В.А. Физически нелинейная задача о влиянии набухания грунтового массива на работу системы «основание – фундамент – сооружение»/ В.А. Воблых, О.В. Кичаева// Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)/ Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 12. – С. 35–38.
4. Храпатова, И.В. Учет влияния набухания грунтового основания на НДС системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях плоской деформации/ И.В. Храпатова // Світ геотехніки: Науково-технічний журнал – Запоріжжя, 2008. – Вип. 2. – С. 26–29.
5. Сорочан, Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах/ Е.А. Сорочан. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.; Стройиздат, 1989. – 312 с.
6. Мяч, И.В. Результаты лабораторных испытаний набухающих грунтов в АР Крым / И.В. Мяч//Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2006. – №37. – С. 177 – 179.

Надійшла до редакції 20.09.2012

© И.В. Храпатова