

ТЕОРИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИВЯЗКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАГРУЖАЕМОЙ ОДИНОЧНОЙ СВАИ С ГРУНТАМИ ОСНОВАНИЯ

Л.М. Борозенец

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Показана необходимость разработки единой теории нелинейного упругопластически-вязкого деформирования предельно-напряженных дисперсных грунтов в основаниях нагружаемых одиночных свай. Разработана модель силового взаимодействия одиночной нагружаемой сваи с окружающим грунтом основания. Выявлены особенности угла внутреннего трения грунта и угла отклонения равнодействующей составляющих напряжений от направления действия максимального главного нормального напряжения сжатия к плоскости площадки скольжения. Сделано теоретическое обоснование физической, механической и математической сущности угла внутреннего трения грунта. Представлена теория развития состояний предельных равновесий в процессах взаимодействия нагружаемых одиночных свай с грунтами оснований в составе положений научной тематики к теории напряжений упругопластическивязкости пяти состояний предельных равновесий, начальной упругости и структурной прочности грунтов.

Ключевые слова: одиночная свая, грунт, основание, механика, угол, трение, степень, зацепляемость, связность, скольжение, зона, равновесие, отклонение.

Введение

Расчетное исследование несущей способности и деформации оснований буровых и взрывофугасных свай с применением известных методов расчета в традиционной механике грунтов показало, что результаты расчетов получаются существенно заниженными по сравнению с результатами экспериментальных исследований указанных опытных свай. Данная проблема поставила перед необходимостью разработки основных положений единой теории нелинейного упругопластическивязкого деформирования предельно напряженных дисперсных грунтов в основаниях одиночных свай [1], на основе которой создать аналитическую нелинейную механику вытеснения грунтов в основаниях одиночных свай и фундаментов мелкого заложения.

Теория напряжения нелинейного упругопластическивязкого взаимодействия нагружаемой одиночной сваи с грунтами основания включает научные положения к ней, обоснование напряжений начальной упругости, структурной прочности и упругопластическивязкие напряжения пяти состояний предельных равновесий грунта.

1. Научные положения к теории напряжений пяти состояний предельных равновесий грунтов

1.1. Пять состояний предельных равновесий грунтов и их углов внутреннего трения

Границы физико-механических процессов взаимодействия по боковой поверхности постепенного нагружения одиночной набивной сваи с окружающими грунтами основания устанавли-

ваются по состоянию предельных равновесий на элементарных площадках скольжения при сдвиге в контактах между структурными элементами грунта у боковой поверхности ее ствола. Расчетными исследованиями на основании достоверных экспериментальных данных испытания на действие вертикальной статической нагрузки впервые выявлено наличие пяти состояний предельных равновесий окружающего сваи грунта и открыто пять углов его внутреннего трения [1] в диапазоне от 0° до 90° . Получены формулы для определения значений углов внутреннего трения по состояниям предельных равновесий грунта 1...5 [2, 3]:

$$\varphi_1 = \varphi; \quad (1)$$

$$\varphi_2 = 22,5^\circ + \varphi/2; \quad (2)$$

$$\varphi_3 = 45^\circ; \quad (3)$$

$$\varphi_4 = 67,5^\circ - \varphi/2; \quad (4)$$

$$\varphi_5 = 90^\circ - \varphi. \quad (5)$$

Величины углов $\varphi_2 \dots \varphi_5$ определены с помощью модуля углов повышения их значений до состояния предельных равновесий, начиная от значений угла φ_1 ,

$$M = 22,5^\circ - \varphi/2. \quad (6)$$

1.2. Схема формирования плоскостей площадок скольжения в контактах сдвигаемых минеральных частиц грунта под нагрузкой

Комплексное проявление нормальных и касательных напряжений, действующих на поверхности минеральной частицы A в контактах с частицами B и E , показанных на схеме (рис. 1), изучается при создании предварительного напряжения грунта, окружающего ствол сваи, в процессе его набивания с нормальным напряжением $\sigma_1 = \sigma_d$.

