

- водственных зданий. В сб. "Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий". - М., 1980. - С. 84-93.
7. Богословский В.Н. Строительная теплотехника. - М.: Высшая школа, 1982. - 415 с.
 8. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. - М.: Стройиздат, 1973. - 287 с.
 9. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Тепловой режим вентилируемых воздушных прослоек фасадных систем. / Жилищное строительство 2007. - №6. - С. 13-15.
 10. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. "Натурные исследования наружных стен зданий, теплоизолированных по системе "вентилируемый фасад". Материалы научно-технической конференции "Современные фасадные системы: эффективность и долговечность". - М.: МГСУ, 2008. - С. 212-217.
 11. А.А. Самарский. Введение в теорию разностных схем. - М., 1971. - 522 с.
 12. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Устойчивость разностных схем. - М., 1973. - 287 с.
 13. Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф. Разностные методы исследования задач теплообмена. - Мн.: Наука и техника, 1976. - 182 с.
 14. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х томах: Т. 1: Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. - 504 с.
 15. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. - М.: Энергия, 1977. - 344 с.
 16. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. - Мн., 2007.
 17. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология. - Мн., 2001.

Материал поступил в редакцию 09.01.09

PROTASEVICH A.M., KRUTILIN A.B. Exterior wall heat-and- moisture operation calculation of buildings with safety screens and vent air space

Heat and moisture transit mathematical model for walls with external insulation "ventilated facade" is represented in this paper. Computer program, which allows to clear heat-and- moisture operation of given walls was composed. Bulk humidity distributions of wall panel with external insulation of stone wool by the system "ventilated facade" were determined by the calculations. Warming system technology "ventilated facade" improves moisture conditions of structures, declines bulk humidity of the materials and supports their maintenance in sorption damping area.

УДК 624.1+624.015:725.4

Пойта П.С., Невейков А.Н., Шведовский П.В., Шалобьта Т.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ УСТРОЙСТВЕ СВАЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ В ГРУНТЕ

Введение. Сопротивление грунта по боковой поверхности свай, изготавливаемых в грунте, зависит от давления грунта на контакте системы «свая-грунт» и прочностных характеристик грунта, окружающего ствол сваи.

Как известно, в процессе бетонирования сваи, а именно укладки бетонной смеси и ее уплотнения, возникают давления, вызывающие некоторое расширение скважины.

При твердении бетона происходит его усадка и тем самым уменьшение давления на стенки скважины, что вызывает некоторое уменьшение диаметра скважины. А при нагружении сваи вертикальной нагрузкой имеет место увеличение диаметра скважины за счет поперечного расширения ствола сваи.

Таким образом, при изготовлении буровых и буронабивных свай, на грунт, окружающий ствол сваи, оказывают влияние: давление от собственного веса бетона; усадка бетона при его твердении; давление от поперечного расширения ствола сваи при его нагружении.

Если же использовать в качестве материала сваи самоупрочненный бетон, то необходим и учет давления самоупрочнения.

Отсюда, при определении напряжений на контакте сваи с грунтом, обусловленных давлением бетонной массы на стенки скважины, самоупрочнением бетона и усадкой бетона при его твердении, необходимо рассматривать два случая:

- напряжения при условии, что давление бетонной смеси не вызывает появления вокруг скважины зон предельного равновесия грунта, (упругая задача);
- напряжения при условии, что вокруг скважины образуется зона предельного равновесия грунта (упруго-пластическая задача).

Объект и методика исследований. Теоретически вопрос о напряженно-деформированном состоянии грунта вокруг радиально расширяющейся скважины решен в задаче Ляме о расширении трубы при очень большой толщине ее стенок. Применительно к другим условиям этот вопрос решен в исследованиях [1, 3, 4, 5, 6, 7].

Радиус зоны предельного равновесия В.Г.Березанцев [] предложил определять по формуле

$$r_0 = \frac{d}{2} \left[1 + \frac{\sqrt{2} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2}\right)} \right], \quad (1)$$

где d – диаметр скважины; φ - угол внутреннего трения грунта. Обозначив

$$M = 1 + \frac{\sqrt{2} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2}\right)}, \quad (2)$$

получим $r_0 = M \frac{d}{2}$ (рис. 1).

Тогда вся зона уплотнения грунта с учетом упругих перемещений составит

$$R = M \frac{d}{2} + U_{\text{упр.}} \quad (3)$$

Гольдштейн М.Н. и др. предлагают область предельного равновесия, в которой происходит уплотнение грунта, определять по формуле:

Пойта Петр Степанович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии, ректор Брестского государственного технического университета.

