

Ушакова Екатерина Андреевна,

студентка магистратуры кафедры

«Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство»,

Борозенец Леонид Михайлович,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры

«Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство»,

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»,

г. Тольятти, Самарская область, Россия

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО НЕЛИНЕЙНОГО ГРАФИКА ЗАВИСИМОСТИ ОСАДКИ ОТ НАГРУЗКИ БУРОВОЙ СВАИ

Исследование проведено для теоретического обоснования нелинейного деформирования предельно-напряженных зернистых грунтов в основаниях нагружаемых одиночных буровых свай. Сделаны обобщающие выводы по сущности содержания проведенного исследования.

Ключевые слова: теория, эксперимент, деформация, грунт, свая, основание, давление, сдвиг, равновесие, осадка, нагрузка.

Введение

Тема исследования разработана с использованием известных положений теории напряжения нелинейного упруго-пластическивязкого взаимодействия нагружаемой одиночной сваи с грунтами основания [1] и модели теории нелинейного деформирования предельно-напряженных зернистых пылевато-глинистых и песчаных грунтов [2].

Представлены результаты экспериментальных исследований натурной опытной буровой сваи в полевых условиях [3]. Осуществлено теоретическое определение нагрузок пяти зон состояний предельных равновесий грунта тангенсоида вращения буровой сваи. Проведено исследование нагрузок по трём зонам состояний предельных равновесий боковых поверхностей ствола и тангенсоида вращения сваи. Разработана методика расчёта деформированного состояния трёх зон предельных состояний грунта в основании тангенсоида

вращения условного массивного фундамента сваи. Выявлено, что грунт в трёх зонах фазы уплотнения A выпирается тангенсоидом вращения вдоль ствола сваи с генерацией его обжатия давлением главного минимального нормального напряжения σ_{z_i} по зонам состояний предельных равновесий.

Методология расчётного исследования включает следующие факторы: обоснование задействованных в работе сваи зон состояния предельных равновесий грунта; расчёт несущей способности основания и осадок буровой сваи; расчёт сжимаемости грунта в основании подошвы условного массивного фундамента буровой сваи; определение значений нагрузок и деформации фактических экспериментальных зон состояний предельных равновесий.

1. Экспериментальный нелинейный график зависимости осадки от нагрузки буровой сваи

Разработка методологии расчета указанных факторов проводится с использованием экспериментальных данных, полученных в полевых условиях для буровой сваи Б-1 [2]. На рис. 1а) изображена схема буровой сваи Б-1. График 1 испытания буровой сваи построен и показан на рис. 1б).

Грунты – суглинки, макропористые I-го типа просадочности, следующего состава:

1-й слой: $h_1 = 1,5 \text{ м}$; $c_1 = 34,6 \text{ кПа}$; $\varphi_1 = 23^\circ$; $e_1 = 0,93$; $\gamma_1 = 17,0 \text{ кН/м}^3$;
 $\gamma_{d1} = 14,4 \text{ кН/м}^3$.

2-й слой: $h_2 = 1,0 \text{ м}$; $c_2 = 27,9 \text{ кПа}$; $\varphi_2 = 22^\circ$; $e_2 = 0,78$; $\gamma_2 = 18,5 \text{ кН/м}^3$;
 $\gamma_{d2} = 15,2 \text{ кН/м}^3$.

3-й слой: $h_3 = 0,64 \text{ м}$; $c_3 = 24,2 \text{ кПа}$; $\varphi_3 = 21^\circ$; $e_3 = 0,79$; $\gamma_3 = 18,8 \text{ кН/м}^3$;
 $\gamma_{d3} = 15,3 \text{ кН/м}^3$.