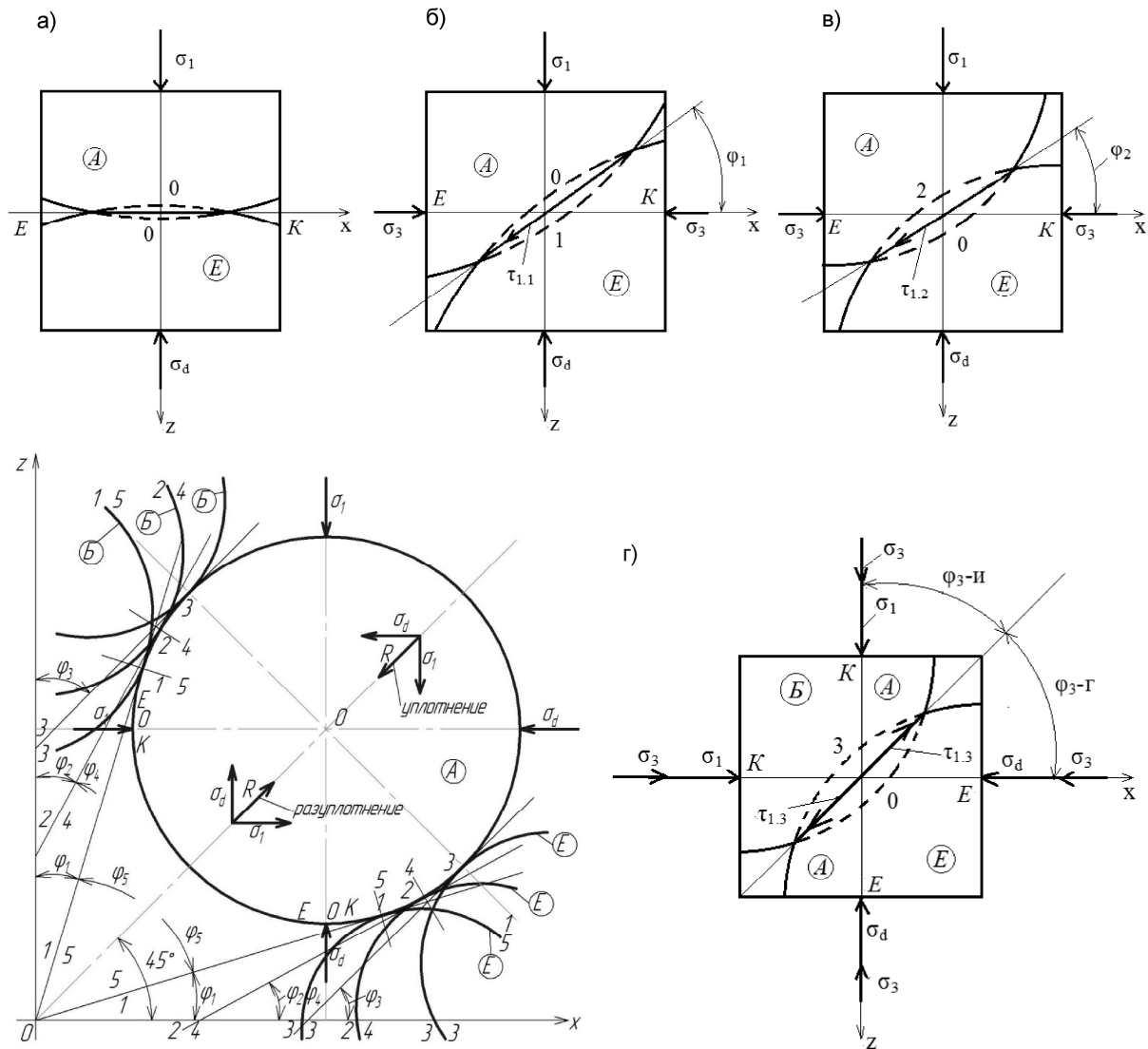


Рис. 1. Схема происхождения плоскостей площадок скольжения 1...5 при состояниях предельных равновесий в контактах трёх смежных сжимаемых и сдвигаемых минеральных частиц грунта А, Б, Е в нулевых точках 0 на поверхности частицы А, в точках 1 и 5 на боковых поверхностях первого клина, в точках 2 и 4 на боковых поверхностях второго клина и параллельных полостей 3 по поверхности частицы А: в, д, е, ж, г, и – элементарные кубики нормальных напряжений сжатия частиц соответственно: 2 – при состоянии предельного равновесия между частицами Б и А с углом внутреннего трения φ_2 , 0 – при состоянии покоя предельного равновесия между частицами А и Е с углом внутреннего трения покоя φ_0 , 1 – при состоянии предельного равновесия при сдвиге между частицами А и Е с углом внутреннего трения φ_1 , 2 – то же с углом внутреннего трения φ_2 , 3 – при состояниях предельных равновесий между частицами А-Б и А – Е с равными углами внутреннего трения φ_3

Позиционные схемы наклона плоскостей площадок скольжения 0...3...5 под углами внутреннего трения приведены для постоянных нормальных напряжений σ_1 , действующих по центральным осям 00 частицы А параллельно осям системы координат X и Z и ортогонально плоскостям KE.

