

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ПО ВЕЛИЧИНЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Следует также заметить, что взаимосвязь крутящего момента, необходимого для погружения свай, и прочностных характеристик грунтов позволяет получать дополнительную информацию об инженерно-геологических условиях площадки строительства и может в значительной мере дополнять стандартные методы инженерно-геологических изысканий, особенно при недостаточном количестве последних.

Очевидно, что необходима разработка нормативного документа регламентирующего метод определения несущей способности винтовых свай по величине крутящего момента, необходимого для ее закручивания. Данный документ позволит повысить уровень надежности объектов, возводимых на винтовых сваях, при низкой себестоимости предлагаемого метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 90 с.
2. Hoyt, R.M. Uplift Capacity of Helical Anchors in Soil / R. M. Hoyt, S. P. Clemence // Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics

and Foundation Engineering. – Rio de Janeiro, 1989. – Vol. 2. – P. 1019–1022.

3. Perko, H. A. Helical Piles: A practical guide to design and installation. – New Jersey: John Wiley and Sons, 2009. – 512 p.
4. Livneh, B. Axial testing and numerical modeling of square shaft helical piles under compressive and tensile loading / B. Livneh, M. H. El Naggar // Canadian Geotechnical Journal. – 2008. – Vol. 45, № 8. – P. 1142-1155.
5. Tsuha, C. de H. C. Relationship between installation torque and uplift capacity of deep helical piles in sand / C. de H. C. Tsuha, N. Aoki // Canadian Geotechnical Journal. – 2010. – Vol. 47, № 6. – P. 635-647.
6. Ghaly, A. Installation torque of screw anchor in dry sand / A. Ghaly, A. Hanna, M. Hanna // Soils and foundations. – 1991. – Vol. 31, № 2. – P. 77-92.
7. Ghaly, A. Drivability and pullout resistance of helical units in saturated sands // Soils and foundations. – 1995. – Vol. 35, № 2. – P. 61-66.

Железков, В.Н. Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. – СПб.: Издательский дом «Прагма», 2004. – 125 с.

Халтурин А.Ю. – аспирант, Алтайский государственный технический университет, E-mail: khalt.alex@gmail.com.

УДК 624.131.23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ ОСНОВАНИЯ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

Л.В. Халтурина, А.П. Криворотов, В.С. Кусковский

На основании экспериментальных исследований сделан вывод о необходимости учета реальных свойств грунтов и процессов, происходящих в грунтовых основаниях, в расчете оснований по деформациям. Глубину сжимаемой толщи оснований, сложенных лессовидными грунтами, рекомендовано определять с учетом величины структурной прочности грунта.

Ключевые слова: пылевато-глинистое основание, глубина сжимаемой толщи, напряженное и деформирование состояние, структурная прочность, лессовидные грунты.

В действующем с 20 мая 2011 г. СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [1], в части указаний по расчету деформаций оснований имеется ряд изменений по сравнению со СНиП 2.02.01-83*. Согласно п. 5.6.6 СП 22.13330.2011 «расчет деформаций основания фундамента при среднем давлении под подошвой фундамента p , не превышающем расчетное сопротивление грунта R , следует выполнять, применяя расчетную схему в виде линейно деформируемого полупространства с условным ограничением глубины сжимаемой толщи H_c ». Расчет-

ную схему в виде линейно деформируемого слоя допускается применять только для предварительных расчетов деформаций оснований фундаментов сооружений II и III уровней ответственности при соблюдении ряда оговоренных условий. Для определения осадки основания фундамента с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства, рекомендован метод послойного суммирования. Но, согласно п. 5.6.31 СП 22.13330.2011, осадку основания фундамента следует определять с учетом как среднего значения вертикального

напряжения $\sigma_{zp,i}$ от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, так и среднего значения вертикального напряжения $\sigma_{zy,i}$ в тех же слоях от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}}{E_i} h_i + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i}}{E_{e,i}} h_i. \quad (1)$$

При этом в расчете осадок используются модули деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения E_i и по ветви вторичного нагружения $E_{e,i}$. Таким образом, учтен фактор разгрузки основания при отрывке котлована. В соответствии с п. 5.6.41 СП 22.13330.2011, нижнюю границу сжимаемой толщи основания в общем случае следует принимать на глубине, где вертикальные напряжения от внешней нагрузки σ_{zp} составляют 50% (вместо 20 % по СНиП 2.02.01-83) от вертикальных эффективных напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} . При этом ограничивается минимальная глубина сжимаемой толщи в зависимости от ширины подошвы фундамента.