2. Определение критических нагрузок пяти зон состояний предельных равновесий тангенсоида вращения буровой сваи

Расчётное исследование с целью упрощения проводится по средневзвешенным значениям физико-механических характеристик грунтов:

• удельного сцепления
$$\bar{c} = \frac{c_1 h_1 + c_2 h_2 + c_3 h_3}{\Sigma h_i} = 28,862 \text{ кПа}; \quad (1)$$

• угла внутреннего трения грунта
$$\bar{\varphi} = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \varphi_3 h_3}{\Sigma h_i} = 22^\circ; \quad (2)$$

• удельного веса скелета сухого грунта
$$\bar{\gamma}_d = \frac{\gamma_{d1} h_1 + \gamma_{d2} h_2 + \gamma_{d3} h_3}{\Sigma h_i} = 14,95 \text{ кН/м}^3; \quad (3)$$

• удельного веса грунта
$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{\Sigma h_i} = 17,8 \text{ кН/м}^3. \quad (4)$$

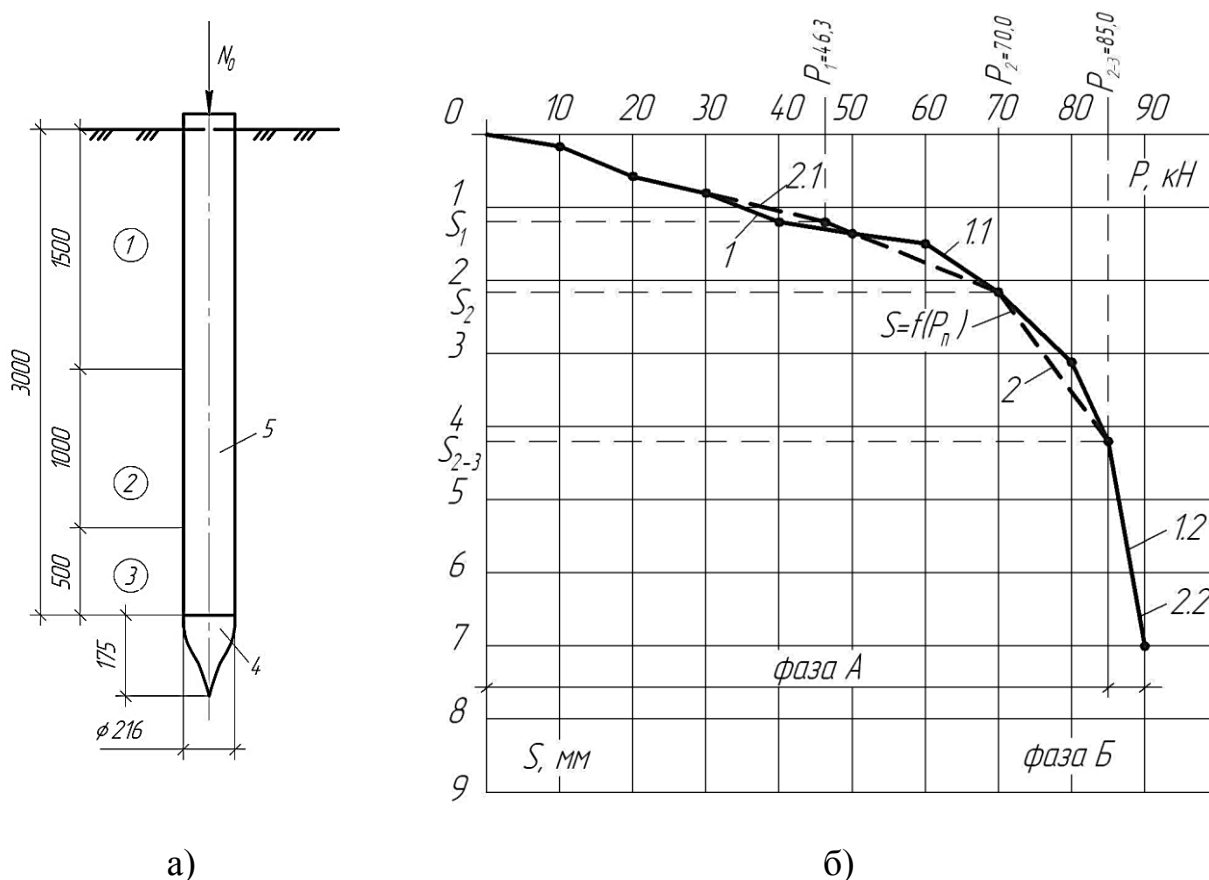


Рисунок 1 – Схема буровой сваи Б-1:

а) 1, 2, 3 – слои грунтов; 4 – тангенсоид вращения; 5 – свая;

б) графики зависимости осадки от нагрузки: 1 – экспериментальный; 2 – расчетный

Нагрузки на основание сваи:

• от массы ствола сваи $N_c = \pi \cdot R^2 l_c \gamma_6 = 2,64 \text{ кН};$

• от массы домкрата $N_d = 0,5 \text{ кН};$

• внешняя нагрузка $N_o = 90 \text{ кН}.$

Общая нагрузка на основание сваи $N = N_0 + N_c + N_d = 93,14$ кН.