Схемы комплексного действия сил по плоскостям площадок скольжения 1...5 от постоянных максимальных главных нормальных напряжений сжатия частиц А, Б, Е, σ_1 и σ_d , направленных вертикально по оси Z и горизонтально по оси X, соответствуют схемам клиновых механизмов [1] при действии сил бокового распора уплотнения для

площадок скольжения 1 и 2 и выпора разуплотнения для площадок скольжения 4 и 5 перпендикулярно к боковым поверхностям каждого клина. Площадки скольжения 3 получаются параллельными, чем нейтрализуется процесс уплотнения начинающимся процессом разуплотнения грунта. Детализация наклона площадок скольжения 0 по боковой поверхности частицы А при действии главных нормальных напряжений σ_1 и σ_d в направлении по оси Z показана на рис. 1, а; наклона площадок скольжения 1 – на рис. 1,б; наклона площадок скольжения 2 – на рис. 1,в; наклона площадок скольжения 3 – на рис. 1, г.

1.3. Действие активного давления уплотнения и пассивного давления разуплотнения в контактах между сдвигаемыми частицами грунта

Согласно силовой схеме (см. рис. 1), перемещение частицы *A* относительно смежных частиц *B* и *E* под влиянием нагрузки на сваю σ_1 и силы упругости структуры скелета сухого грунта σ_d , составляющих равнодействующую *R*, осуществляется активное давление грунта на ствол сваи под углом 45° в сопровождении положительной дилатансии или контракции его уплотнения [1], активное давление работает на плоскостях площадок скольжения 1, 2, 3 при углах внутреннего трения $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. На плоскостях площадок скольжения 4 и 5 перемещение частицы *A* относительно смежных частиц *B* и *E* под влиянием нагрузки σ_1 и силы упругости структуры скелета сухого грунта σ_d , здесь как дополнительной силы распора отрицательной дилатансии разуплотнения частиц от действия пассивного давления σ_d потока грунта пластического состояния, выпираемого из-под нижнего конца сваи и восходящего вверх вдоль ствола сваи и внутренней поверхности оболочки уплотнённого грунта при третьем состоянии предельного равновесия между его частицами, составляющих равнодействующую *R*, осуществляется пассивное давление ствола сваи на грунт под углом 45° в сопровождении отрицательной дилатансии его разуплотнения. Пассивное давление работает на плоскостях площадок скольжения 4 и 5 при углах внутреннего трения φ_4 и φ_5 .

1.4. Физико-механическое образование углов внутреннего трения пяти состояний предельных равновесий грунтов

На рис. 2, а показана схема физико-механического образования угла внутреннего трения грунта φ с представлением действующих напряжений в элементарном кубике главных нормальных напряжений сжатия с ориентированием направления действия главных нормальных напряжений σ_1 и σ_d по оси *X* системы координат [4]. На рис. 2, б изображена подобная схема с ориентированием направления действия максимальных главных нормальных напряжений сжатия σ_1 и σ_d по оси *Z* и минимальных главных нормальных напряжений сжатия σ_3 по оси *X* системы координат. По аналогичным схемам на рис. 2, а и 2, б выстраиваются схемы физико-механического образования углов внутреннего трения от φ_2 до φ_5 , которые условно не приводятся.

1.5. Комплексы напряжений на плоскостях площадок скольжения в контактах между сдвигаемыми частицами грунта

Графический показ схем комплексов напряжений на рис. 3.а, возникающих на плоскостях площадок скольжения 1...5 в контактах между двумя сжимаемыми и сдвигаемыми минеральными частицами грунта *A* и *B*, при действии максимальных напряжений сжатия σ_1 и σ_d по оси *X* на элементарные кубики 1...5 в процессах развития состояний предельных равновесий при углах