Очевидно, что корректировка размеров сжимаемой толщи основания в нормативном расчете осадок фундаментов [1] произведена на основании многочисленных экспериментальных исследований по установлению фактических размеров зоны сжатия и обоснованию справедливости ограничения зоны сжатия основания. Такие исследования в натуральных условиях проводились Р.Х. Хакимовым, К.Е. Егоровым, П.А. Коноваловым, Ю.Ф. Туганко, В.В. Михеевым, Л.А. Шелестом, В.Б. Швецом, Г.Б. Кульчитским и другими авторами. Несмотря на различные условия проведения опытов и на отличающиеся свойства грунтов в основаниях, большинство авторов получили важный вывод о том, что фактическая глубина зоны сжатия исследуемых грунтовых оснований в 1,5 – 3 раза меньше, чем по расчету методами линейно деформируемой среды, и расчетные осадки (при прочих равных условиях) получаются больше измеренных.

Комплексные экспериментальные исследования по измерению всех компонент тензора напряжений и тензора деформаций в пылевато-глинистом основании жесткого штампа, проведенные в лабораторных условиях автором статьи Л.В. Халтуриной и профессором А.П. Криворотовым, позволили также сделать важные выводы о поведении системы «жесткий штамп – грунтовое осно-

вание, сложенное плотными маловлажными суглинками нарушенной структуры» [2]. В опытах были созданы условия плоской деформации основания (рисунки 1, 2). Исследовался суглинок со следующими характеристиками: плотность $\rho = 1,95 \text{ т/м}^3$; влажность $W = 0,15$; число пластичности $J_p = 0,12$; показатель текучести $J_L = -0,3$; модуль деформации по результатам компрессионных испытаний $E = 8 \text{ МПа}$, угол внутреннего трения $\varphi = 26^\circ$, сцепление $c = 0,04 \text{ МПа}$. Область исследования распространялась до глубины $3,67b$ и имела ширину, равную $2b$ ($b = 0,3 \text{ м}$ – ширина штампа).

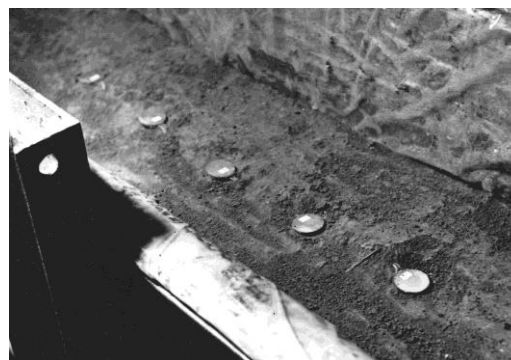


Рисунок 1 – Положение датчиков давления в лотке после частичного удаления грунта по окончании опыта по измерению вертикальных напряжений

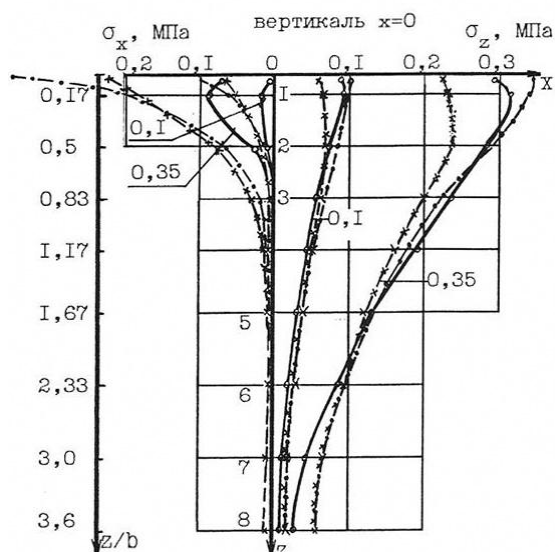


Рисунок 2 – Положение деформометров в лотке после частичного удаления грунта по окончании опыта по измерению вертикальных деформаций

Как видно из рисунка 3, по опытным данным вертикальные напряжения σ_z с глубиной убывают значительно быстрее, чем это следует из решений теории линейно деформируемой среды, как для жесткого штампа, так и для равномерно-распределенной нагрузки на поверхности основания. Величина измерен-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ ОСНОВАНИЯ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

ных вертикальных напряжений на глубине $3,67b$ оказалась на 50 % меньше расчетных для обоих решений линейной задачи. По результатам измерения напряжений глубина зоны получилась значительно меньшей, чем вычисленная с применением расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства: по СНиП 2.02.01- 83* эта разница составила более чем в 3 раза, по СП 22.13330.2011 – примерно в 2,4 раза.