Средневзвешенные значения углов внутреннего трения грунта пяти зон состояний предельных равновесий:

$$\varphi_1 = \varphi = 22^\circ; \varphi_2 = 22,5^\circ + \varphi/2 = 33,5^\circ; \varphi_3 = 45^\circ;$$

$$\varphi_4 = 67,5^\circ - \varphi/2 = 56,5^\circ; \varphi_5 = 90^\circ - \varphi = 68^\circ.$$

Коэффициенты углов внутреннего трения грунта:

$$k_1 = \operatorname{tg} \varphi_1 = 0,4040; k_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 = 0,6619; k_3 = \operatorname{tg} \varphi_3 = 1,0;$$

$$k_4 = \operatorname{tg} \varphi_4 = 1,5108; k_5 = \operatorname{tg} \varphi_5 = 2,475.$$

Суммарное значение коэффициентов

$$\Sigma \operatorname{tg} \varphi_{1-5} = \operatorname{tg} \varphi_1 + \dots + \operatorname{tg} \varphi_5 = 6,0517.$$

Коэффициент тотальности напряжений сжатия:

$$k = \sin \varphi + \cos \varphi = 1,3018 \quad (5)$$

Максимальные напряжения зон состояний предельных равновесий:

• упругости:

$$\sigma_{str} = \sigma_d \cos \varphi = 13,86 \text{ кПа}; \sigma_0 = \sigma_d - \sigma_{str} = 1,07 \text{ кПа};$$

• упруго-пластичновязкости:

$$\sigma_1 = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_1 k = 23,04 \text{ кПа}; \sigma_2 = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_2 k = 37,75 \text{ кПа};$$

$$\sigma_3 = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_3 k = 57,03 \text{ кПа}; \sigma_4 = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_4 k = 86,16 \text{ кПа};$$

$$\sigma_5 = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_5 k = 141,15 \text{ кПа}.$$

Последовательно суммарные значения напряжений по зонам:

• упругости:

$$\Sigma \sigma_{0-0} = 0 + \sigma_0 = 1,07 \text{ кПа}; \Sigma \sigma_{0-str} = \Sigma \sigma_{0-0} + \sigma_{str} = 14,93 \text{ кПа};$$

• упруго-пластичновязкости:

$$\Sigma \sigma_{0-1} = \Sigma \tau_{0-1} = 0 + \sigma_1 = 23,04 \text{ кПа}; \Sigma \sigma_{0-2} = \Sigma \tau_{0-2} = \sigma_{0-1} + \sigma_2 = 60,79 \text{ кПа};$$

$$\Sigma \sigma_{0-3} = \Sigma \tau_{0-3} = \sigma_{0-2} + \sigma_3 = 117,82 \text{ кПа}; \Sigma \sigma_{0-4} = \Sigma \tau_{0-4} = \sigma_{0-3} + \sigma_4 = 203,98 \text{ кПа};$$

$$\Sigma \sigma_{0-5} = \Sigma \tau_{0-5} = \sigma_{0-4} + \sigma_5 = 345,13 \text{ кПа}.$$

Радиус пятой зоны состояния предельного равновесия:

$$R_5 = \sqrt{2A_c / \pi} = 153 \text{ мм}, \quad (6)$$

где A_c – площадь поперечного сечения ствола сваи.