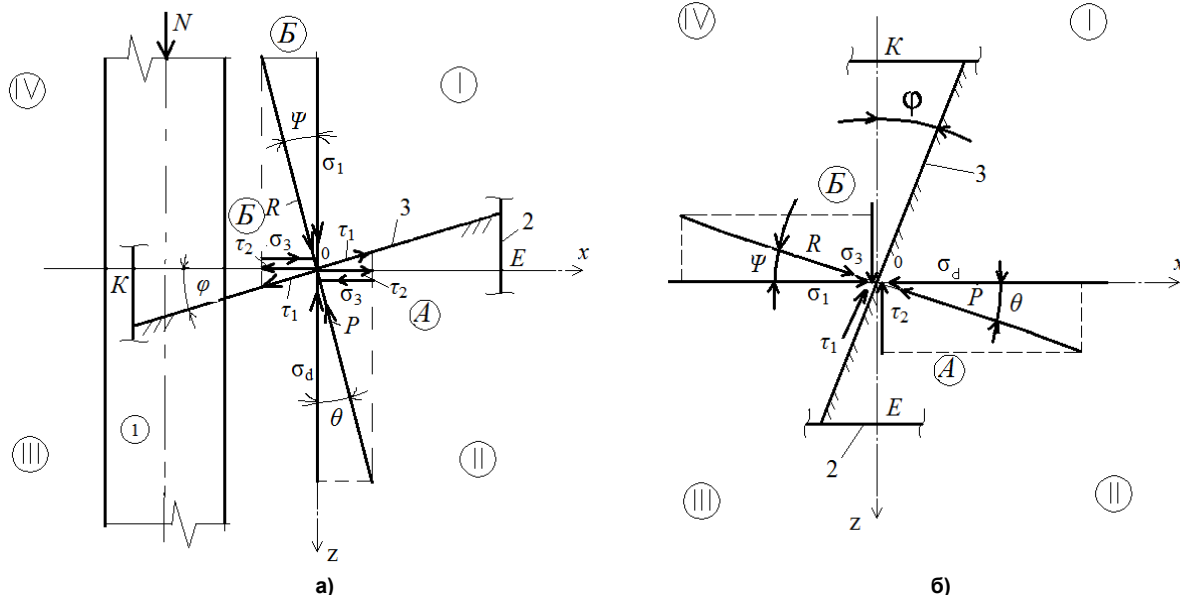


Рис. 2. Схемы физико-механического образования угла внутреннего трения грунта φ при повороте плоскости площадки скольжения 3 между сжимаемыми и сдвигаемыми в контакте минеральными частицами грунта *A* и *B* от главной исходной плоскости *EK*, ориентированной вдоль оси *X* – 3.а и оси *Z* – 3.б, максимальных главных нормальных напряжений сжатия σ_1 и σ_d , углов отклонения Ψ равнодействующей *R* от направления напряжений σ_1 и θ равнодействующей *P* от направления напряжений σ_d : 1 – свая, 2 – элементарный кубик нормальных напряжений сжатия, 3 – плоскость площадки скольжения, σ_3 – минимальные главные нормальные напряжения сжатия, τ_1 – касательное напряжение по плоскости площадки скольжения, τ_2 – составляющая касательного напряжения τ_1

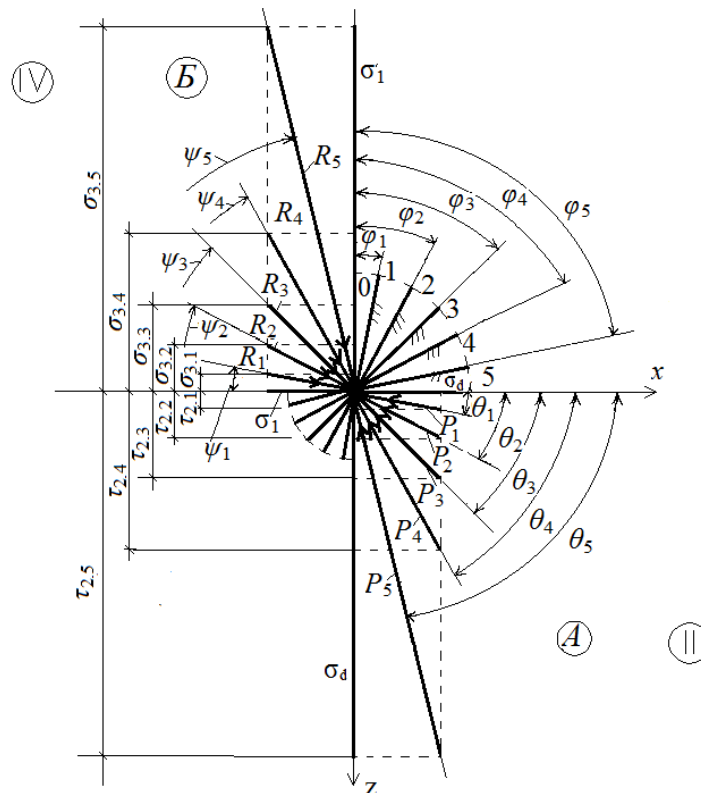


Рис. 3. Схема комплекса напряжений, возникающих на плоскостях площадок скольжения 1...5 в контактах между двумя сжимаемыми и сдвигаемыми минеральными частицами грунта Б и А при действии максимальных главных нормальных напряжений сжатия σ_1 и σ_d по оси X на элементарные кубики 1...5 в процессах развития пяти состояний предельных равновесий при углах внутреннего трения грунта $\varphi_1 \dots \varphi_5$

внутреннего трения грунта $\varphi_1 \dots \varphi_5$, даёт представление о динамике роста значений минимальных главных нормальных напряжений сжатия σ_3 и касательных напряжений τ_2 в четвёртой и второй четвертях системы координат X-Z.