Невейков Александр Николаевич, аспирант кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Шведовский Петр Владимирович, к.т.н., профессор кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Шалобьта Татьяна Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

$$r_0 = \frac{d}{2} \left[\frac{A(P - \gamma_1 h_\phi) + d}{\gamma_1 h_\phi + c + d} \right]^{1/\kappa}, \quad (4)$$

где A – экспериментальный параметр, равный: 0,5 – для песков и супесей; 0,75 – суглинков; 1,0 – глин; γ_1 – удельный вес грунта; h_ϕ – глубина погружения сваи; σ_n^1 – давление предуплотнения (максимальное уплотняющее давление).

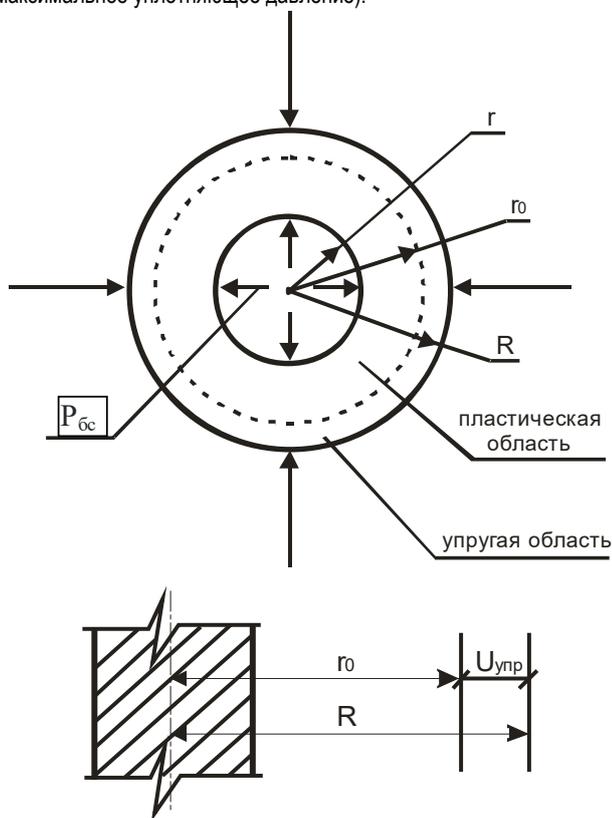


Рис. 1. Схема к определению зоны уплотнения грунта

Ф.К. Лапшин [3] радиус области пластических деформаций предлагает определять по следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= e_0 (P' + C \operatorname{ctg} \varphi / P_n + C \operatorname{ctg} \varphi)^{(1+\sin \varphi)/2 \sin \varphi} \\ \rho &= \frac{d}{2} (P' / P_n)^{(1+\sin \varphi)/2 \sin \varphi} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где e_0 – начальный коэффициент пористости; P' – давление на стенки скважины при ее расширении; P_n – давление в состоянии покоя на глубине h , равное $P_n = \gamma h(1 - \sin \varphi)$; $\frac{d}{2}$ – начальный радиус скважины.

И. Мечи [4] увязывает радиус области пластических деформаций с начальным диаметром скважины и давлением на ее стенки. При этом, как отмечает М.И. Никитенко [5], формула Ф.К. Лапшина дает величину r_0 почти в два раза больше в сравнении с решением И. Мечи. Д.Ю.Соболевский [6], при треугольном изменении удельного веса грунта в зоне уплотнения и допущении, что на контакте с телом анкера (аналогично и со стволем сваи) опрессовка несвязного грунта происходит до критической плотности $e_{min}=0,45$, получил

$$r_0 = \frac{d}{2} \sqrt{[2K^2(1+I_0) - 2 - e_{min} - e_0] / (e_0 - e_{min})}, \quad (6)$$

где K – соотношение радиусов уплотненной зоны и скважины.

Анализ рассмотренных зависимостей показывает, что по В.Г. Березанцеву и М.Н. Гольдштейну [1, 5] размеры зоны уплотне-

ния грунта различаются незначительно, хотя в полученных решениях зависят от разных параметров грунта. Размеры зоны уплотнения по глубине по В.Г. Березанцеву, не изменяются, в то время, как по М.Н. Гольдштейну, они зависят от природного давления грунта. По Ф.К. Лапшину также имеем, что с увеличением глубины радиус зоны уплотнения уменьшается при постоянном давлении на стенки скважины, а у И. Мечи – при одинаковом диаметре скважины, но с учетом нарастающего радиального давления по глубине.