По полученным значениям максимальных напряжений пяти зон состояний предельных равновесий, структурной прочности и начальной упругости рассчитываются радиусы их границ:

$$R_4 = R_5 \sigma_{0-5} / \sigma_{0-4} = 0,259 \text{ м}; R_3 = R_5 \sigma_{0-5} / \sigma_{0-3} = 0,448 \text{ м};$$

$$R_2 = R_5 \sigma_{0-5} / \sigma_{0-2} = 0,868 \text{ м}; R_1 = R_5 \sigma_{0-5} / \sigma_{0-1} = 2,291 \text{ м};$$

$$R_{str} = R_5 \sigma_{0-5} / \sigma_{0-str} = 3,536 \text{ м}; R_0 = R_5 \sigma_{0-5} / \sigma_{0-0} = 49,416 \text{ м}.$$

Мощность сжимаемой толщи каждого слоя грунта между границами зон:

$$\Delta h_5 = R = 0,153 \text{ м}; \Delta h_4 = R_4 - R_5 = 0,106 \text{ м}; \Delta h_3 = R_3 - R_4 = 0,189 \text{ м};$$

$$\Delta h_2 = R_2 - R_3 = 0,420 \text{ м}; \Delta h_1 = R_1 - R_2 = 1,423 \text{ м}; \Delta h_{str} = R_{str} - R_1 = 1,245 \text{ м};$$

$$\Delta h_0 = R_0 - R_{str} = 45,879 \text{ м}.$$

Нагрузка по границам зон состояний предельных равновесий тангенсоида вращения:

$$P_1 = A_T \sigma_1 = 1,82 \text{ кН}; P_2 = A_T \sigma_2 = 4,80 \text{ кН}; P_3 = A_T \sigma_3 = 9,31 \text{ кН};$$

$$P_4 = A_T \sigma_4 = 16,12 \text{ кН}; P_5 = A_T \sigma_5 = 27,26 \text{ кН}.$$

где $A_T = 0,079 \text{ м}^2$ – площадь боковой поверхности тангенсоида вращения.

Схемы формирования зон состояний предельных равновесий вокруг тангенсоида вращения и ствола сваи см. рис. 3 и 4.

3. Расчётное исследование нагрузок по трем зонам состояний предельных равновесий боковых поверхностей ствола и тангенсоида вращения сваи

Согласно теоретическим результатам исследованной в процессе формирования тангенсоида вращения из-под него восходящим потоком грунт последовательно по зонам выпирается вверх вдоль ствола сваи под напряжениями давления σ_{1n} – максимального главного нормального сжатия, действующего параллельно стволу сваи и σ_{3n} – минимального напряжения сжатия, направленного ортогонально к боковой поверхности ствола сваи,

обжимающего его и формирующего равное по величине касательное напряжение τ_{3n} , удерживающего сваю от погружения.