— опытные данные; ----х---- теория линейно деформируемой среды, жесткий штамп;
 ----*---- равномерно распределенная нагрузка на поверхности основания.

Рисунок 3 – Распределение вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений вдоль центральной вертикали штампа при $p = 0,1$ и $0,35 \text{ МН/м}^2$

Таким образом, для плотных маловлажных суглинков при определении границы сжимаемой толщи в методе послойного суммирования изменение коэффициента с 0,2 на 0,5 существенно не повлияло на сближение опытных и расчетных данных: разница в осадках исследуемого основания жесткого штампа составила всего 0,001 м.

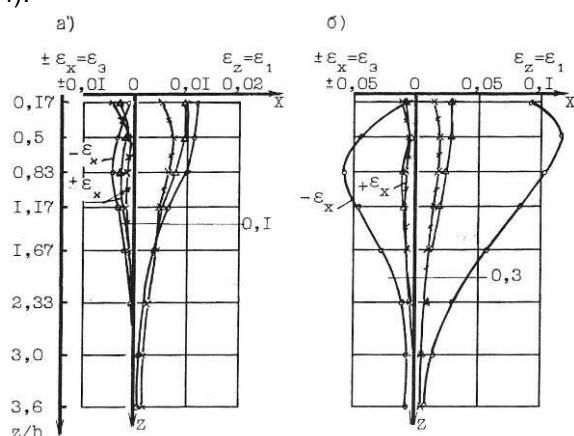
Экспериментально доказано также, что с ростом давления на основание, мощность сжимаемой толщи увеличивается интенсивнее роста давления. Опыты с плотными суглинками нарушенной структуры, проведенные в лабораторных условиях, согласуются с выводами П.А. Коновалова [3] и других исследователей о значительно более низкой распределительной способности пылеватоглинистых грунтов, чем это предусмотрено моделью линейно деформируемой среды. Г.Е. Лазебник и А.А. Смирнов в 1964 г. по ре-

зультатам полевых опытов по измерению напряжений под жестким ленточным фундаментом сделали вывод, что распределительная способность грунта тем меньше, чем менее связным является грунт.

Отметим некоторые полученные в наших опытах результаты, характеризующие особенности напряженного и деформированного состояний исследуемого основания. Как видно из рисунка 3, в точках центральной вертикали системы "штамп-основание" наблюдается некоторая концентрация напряжений σ_z и деконцентрация напряжений σ_x по сравнению с результатами линейного решения задачи, когда нагрузка на основание передается через жесткий штамп. Вертикальные напряжения σ_z имеют максимум на глубине $z = (0,17-0,5) b$; горизонтальные напряжения σ_x зафиксированы лишь до глубины $z < 0,83b$. Заметим, что использование схемы действия вертикальной равномерной нагрузки на поверхности основания при решении линейной задачи приводит к меньшим расхождениям значений σ_z с опытными данными.

Аналогичные результаты при других условиях проведения опытов для глинистых грунтов, включая лессовидные, получены М.Ю. Абелевым, С.С. Вяловым, Г.И. Кравцовым, А.П. Криворотовым, Г.Е. Лазебником, А.П. Миндичем, А.С. Полищуком, В.М. Чикишевым и др.

В пределах активной зоны сжатия основания, измеренные вертикальные $\varepsilon_z = \varepsilon_1$ и горизонтальные $\varepsilon_x = \varepsilon_3$ деформации вдоль центральной вертикали в несколько раз превышают вычисленные по формуле закона Гука с использованием теоретических напряжений в предположении изотропности среды (рисунок 4).