Схема комплекса напряжений при действии максимальных главных нормальных напряжений сжатия σ_1 и σ_d по оси Z имеет аналогичное графическое построение, условно не показана.

Схема комплекса напряжений, изображённая на рис. 3, относится к плоскостям площадок скольжения 1...5, показанным на рис. 1.

1.6. Тотальные главные нормальные напряжения сжатия элементарных кубиков сдвигаемых частиц грунта

Впервые установлено, что значения составляющих напряжений σ_3 равнодействующих P_0 , действующих по осям X и Z системы координат, суммируются со значениями напряжений σ_1 , соответственно, создавая суммарные «тотальные» значения максимальных главных нормальных напряжений по плоскостям площадок скольжения элементарных кубиков нормального сжатия в направлениях оси X и оси Z подобно детали на рис. 1, г [1]. Схема составляющих напряжений равнодействующей P_0 показана на рис. 4.

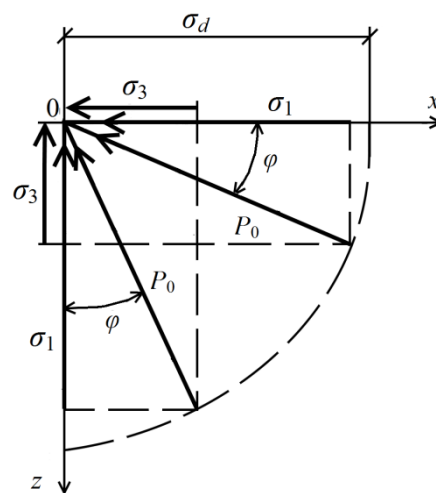


Рис. 4. Схема составляющих исходных максимально-главного нормального напряжения сжатия σ_1 и минимального главного нормального напряжения сжатия σ_3 исходной равнодействующей P_0 и совпадения направления их действия к точке O по осям координат X и Z: σ_d – напряжение давления силы упругости структуры скелета сухого грунта

Нормальное напряжение давления силы упругости структуры скелета сухого грунта

$$\sigma_d = P_0. \tag{7}$$

Тотальное максимальное главное нормальное напряжение сжатия

$$\begin{aligned} \sigma_{1.1} &= \sigma_1 + \sigma_3 = \sigma_d \cos \varphi + \sigma_d \sin \varphi = \\ &= \sigma_d (\cos \varphi + \sin \varphi) = \sigma_d k, \end{aligned} \quad (8)$$

где $k = \cos \varphi + \sin \varphi$ – коэффициент тотальности главных нормальных напряжений сжатия грунта

$$k = \cos \varphi + \sin \varphi. \quad (9)$$

Тотальное минимальное главное нормальное напряжение сжатия

$$\sigma_{3.1} = \sigma_{1.1} \operatorname{tg} \varphi = \sigma_d \operatorname{tg} \varphi k. \quad (10)$$

1.7. Рабочие тотальные нормальные к боковой поверхности ствола сваи и касательные вдоль боковой поверхности напряжения

С целью определения механизма происхождения и значений «рабочих» нормальных и касательных напряжений, действующих по боковой поверхности ствола сваи, проводится следующее исследование с рассмотрением схем на рис. 5.

Из анализа схемы на рис. 5, в делается следующий вывод о том, что на боковую поверхность ствола сваи действует постоянное тотальное минимальное главное нормальное напряжение сжатия грунта $\sigma_{3.1}$, а вдоль боковой поверхности ствола сваи составляющая $\tau_{2.1}$ касательного напряжения сопротивления грунта сдвигу $\tau_{1.1}$ равная по значению минимальному главному нормальному напряжению сжатия $\sigma_{3.1}$, что в соответствии с формулой (10) выражается равенством

$$\sigma_{3.1} = \tau_{2.1} = \sigma_d \operatorname{tg} \varphi k. \quad (11)$$

1.8. Напряжения сопротивления зацепляемости внутреннего трения песчаных частиц в минералогических составах грунтов

Расчетными исследованиями, базирующимися на экспериментальных данных, определено равенство для выражения значений коэффициентов внутреннего трения грунта по значениям углов

от первого до пятого состояний предельных равновесий грунтов $\varphi_1 \dots \varphi_5$

$$K_i = \operatorname{tg}^n \varphi_i, \quad (12)$$

где n – показатель степени изменяющийся от единицы до двух в зависимости от вида грунта, $i = 1 \dots 5$ – номер состояния предельного равновесия грунта.