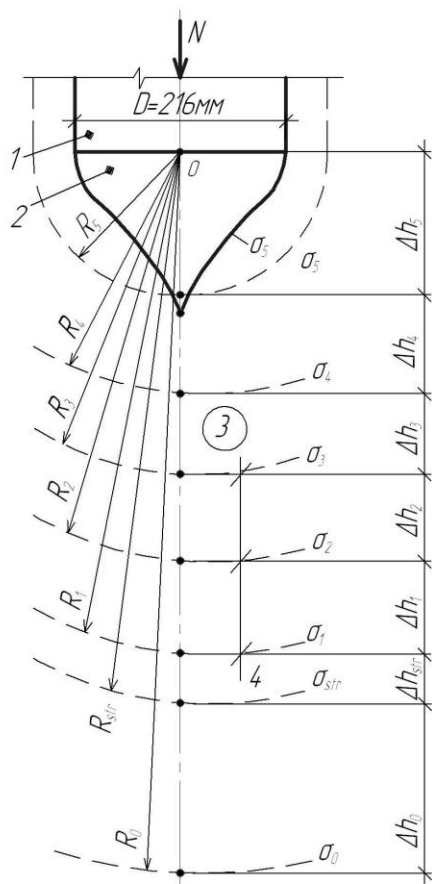


Рисунок 3

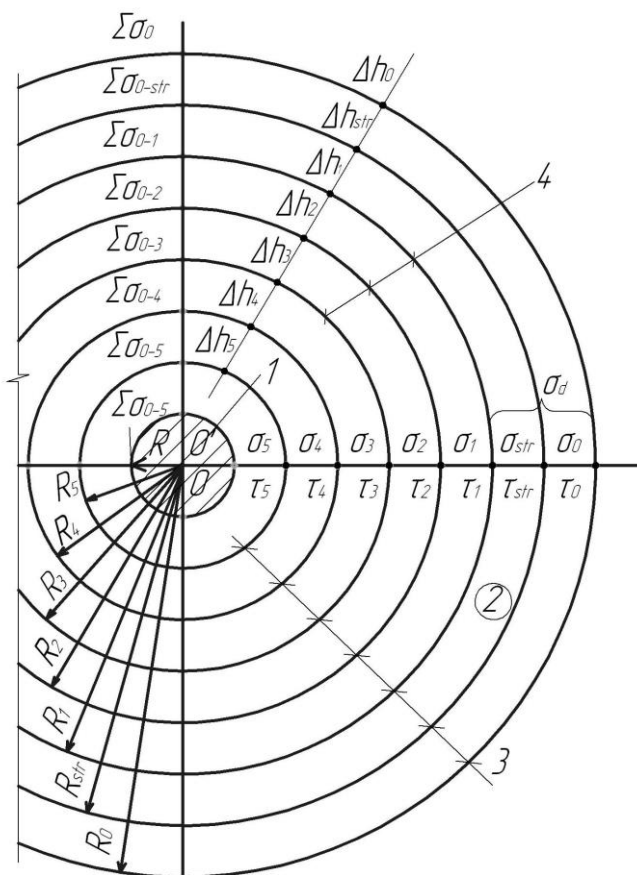


Рисунок 4

Рисунок 3 – Схема развития зон предельных напряженно-деформированных состояний под тангенсоидом вращения нижнего конца сваи Б-1:

1 – свая; 2 – тангенсоид вращения; 3 – его основание; 4 – задействованные зоны

Рисунок 4 – Схема зон состояний предельных равновесий грунта вокруг ствола сваи:

1 – свая; 2 – грунтонапряженное основание сваи; 3 – границы зон; 4 – задействованные зоны

Минимальные главные напряжения сжатия и касательные напряжения сопротивления сдвигу трех зон состояний предельных равновесий грунта:

$$\sigma_{3.1} = \tau_{3.1} = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_1 k_3 = 6,64 \text{ кПа}; \sigma_{3.2} = \tau_{3.2} = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_2 k_3 = 10,86 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{3.3} = \tau_{3.3} = (\sigma_d + c) \operatorname{tg} \varphi_3 k_3 = 16,41 \text{ кПа}.$$

где $k_3 = \sin \varphi$ – составная часть коэффициента тотальности (5).

Последовательно суммарные значения напряжений по зонам:

$$\Sigma\sigma_{3(0-1)} = \Sigma\tau_{3(0-1)} = 0 + \sigma_{3.1} = 6,64 \text{ кПа}; \Sigma\sigma_{3(0-2)} = \Sigma\tau_{3(0-2)} = \sigma_{3(0-1)} + \sigma_{3.2} = 17,5 \text{ кПа};$$

$$\Sigma\sigma_{3(0-3)} = \Sigma\tau_{3(0-3)} = \sigma_{3(0-2)} + \sigma_{3.3} = 33,91 \text{ кПа}.$$

Длина схода напряжений по боковой поверхности к оголовку сваи:

$$l_2 = (R_2 - R_3) \operatorname{ctg} \varphi_2 = 0,450 \text{ м}; (7) l_3 = (R_3 - R_4) \operatorname{ctg} \varphi_3 = 0,133 \text{ м}; \quad (7)$$

Общая длина схода напряжений

$$l_0 = \Sigma l_{2..5} = 0,585 \text{ м}.$$

По полученным суммарным значениям напряжений трех зон состояний предельных равновесий определяются критические нагрузки на буровую сваю:

- первое состояние предельного равновесия грунта

$$P_1 = P_{1c} + P_{1T} = 14,04 \text{ кН},$$

где: $P_{1c} = A_c \sigma_1 = 13,52 \text{ кН}$ – нагрузка на ствол сваи при $A_c = 2,036 \text{ м}^2$ – площади боковой поверхности ствола сваи; $P_{1T} = A_T \sigma_1 = 0,52 \text{ кН}$ – нагрузка на тангенсоид вращения при $A_T = 0,079 \text{ м}^2$ – площади боковой поверхности тангенсоида вращения;