— опытные значения; ----х---- теория линейно деформируемой среды, жесткий штамп;
 ----*---- равномерно распределенная нагрузка на поверхности основания

Рисунок 4 – Распределение главных относительных деформаций вдоль центральной вертикали штампа:
а) при $p=0,1 \text{ МН/м}^2$; б) при $p=0,3 \text{ МН/м}^2$

В отличие от теоретических данных, опыты показали, что осадка штампа более чем на 80% обусловлена сжатием слоя грунта глубиной около $1,7b$. Зависимости между нагрузками и измеренными осадками, а также между напряжениями и деформациями, близки к линейным лишь при значениях $p < 0,4R$.

Модули деформации E_1 и E_3 , вычисленные по формулам закона Гука с использованием измеренных напряжений и деформаций, в различных «точках» основания штампа различны и изменяются с ростом давления: основание обладает заметной деформационной неоднородностью, характер которой изменяется при увеличении давления на основание (рисунок 5).

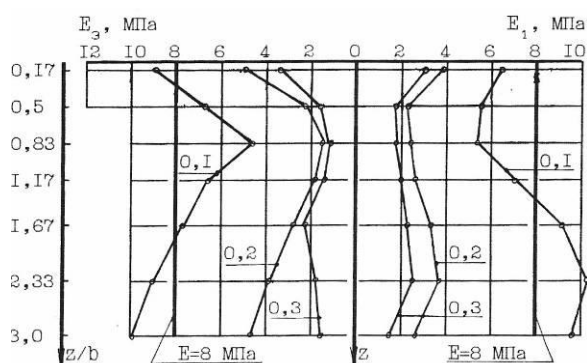


Рисунок 5 – Изменение модулей деформации E_1 и E_3 вдоль центральной вертикали штампа при $p = 0,1; 0,2; 0,3 \text{ МН/м}^2$

Сделан вывод о том, что изменчивость модулей деформации должна, несомненно, подлежать учету в расчете осадок фундаментов. Необходимость такого учета для большинства разновидностей грунтов доказана экспериментальными исследованиями многих авторов и обоснована, например, в работе А.П. Криворотова [4].

Можно предположить, что в СП 22.13330.2011 аналогом формулы (1) послужила формула для расчета осадок методом послойного суммирования, принятая в СП 23.13330.2011 (СНиП 2.02.02-85*) «Основания гидротехнических сооружений».

Но, если для оснований гидротехнических сооружений в расчете осадок учтена изменчивость модулей деформации грунта в

зависимости от уровня действующих напряжений, то в расчете оснований зданий и сооружений по формуле (1), эта изменчивость, как и прежде, не учитывается.

Исследуемое основание обладает слабо выраженной деформационной анизотропией с показателями анизотропии $0,35 < E_3/E_1 < 1,60$, и в практических расчетах осадок ленточных фундаментов, расположенных на грунтах, аналогичных исследуемому, такой степенью деформационной анизотропии можно пренебречь. Для грунтов с четко выраженными анизотропными свойствами, например, для лессовидных макропористых грунтов [5], учет анизотропии может внести существенные коррективы в значения осадок.

Опыты А.П. Криворотова, А.Л. Крыжановского, Г.М. Ломизе, М.В. Малышева, Ю.Н. Мурзенко и многих других показали, что «поведение» песчаных оснований отличается от принятого моделью линейно деформируемой среды, в значительно большей степени, чем «поведение» оснований, сложенных глинистыми грунтами.

Введение коэффициента 0,5 при определении размеров сжимаемой толщи в расчете осадок фундаментов по СП 22.13330.2011, хотя в общем случае и сближает расчетные и опытные размеры сжимаемой толщи, но, по-прежнему, его выбранное значение является достаточно условным. Заложенный в нормативные документы критерий установления глубины сжимаемой толщи не учитывает многие факторы, в том числе свойства грунтов, слагающих основание, а значит и не отражает фактического распространения деформаций по глубине основания. Глубину сжимаемой толщи каким-либо способом искусственно ограничивают все существующие методы расчета осадок фундаментов, основанные на теории упругости. Определение нижней границы сжимаемой толщи является необходимым условием расчета не только традиционными методами, но и при расчетах грунтовых оснований с помощью современных геотехнических программных комплексов. Некоторые нелинейные модели грунтов, не позволяют автоматически определять границу сжимаемой толщи.