Для песков значение показателя степени коэффициентов внутреннего трения, ввиду действия по наклонной плоскости скольжения двух факторов прочности: одного суммарного связности C_W и сцепления C_{S2} и второго, зацепления C_Z при одном значении максимального главного напряжения сжатия σ_1 , получается суммарно удвоенным, т. е. $n = 2$ по количеству участвующих коэффициентов внутреннего трения связности C_W при $n = 1$ и зацепления C_Z при $n = 1$. Для суглинков показатель степени изменяется от $n = 1$ при $c = 29$ кПа до $n = 1,58$ при $c = 12$ кПа со значением слагаемых показателей степени связности C_W и сцепления C_{S1} $n = 1$ и зацепляемости C_Z от $n = 0$, при $c = 29$ кПа до $n = 0,58$ при $c = 12$ кПа. Для супесей показатель степени изменится от $n = 1,24$ при $c = 24$ кПа до $n = 1,88$ при $c = 9$ кПа со значениями слагаемых показателей степени связности C_W и сцепления C_{S1} $n = 1$ и зацепляемости C_Z от $n = 0,24$ при $c = 21$ кПа до $n = 0,88$ при $c = 9$ кПа.

2. Напряжения начальной упругости, структурной прочности и пяти состояний предельных равновесий грунтов

При отсутствии нагрузки на сваю 1 (см. рис. 1) максимальные главные нормальные напряжения сжатия σ_1 , предварительно наведенные в грунте, окружающем сваю, при набивании ее ствола, действуют на минеральную частицу A по оси X в контакте с минеральной частицей B в нулевой точке O и по оси Z на поверхности частицы A . При этом в противоположных направлениях действия напряжений σ_1 их уравнивают нормальные напряжения σ_d , силы упругости структуры скелета сухо-

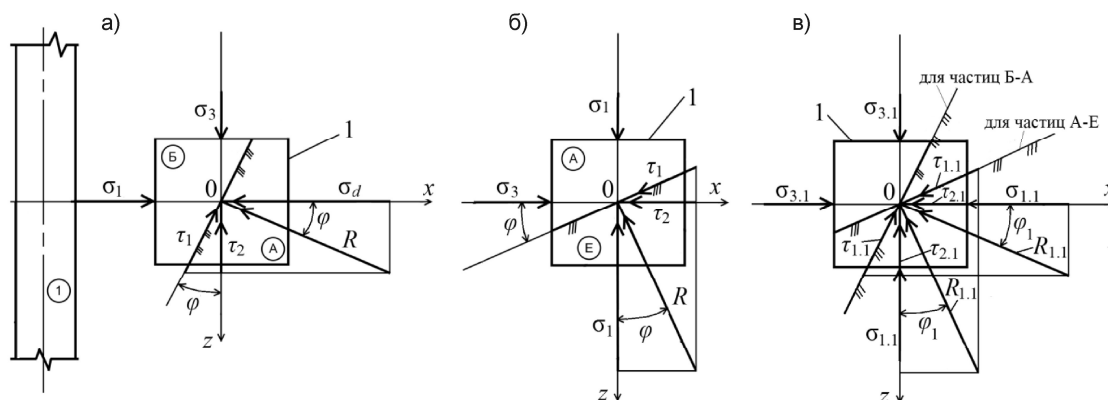


Рис. 5. Схемы формирования рабочих исходных касательного напряжения τ_2 по оси Z параллельного боковой поверхности ствола сваи 1 на схеме – а, нормального напряжения σ_3 по оси X ортогонального к боковой поверхности ствола сваи 1 на схеме – б, рабочих тотальных касательного напряжения $\tau_{2.1}$ по оси Z параллельного боковой поверхности ствола сваи 1 и нормального напряжения $\sigma_{3.1}$ по оси X ортогонального к боковой поверхности ствола сваи 1 на схеме – в

Теория расчета строительных конструкций

го грунта, действующие на минеральную частицу A , по оси Z в контакте с минеральной частицей E в нулевой точке O и по оси X на поверхности частицы A . Такая система напряжений создает состояние равновесия покоя. На рис. 1 и 1,а показаны элементарные кубики O с плоскостями площадок сопряжений покоя между частицами $B-A$ и $A-E$.