- второе состояние предельного равновесия грунта

$$P_{1-2} = P_{2c} + P_{2T} + P_1 = 37,66 \text{ кН},$$

где: $P_{2c} = P_{2c1} + P_{2c2} = 22,73 \text{ кН}$; $P_{2c1} = 0,5 (\sigma_d + \sigma_2) A_{2c1} = 3,9 \text{ кН}$; $A_{2c1} = Ul_2 = 0,302 \text{ м}^2$; $P_{2c2} = A_{c2} \sigma_2 = 18,83 \text{ кН}$; $A_{c2} = A_c - A_{2c1} = 1,734 \text{ м}^2$; $P_{2T} = A_T \sigma_2 = 0,86 \text{ кН}$;

- третье состояние предельного равновесия грунта

$$P_{1-3} = P_{3c} + P_{3T} + P_{1-2} = 66,68 \text{ кН};$$

где: $P_{3c} = P_{3c1} + P_{3c2} = 27,72 \text{ кН}$; $P_{3c1} = A_{3c1} 0,5 \sigma_3 = 0,73 \text{ м}^2$; $A_{3c1} = Ul_3 = 0,089 \text{ м}^2$; $P_{3c2} = A_{3c2} \sigma_3 = 26,99 \text{ кН}$; $A_{3c2} = A_c - (A_{2c1} + A_{3c1}) = 1,645 \text{ м}^2$; $P_{3T} = A_T \sigma_3 = 1,3 \text{ кН}$.

Результаты расчёта сведены в Таблицу 1.

Таблица 1 – Нагрузки P_n

n , СПР	1	2	3
P_n , кН	14,04	37,66	66,68

В соответствии с данными экспериментального исследования [2] на боковую поверхность ствола буровой сваи действуют средние давления, зарегистрированные мессдозами сразу после укладки бетонной смеси в

скважине равное $\sigma_b = 7,1$ кПа и при предельной несущей способности грунта по боковой поверхности ствола опытной сваи равное $\sigma_k = 8,8$ кПа, которые суммарно представляют общее предварительное напряжение грунта в процессе взаимодействия со сваями:

$$\sigma_b = \sigma_b + \sigma_k = 15,9 \text{ кПа.}$$

Предельная нагрузка на сваю $P_k = P_5 + A_c \sigma_b = 204,22$ кН,

где $A_c = 2,036 \text{ м}^2$ – площадь боковой поверхности ствола сваи.

Коэффициент пропорциональности отношения критических экспериментальной $P_{кэ}$ и расчетной нагрузки $P_{кр}$:

$$n = P_{кэ} / P_{кр} = 0,4559.$$

Доля нагрузки, воспринимаемая неполным тангенсоидом вращения:

$$\Delta P_T = P_{5T} n = 12,428 \text{ кН.}$$

По значению доли нагрузки ΔP_T определяются задействованные в эксперименте зоны состояний предельных равновесий грунта

$$\Delta P_T = P_{1T} + P_{2T} + \Delta P_{3T} = 12,43 \text{ кН;}$$

где $P_{1T} = 1,82$ кН; $P_{2T} = 4,80$ кН; $P_{3T} = 9,31$ кН; $\Delta P_{3T} = n_1 P_{3T} = 5,812$ кН; $n_1 = \Delta P_{3T} / P_{3T} = 0,6243$.

Напряжения, задействованные в зонах неполного тангенсоида вращения:

- первой зоны $\sigma_{3.1} = \tau_{3.1} = 6,64 \text{ кПа}$;
- второй зоны $\sigma_{3.2} = \tau_{3.2} = 10,86 \text{ кПа}$;
- третьей зоны $\sigma_{3.3} = \tau_{3.3} = 16,41 \text{ кПа}$.