Расчетная зависимость Ф.К. Лапшина (5) также завышает значения радиуса уплотненной зоны. У поверхности грунта при одном и том же уширении скважины величина r_0 стремится к бесконечности, чего в реальности не может быть.

Зависимость Д.Ю. Соболевского (6) не учитывает гранулометрического состава грунта и его прочностных свойств. Она также дает достаточно большое увеличение радиуса зоны уплотнения с ростом давления на грунт.

Что касается упругой зоны $U_{упр.}$, то Ф.К. Лапшин считает, что так как величина $U_{упр.}$ не превышает в большинстве случаев 0,01 ширины пластической зоны, то упругими перемещениями можно пренебречь. К аналогичному выводу пришел и М.И. Никитенко. А это позволяет считать, что радиус зоны уплотнения грунта будет равен

$$R = r_0 = M \frac{d}{2}. \quad (7)$$

Не менее существенным при расчете несущей способности сваи является и вопрос определения коэффициента пористости грунта вокруг ствола сваи, так как выдавливание грунта в стороны обуславливает его уплотнение (рис. 2).

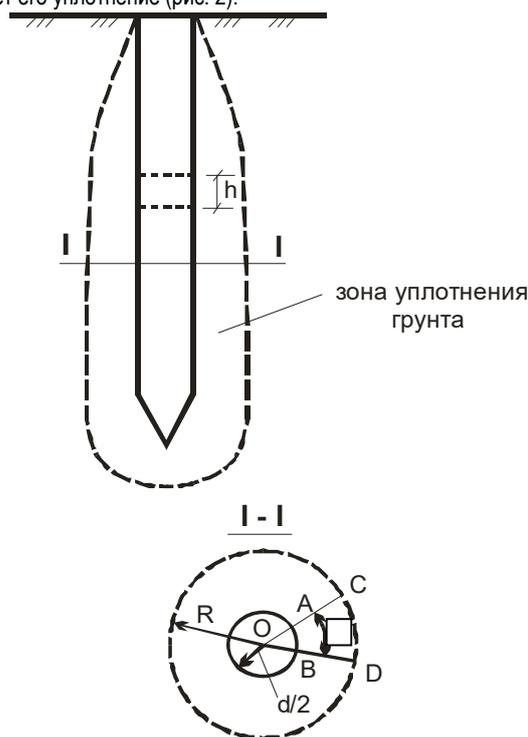


Рис. 2. Схема к определению коэффициента пористости в зоне уплотнения грунта

Как видим из схемы, при погружении обсадной трубы или устройстве сваи в грунте происходит выдавливание грунта из малого сектора АО в большой сектор АСДВ, что и обуславливает увеличение плотности грунта, окружающего трубу или ствол сваи.

Обозначив: e_0 – коэффициент пористости грунта природного сложения; $d/2$ – радиус скважины; R – радиус зоны уплотнения; h – высота участка скважины; α – угол выделенного сектора АОВ, имеем:

- объем сектора АОВ (малый сектор) равен

$$V_{AOB} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 360} \cdot \alpha \cdot h; \quad (8)$$

- объем сектора СОД (большой сектор) равен

$$V_{ACDB} = \frac{\pi R^2}{360} \cdot \alpha \cdot h; \quad (9)$$

- объем твердых частиц в малом секторе

$$V_{AOB}^{m.ч.} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 360} \cdot \alpha \cdot h \cdot \frac{1}{1 + e_0}; \quad (10)$$

- объем твердых частиц в секторе АСДВ после погружения обсадной трубы (забивной сваи)

$$V_{COD}^{m.ч.} = \frac{\pi R^2}{360} \cdot \alpha \cdot h \cdot \frac{1}{1 + e_0}; \quad (11)$$

- объем сектора АВДС

$$V_{ABCD} = \frac{\pi R^2}{360} \cdot \alpha \cdot h - \frac{1}{1 + e_0} - \frac{\pi d^2}{4 \cdot 360} \cdot \alpha \cdot h = \frac{\pi \alpha h}{360} \left(R^2 - \frac{d^2}{4} \right). \quad (12)$$

Тогда объем твердых частиц в секторе АВДС после забивки обсадной трубы равен

$$V_{ABCD}^{m.ч.} = \frac{\pi \alpha h}{360} \left(R^2 - \frac{d^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{1 + e_1}, \quad (13)$$

где e_1 – осредненный коэффициент пористости грунта после погружения обсадной трубы.