При приложении на сваю 1 статической вертикальной осевой нагрузки N начинаются перемещения сваи и структурных элементов грунта, в частности, минеральных частиц B , A , E и других, смежных, друг относительно друга по плоскостям элементарных площадок скольжения от нулевой до первой с образованием в них контактов пластического состояния и проявления связности физико-химической природы C_w с наступлением первого состояния предельного равновесия грунта.

Зоны от первого до пятого состояний предельных равновесий при нормальном напряжении σ_1 начинают свое развитие от зоны структурной прочности грунта при предельном нормальном напряжении упругости грунта σ_d [1]

$$\sigma_{str} = \sigma_d \cos \varphi. \quad (13)$$

Которая, в свою очередь, начинается от ограниченного начального нормального напряжения упругости грунта

$$\sigma_0 = \sigma_d - \sigma_{str}. \quad (14)$$

Зоны напряженных состояний, ограниченные предельными значениями от σ_1 до σ_5 показаны на рис. 6.

Таким образом, зоны от первого до пятого состояний предельных равновесий начинаются от боковой поверхности ствола сваи, с нормальным напряжением σ_5 , с расширением их пределов в стороны грунтового пространства, окружающего сваю, до ограниченного значения начального нормального напряжения упругости грунта σ_0 .

Переменное тотальное минимальное главное нормальное напряжение сжатия с учетом равенства (10)

$$\sigma_{3.1.i} = \sigma_d \operatorname{tg} \varphi_i k. \quad (15)$$

Из графического построения на рис. 5 следует, что

$$\sigma_{3.1.i} = \tau_{2.1.i}, \quad (16)$$

где $\tau_{2.1.i}$ – составляющая касательного напряжения $\tau_{1.1.i}$, действующего по плоскости площадки скольжения, и соответствует равенству (11) в положении 1.7

$$\sigma_{3.1.i} = \tau_{2.1.i} = \sigma_d \operatorname{tg} \varphi_i k. \quad (17)$$

Следовательно, переменное тотальное минимальное главное нормальное напряжение сжатия грунта $\sigma_{3.1.i}$ является рабочим нормальным напряжением давления обжатия грунта на боковую поверхность ствола сваи по формуле (17).

Суммарные значения нормальных и касательных напряжений по боковой поверхности определяются равенствами при предварительном напряжении грунтов $\sigma d + c$:

– для глин и суглинков при $n = 1$

$$\begin{aligned} \sigma_{1-5} = \tau_{1-5} &= (\sigma_d + C_{S1}) \Sigma \operatorname{tg} \varphi_i k = \\ &= (\sigma_d + c) \Sigma \operatorname{tg} \varphi_i k, \end{aligned} \quad (18)$$

где $C_{S1} = c$, c – удельное сцепление;

– суглинопесей при $n = 1...1,58$, супесей и супылепесей при $n = 1,24...1,88$

$$\begin{aligned} \sigma_{1-5} = \tau_{1-5} &= (\sigma_d + C_S) \Sigma \operatorname{tg}^n \varphi_i k = \\ &= (\sigma_d + c) \Sigma \operatorname{tg}^n \varphi_i k, \end{aligned} \quad (19)$$

где $C_S = C_{S1} + C_{S2} = c$;

– песчаных грунтов при $n = 1,58...2$

$$\begin{aligned} \sigma_{1-5} = \tau_{1-5} &= (\sigma_d + C_{S2}) \operatorname{tg}^n \varphi_i k = \\ &= (\sigma_d + c) \Sigma \operatorname{tg}^n \varphi_i k, \end{aligned} \quad (20)$$

где $C_{S2} = c$.

