

НАБУХАЮЩИЕ ГРУНТЫ КАК ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Выполнен анализ факторов, влияющих на набухание грунтов, 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».*

НАБУХАЮЧІ ГРУНТИ ЯК ОСНОВИ БУДИНКІВ І СПОРУД

Виконано аналіз факторів, що впливають на набухання ґрунтів, приведено алгоритм розрахунку споруди з основою з набухаючими ґрунтами 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».*

SWELLING SOILS AS A BASIS FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

This work analyzes factors affecting swelling soils and presents a calculation algorithm of structure on swelling soils base, considering orthotropic properties of these soils for the plane problem.

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

Введение. Набухающие грунты имеют широкое распространение в Египте, Бирме, США, Канаде, ЮАР, Эфиопии, Судане, Ираке, Сирии, а в Индии более 30% территории занимают так называемые хлопковые почвы. В странах СНГ такие грунты встречаются в Казахстане, Грузии, Азербайджане, Молдове, России (Поволжье, Северный Кавказ и другие районы), Украине (АР Крым, Купянск, Харьков, Полтава и др.).

Характерной особенностью набухающих грунтов при замачивании является резкое увеличение объема и снижение их несущей способности, что приводит к значительным деформациям конструкции [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) система «основание – фундамент – сооружение».

Обзор последних источников исследований и публикаций. Решение проблемы с учетом совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение» предложено в работах [2, 3] проф. В.А. 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 не решенных ранее частей общей проблемы. Усовершенствование алгоритма учета набухания и усадки набухающих грунтов на НДС система «основание – фундамент – сооружение».

Основной материал и результаты. 1. Факторы, влияющие на набухание глинистых грунтов. К набухающим грунтам относятся глинистые отложения, характерной особенностью которых является повышенная плотность и высокое содержание (65 – 85%) глинистых частиц размером менее 0,005 мм. В природном залегании эти грунты (глины) характеризуются твердой и тугопластичной консистенцией при удельном весе от 19,5 до 20,5 кН/м³. Пористость грунтов находится в пределах от 41 до 48% при влажности 15 – 18% в кровле и 25 – 30% в средних слоях и подошве толщи. В результате увлажнения этих глин их объем увеличивается на 12 – 25%, а в отдельных случаях на 30 – 36%. Вследствие набухания удельный вес глин уменьшается до 17,7 – 18,7 кН/м³, а пористость увеличивается до 50–58%. Влажность грунта возрастает до 36 – 48% и указывает на переход глин в пластичное состояние, что резко снижает их несущую способность. Значение нормальных сил набухания глин в природном залегании достигает под торцом свай 350 – 400 кПа, а касательных (по боковой поверхности свай) – 30 – 37 кПа. Разуплотняясь при набухании, глины поднимают толщу вышележащих покровных грунтов, которые, в свою очередь, стремятся поднять плиту фундамента или торец свай.

Набухание – результат гидратации грунта; оно обусловлено в основном образованием в грунте рыхлосвязанной воды. Оболочки связанной воды, формирующиеся вокруг коллоидных и глинистых частиц, уменьшают силы сцепления между ними, раздвигают их и этим вызывают увеличение объема грунта.

Набухание тесно связано со связанностью грунта. В процессе набухания не только увеличивается объем грунта, но и уменьшается его связанность благодаря значительному ослаблению сцепления между отдельными грунтовыми частицами. Набухание грунтов может привести к их разрушению под действием воды – обусловить размокание грунта.

Процесс набухания носит осмотический характер. Причиной, вызывающей набухание, является разница в концентрации солей в поровом растворе и в воде, окружающей породу. Если концентрация внешнего раствора меньше концентрации раствора, находящегося в порах породы, происходит набухание породы (оно тем больше, чем больше разница концентрации этих растворов). Если же концентрация внешнего раствора больше концентрации порового раствора, то набухание может не происходить; в этом случае может наблюдаться сжатие породы, подобное тому, какое наблюдается при ее высыхании.

При увеличении объема грунта в процессе набухания развивается определенное давление, которое называется давлением набухания. Оно может быть обнаружено и измерено с помощью внешней нагрузки. Очевидно, что давление набухания будет равно той нагрузке, при которой увеличение объема грунта наблюдаться не будет. Деформация набухания снижается по мере роста пригрузки и особенно сильно – в зоне малых напряжений. Если величина внешней пригрузки равна или больше давления набухания, то деформация набухания не проявляется.

Набухание грунтов является их важным свойством, которое необходимо учитывать при проведении строительных работ. Строителям приходится иметь дело с явлением набухания грунта при вскрытии их выемками, котлованами и т.п., а также при сооружении плотин и водохранилищ, когда изменяются гидрогеологические условия местности и увеличивается влажность пород за счет вновь поступающей воды. Грунты, слагающие дно и откосы котлованов и выемок, под действием вод (чаще всего атмосферных) могут не только набухать, но и размокать, в результате чего полностью нарушается их естественная структура.

При высыхании набухающие грунты способны давать усадку. В природе грунты, находящиеся на пределе усадки, встречаются только в засушливых местностях (например, в глинистых пустынях Казахстана и Средней Азии) в сухую жаркую летнюю пору. Глинистые грунты, набухшие полностью, встречаются в теплом сезоне года главным образом в районах избыточного увлажнения в лесной и тундровой зонах. Таким образом, грунты природного сложения, плотности и влажности редко набухают в полном диапазоне. Тем не менее набухающие грунты являются нежелательными основаниями зданий и сооружений и материалами насыпей и плотин. В случаях значительных изменений объема в результате набухания вследствие увлажнения или усадки при подсыхании грунта здания и сооружения испытывают деформации, для предотвращения

которых необходимо предусматривать определенные мероприятия в проектах.

2. Определение характеристик набухающих грунтов. Основное соотношение для величины деформации набухания грунта принимается по работе [5]

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

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

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].

Используя данные лабораторных испытаний и зависимость, (2) аналогично получим формулу для определения деформации усадки при $p = 0$

$$\varepsilon_{i,sw} = m_{sh} \cdot \Delta w. \quad (3)$$

3. 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, 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 $\sigma_z < -P_{sw}$ [4].

Используя программные комплексы, работающие на базе метода конечных элементов (МКЭ), 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. При этом определяются напряженные состояния основания, и устанавливаются девять зон, для которых определяются соответствующие деформационные характеристики и вносятся в исходную информацию жесткостных характеристик конечных элементов.

Далее производится расчет всей системы на набухание и усадку от изменения заданной влажности как температурной задачи на температурное воздействие, равное $m\Delta w$ и $m_{sh}\Delta w$. 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} . После этого производится уточнение деформационных характеристик по новым зонам и выполняется новый расчет. После вычисления новых значений суммарных напряжений производится уточнение зон и т.д. 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 0,35 м в пос. Приморский г. Феодосии. Основание сложено из глины твердой сильнонабухающей, мощность слоя 11 м. Основание и стены моделируются прямоугольными КЭ размером 0,2x0,2 м, фундамент моделируется прямоугольными КЭ размером 0,2x0,35 м. 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 $m=0,383$.

С использованием характеристик усадки грунтов [6], полученных лабораторным путем, найдено значение коэффициента усадки $m_{sh}=0,55$ для набухающего грунта пос. Приморский.

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:

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, учитывающее ортотропные свойства набухающих грунтов, оно дает более точные результаты.

Литература

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// *Збірник наукових праць ПолтНТУ.* – Вип. 12. – Полтава, 2003 – 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.* – З.: НДІБК, 2008. – №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 20.09.2013

© І.В. Храпатова