Суммарное значение напряжений:

$$\Delta \Sigma \sigma_{3(0-3)} = \Sigma \sigma_{3(0-2)} + n \sigma_{3.3} = 27,74 \text{ кПа.}$$

Общее напряжение с учетом предварительного взаимодействия сваи с грунтом:

$$\Delta \Sigma \sigma_{3(0-3)} = \Delta \Sigma \sigma_{3(0-3)} + \sigma_b = 43,64 \text{ кПа.}$$

Таким образом установлено, что в неполном тангенсоиде вращения опытной буровой сваи в первой, второй и частично третьей зонах состояний

предельных отношений грунта задействованы минимальные главные нормальные напряжения сжатия $\sigma_{3,n}$ и касательные напряжения сдвига $\tau_{3,n}$.

Схема формирования первой, второй и частично третьей зон состояний предельных равновесий грунта показана на рис. 4.

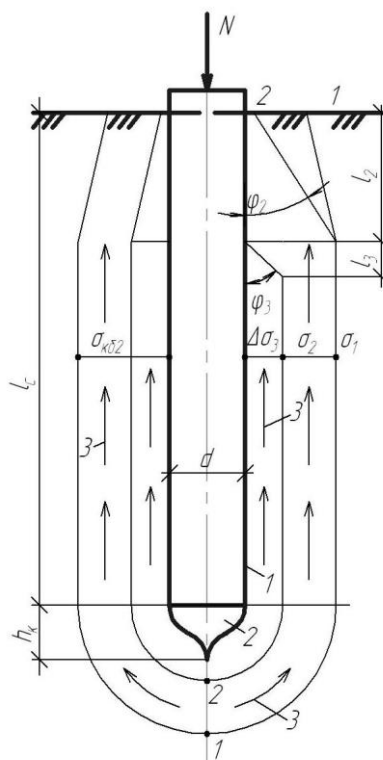


Рисунок 4 – Схема формируемых первой, второй и частично третьей зон состояний предельных равновесий грунта вокруг неполного тангенсоида вращения 2 и ствола сваи 1 восходящим давлением выпираемого тангенсоидом вращения грунта 3 с развитием критического напряжения σ_{k02} обжатия грунтом ствола буровой сваи Б-1, полученного экспериментальным исследованием.

В результате можно заключить, что давление обжатия боковой поверхности ствола сваи суммируется из значений напряжений упругости грунта при критической нагрузке на сваю и от давления бетонной смеси после укладки её в скважине на окружающий ствол сваи грунт, а также от значений минимальных главных напряжений первой, второй и частично третьей зон состояний предельных равновесий генерируемых выпиранием вверх, вдоль ствола сваи, грунтом формируемым неполным тангенсоидом вращения при достигнутой осадке сваи $S = 7$ мм.

Общая величина напряжений с учетом напряжения грунта от взаимодействия со сваей составит:

$$\Sigma\sigma_5 = \Sigma\sigma_{3(0-5)} + \sigma_e = 115,2 \text{ кПа}.$$

Несущая способность основания сваи по трём зонам состояний предельных равновесий с учетом предварительного напряжения грунта от взаимодействия со сваей по боковой поверхности ствола:

$$F_{dc1} = F_{d1} + F_{db} = 46,34 \text{ кН}, \text{ где: } F_{d1} = 14,04 \text{ кН}; F_{db} = A_c\sigma_b = 32,3 \text{ кН};$$

$$F_{dc2} = F_{d2} + F_{db} = 69,96 \text{ кН}; F_{dc3} = F_{d3} + F_{db} = 98,98 \text{ кН}.$$

Результаты расчета показаны в Таблице 2.

Таблица 2 – Нагрузки P_n , и осадки S_n

n , СПР	1	2	3
P_n , кН	46,34	69,96	98,98
S_n , мм	1,0	3,5	-

4. Методика расчета деформированного состояния трех зон предельных равновесий грунта в основании тангенсоида вращения условного массивного фундамента буровой сваи

Научно обосновано, что в пределах начальной фазы уплотнения грунта A , включающей первую, вторую и третью зоны состояний предельных равновесий грунта, последний деформируется нелинейно в процессе сжимаемости его тангенсоидом вращения условного массивного фундамента буровой сваи. Диаметр условного массивного фундамента $d_y = 794$ мм.