Очевидно, что

$$\frac{\pi R^2}{360} \cdot \alpha \cdot h - \frac{1}{1 + e_0} = \frac{\pi \alpha h}{360} \left(R^2 - \frac{d^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{1 + e_1}. \quad (14)$$

Выполнив соответствующие преобразования, получим:

$$\frac{R^2}{1 + e_0} = \left(R^2 - \frac{d^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{1 + e_1}. \quad (15)$$

Из полученного выражения определим осредненное значение коэффициента пористости в пределах области предельного равновесия, где происходит уплотнение:

$$e_1 = e_0 - \frac{d^2}{4R^2} (1 + e_0). \quad (16)$$

Результаты эксперимента и их обсуждение. Таким образом, зная начальный коэффициент пористости, диаметр сваи и радиус зоны уплотнения, можно определить осредненное значение коэффициента пористости грунта в зоне уплотнения. Этот факт имеет большое значение, так как, используя e_1 , можно прогнозировать величину прочностных и деформационных характеристик грунта. Используя рекомендации Мохаммада Х.М. [7] по определению удельного веса грунта, обжатого закаченным раствором в скважину

$$\gamma_{обж} = \gamma_{нач} \frac{R^2 - r^2}{R_1^2 - r_1^2}, \quad (17)$$

где r, R – радиусы до загрузки; r_1, R_1 – радиусы обжатого кольца после загрузки с учетом относительного расширения слоя грунта вокруг скважины

$$\varepsilon = \frac{U}{r}, \quad (18)$$

где U – увеличение радиуса при инъекции, плотность грунта вокруг расширяющейся скважины можно определить по формуле:

$$\gamma_{обж} = \gamma_{нач} \frac{24r^2}{25r^2 - (r + U)^2}. \quad (19)$$

На наш взгляд, оценка состояния грунта после погружения сваи через коэффициент пористости является более удобной, ибо в действующих нормах [2] именно коэффициент пористости положен в основу определения расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности сваи.

Выводы:

1. При оценке напряженно-деформированного состояния грунта, окружающего ствол буровых и буронабивных свай из самоупроченных бетонов, необходимо учитывать следующую совокупность факторов: давление от собственного веса бетона; усадку бетона при его твердении; давление от поперечного расширения ствола сваи при нагружении; давление самоупрочения бетона.
2. Величину осредненного значения коэффициента пористости грунта в зоне уплотнения целесообразно определять через значения начального коэффициента пористости, диаметр сваи и радиус зоны уплотнения.
3. Оценка напряженно-деформированного состояния грунта после устройства буровых и буронабивных свай через коэффициент пористости является более удобной, так как в действующих нормах он положен в основу определения расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности сваи.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Березанцев, В.Г. Расчет оснований сооружений. – Л.: Стройиздат, 1970. – 308 с.
2. Основания и фундаменты зданий и сооружений. СНБ 5.01.01-99 // ГП «Стройтехнорм», Минархстрой РБ. – Минск, 1999. – 36 с.
3. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям. – Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 152 с.
4. Mecsi, J. Stres/strain condition in the soil ground a radially expanding cylinder / J.Mecsi //Sb. 14 konference se zahr. Ucasti: Zakladoni staveb. – Beno, 1986. – S. 173–184.
5. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: монография. – Минск: БНТУ, 2007. – 580 с.
6. Соболевский, Д.А. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта. – Минск: Наука и техника, 1994. – 232 с.
7. Мохаммад, Х.М. Буроинъекционное упрочнение оснований зданий и сооружений при реконструкциях: автореф. дис. канд. техн. наук / Х.М.Мохаммад. – Минск, 1998. – 21 с.

Материал поступил в редакцию 22.01.09

POJTA P.S., NEVEJKOV A.N., SHVEDOVSKI P.V., SHALOBYTA T.P. Research of features of condensation of an earth file at the device of piles made in a ground

In work the major factors determining is intense - is deformed a condition of a ground around of a trunk of a pile, and accordingly and its resistance on a lateral surface of a pile and bearing ability of a pile on a ground are analysed.

The basic laws of change of factor porosity of a ground around of a trunk of a pile are revealed, and also the settlement dependences for definition of parameters of a zone of condensation of a ground are offered.