Исследования Н.А. Цытовича показали, что «... размер активной зоны сжатия зависит от напряжений, испытываемых грунтом на глубине, от уплотненности (плотности сложения песчаных грунтов и консистенции глинистых) и структурной прочности грунтов... Для глинистых грунтов мы рекомендуем активную зону сжатия определять из условия: $\max \sigma_z /$

$\rho_{стр}$, то есть учитывать сжатие слоев грунта лишь до глубины, где возникающие сжимающие напряжения будут больше структурной прочности грунтов; причем для вязких, тугопластичных и твердых глин необходимо учесть и уменьшающее влияние начального градиента напора; получаемые же размеры активной зоны сжатия, как правило, могут не совпадать с обычными рекомендациями, но будут отвечать физической природе явления, что и подтверждается результатами натуральных наблюдений ...» [6].

Экспериментально-теоретические исследования лессовидных грунтов и оснований, сложенных такими грунтами [7, 8] доказывают, что учет структурных характеристик грунта при оценке его сжимаемости имеет важное практическое значение и позволяет, в частности, более точно определить глубину сжимаемой зоны оснований при расчете осадок фундаментов. На основании проведенных исследований [8] М.А. Осиповой получены величины структурной прочности нескольких разновидностей лессовидных суглинков и лессовидных супесей, при различных физико-механических характеристиках этих грунтов. По результатам исследований рекомендовано нижнюю границу сжимаемой толщи грунтового основания, сложенного лессовидными грунтами, определять из условия равенства величины напряжений от дополнительной нагрузки и величины структурной прочности грунта. По данным [8], зона сжатия основания фундаментов, определенная из таких условий, получается на 15-25 % меньше по сравнению с рассчитанной по СНиП 2.02.01-83* (по СП 22.13330.2011 – разница немного сокращается). Учет уменьшения сжимаемой толщи основания при одинаковых исходных данных, приводит к снижению расчетной осадки (до 40% для оснований с модулем деформации меньше 5 МПа).

Учет структурных характеристик грунтов при оценке их сжимаемости позволяет более точно определить глубину сжимаемой зоны, как правило, уменьшить ее и более точно определить величину осадки основания. При этом размер сжимаемой толщи непосредственно связан с одной из важных характеристик грунта – его структурной прочностью, что имеет физический смысл и отвечает его реальной природе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Традиционный метод расчета оснований по деформациям с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого

полупространства узаконен СП 22.13330.2011 и остается наиболее применимым при проектировании объектов массового строительства. Исходные предпосылки расчетной схемы линейно деформируемого полупространства имеют значительные расхождения с реальными свойствами грунтов и процессами, происходящими в грунтовых основаниях под воздействием внешних нагрузок и других факторов. Для повышения надежности полученных расчетом результатов эффективным является путь совершенствования нормативного метода расчета оснований по деформациям при максимальном учете свойств конкретных грунтов и особенностей их деформирования. Это может быть достигнуто только на основании постоянного накопления и аналитического обобщения экспериментального материала, полученного в результате лабораторных и натуральных исследований при разных условиях проведения опытов с учетом значительного разнообразия свойств грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. – М., 2011. – 138 с.
2. Халтурина, Л.В. Напряженно деформированное состояние глинистого основания жесткого полосового штампа [Текст] / Л.В. Халтурина // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – N 1. – С. 15-21.
3. Коновалов, П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий [Текст] / П.А. Коновалов – М., 2000. – 317 с.
4. Криворотов, А.П. О совершенствовании метода послойного суммирования деформаций в расчете осадок фундаментов [Текст] / А.П. Криворотов // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – N 10. – С. 40-47.
5. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений [Текст] / А.К. Бугров, А.И. Голубев – С.-Петербург: Недра, 1993. – 245 с.
6. Цытович, Н.А. Механика грунтов [Текст] / Н.А. Цытович. – М: Высшая школа, 1983. – 288 с.
7. Швецов, Г.И. Лессовые породы Западной Сибири и методы устройства оснований и фундаментов / Г.И.Швецов – М.: Высшая школа, 2000. – 244 с.
8. Осипова, М.А. Рекомендации по расчету осадок оснований с учетом структурной прочности лессовых грунтов / М.А. Осипова, И.В. Носков // Ползуновский вестник. – 2011. – N 1. – С. 167-170.

Халтурина Л.В. – к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет, E-mail: khalt.alex@gmail.com, Криворотов А.П. – д.т.н., профессор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Кусковский В.С. – д.г.-м.н., в.н.с., Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.