Модуль нелинейной общей деформации E_1^0 определяется по результатам полевого испытания, см. рис. 1, буровой сваи Б-1 при нагрузке первой зоны тангенсоид вращения $P_1 = 60,0$ кН и стабилизированной осадке $S_1 = 1,6$ мм для диаметра условного массивного фундамента $d_y = 0,794$ м, коэффициент Пуассона для суглинка $\nu = 0,37$.

$$E_1^0 = (1 - \nu^2)P_1 / dS_1 = 40,78 \text{ МПа}.$$

Эталонные попредельно-равновесные коэффициенты пропорциональности модулей нелинейной общей деформации грунта: $k_1^0 = 1,393$; $k_2^0 = 1,205$; $k_3^0 = 0,752$.

Модуль общей деформации грунта: $E = E_1^0 / k_1^0 = 29,27$ МПа.

Модули нелинейной общей деформации грунта по зональным нагрузкам:

$$E_2^0 = k_2^0 E = 35,27 \text{ МПа}; E_3^0 = k_3^0 E = 22,00 \text{ МПа}.$$

Конечная сжимаемость грунта по границам каждой зоны:

$$S_1 = (1 - U^2) P_1 / d_y E_1^0 = 0,00124 \text{ м} = 1,24 \text{ мм};$$

$$S_2 = (1 - U^2) P_2 / d_y E_2^0 = 0,00216 \text{ м} = 2,16 \text{ мм};$$

$$S_{3,1} = (1 - U^2) P_{3,1} / d_y E_{3,1}^0 = 0,0042 \text{ м} = 4,2 \text{ мм}.$$

Таблица 3 – Напряжения σ_n , нагрузки P_n и осадки S_n

№ СТР	1	2	3
σ_n , кПа	23,0	60,8	117,8
P_n , кН	46,34	69,98	85,0
S_n , мм	1,24	2,16	4,2

По результатам расчета нагрузок и осадок условного массивного фундамента буровой сваи Б-1 на рис. 1б) построен расчетный график 2 нелинейной деформации основания сваи $S = f(P_n)$, совершенно соответствующей экспериментальному 1.

Выводы

1. Впервые выявлено, что нелинейная деформация грунтов основания буровой сваи ограничивается пределами первой, второй и частично половиной третьей зон состояний предельных равновесий, заключенных в фазе *A* уплотнения под нагрузкой.

2. Разработана методика расчётного определения нагрузок по зонам состояний предельных равновесий тангенсоида вращения буровой сваи.

3. Проведено расчётное исследование значений несущей способности начальных трёх зон состояний предельных равновесий боковых поверхностей ствола и тангенсоида вращения буровой сваи.

4. Показана методология расчёта деформированного состояния трёх зон предельных равновесий грунта в основании тангенсоида вращения условного массивного фундамента сваи.

5. Определена необходимость дальнейшего проведения расчётного исследования несущей способности и деформации грунта основания рассматриваемой экспериментальной буровой сваи в третьей, четвёртой и пятой зонах состояний предельных равновесий фазы *B* допредельного разуплотнения грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борозенец Л.М. Теория напряжения нелинейного упруго-пластическивязкого взаимодействия нагружаемой одиночной сваи с грунтами основания / Л.М. Борозенец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, №3. – С. 27-34.
2. Борозенец Л.М. Геотехника фундаментостроения и грунтоустойчивости: Монография / Л.М. Борозенец. – Тольятти: Изд. в ТГУ, 2015. – 588 с.
3. Борозенец Л.М. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности основания буровых свай / Л.М. Борозенец, Е.А. Ушакова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, №2. – С. 5-10.

Ekaterina A. Ushakova,

graduate student of the department

«Industrial, civil engineering and urban economy»;

Leonid M. Borozenez,

candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor of the department

«Industrial, civil engineering and urban economy»,

Togliatti State University,

Tolyatti, Samara Region, Russia

METHODOLOGY OF INVESTIGATION OF EXPERIMENTAL NON-LINEAR GRAPHICS DEPENDENCE OF SEDIMENTATION FROM LOAD OF DRILLING PILE

The study was carried out for the theoretical substantiation of nonlinear deformation of extremely stressed granular soils in the bases of loaded single drilling piles. General conclusions on the essence of the content of the study are made.

Keywords: theory, experiment, deformation, soil, pile, foundation, pressure, shear, equilibrium, draft, load.