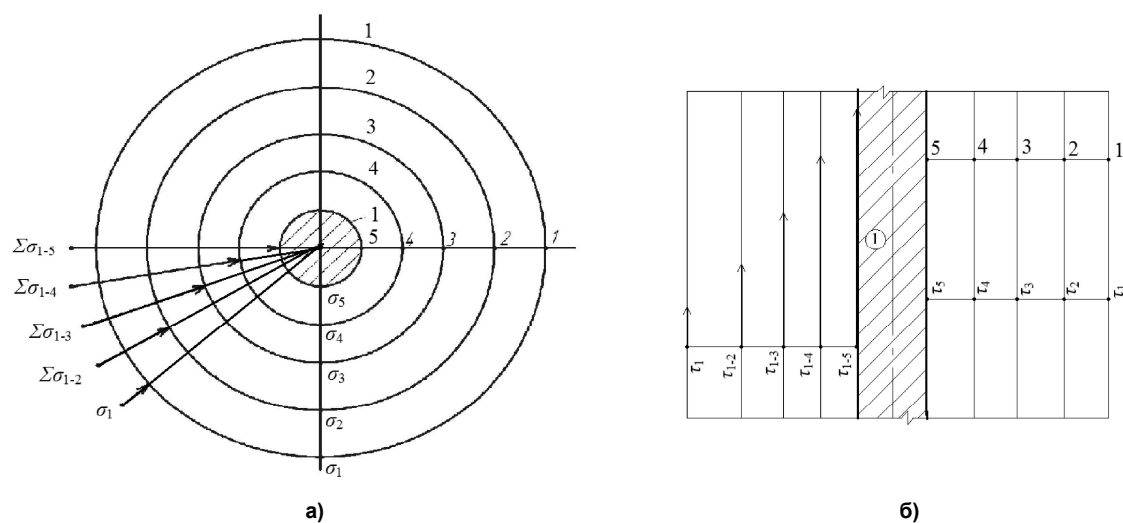


Рис. 6. Последовательность развития напряжений зон состояний предельных равновесий от 5 до 1: а – нормальных предельных напряжений состояний равновесия $\sigma_1... \sigma_5$ и последовательность суммирования предельных напряжений от σ_1 до σ_{1-5} ; б – по боковой поверхности ствола сваи, предельных напряжений состояний равновесия $\tau_1... \tau_5$ и последовательного суммирования предельных напряжений от τ_1 до τ_{1-5} ; 1 – свая, 1...5 – номера состояний предельных равновесий грунта

По равенствам напряжений (18)–(20) определяется физически максимально возможная прочность грунтов на сдвиг и несущая способность оснований одиночных свай.

Выводы

1. Впервые создана новая теория напряжения нелинейного упругопластическивязкого взаимодействия нагружаемой одиночной сваи с грунтом основания.

2. Обоснована модель силового взаимодействия нагружаемой одиночной сваи с грунтом ее основания.

3. Осуществлено теоретическое раскрытие физической, механической и математической сущности угла внутреннего трения грунта.

4. Открыты пять состояний предельных равновесий грунтов в основаниях нагружаемых одиночных свай и пять углов внутреннего трения их характеризующих.

5. Разработана теория развития зон пяти состояний предельных равновесий и их напряжений в процессах взаимодействия нагружаемых одиночных свай с грунтами оснований.

6. В составе теории напряжений пяти состояний предельных равновесий грунтов разработаны восемь научных положений и показана их новизна.

7. Установлено, что обжатие боковой поверхности ствола сваи и ее удержание от погружения

в грунт под нагрузкой осуществляется сжимаемыми сдвиговыми минеральными частицами грунта под действием сил трения по плоскостям площадок скольжения в их контактах.

8. Сделано открытие генерации нагружаемой одиночной сваей в грунте основания зональных давлений и напряжений обжатия своего ствола посредством механизма восходящего потока вытесняемого грунта из-под ее нижнего конца.

Литература

1. Борозенец, Л.М. *Геотехника фундаментостроения и грунтоустойчивости: моногр.* / Л.М. Борозенец. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 588 с.

2. Борозенец, Л.М. *Модель теории нелинейного упругопластическивязкого деформирования дисперсных грунтов в основаниях фундаментов* / Л.М. Борозенец // *Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: сб. мат. Всероссийской науч.-техн. конф.* – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2012. – С. 102–109.

3. Борозенец, Л.М. *Нелинейная механика вытеснения дисперсных грунтов в основаниях фундаментов* / Л.М. Борозенец // *Геотехника Беларуси: наука и практика: сб. мат. Междунар. науч.-техн. конф. (Ч. 1–2).* – Минск: БНТУ, 2013. – С. 183–194.

4. Маслов, Н.Н. *Основы механики грунтов и инженерной геологии* / Н.Н. Маслов. – М.: Авто-трансиздад, 1961. – 707 с.

Борозенец Леонид Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», Архитектурно-строительный институт, Тольяттинский государственный университет (Тольятти), tsp@tltsu.ru

Поступила в редакцию 29 июня 2017 г.

DOI: 10.14529/build170304

STRESS THEORY OF NONLINEAR ELASTIC PLASTIC VISCOUS INTERACTION OF THE LOADED SINGLE PILE WITH BASE SOIL

L.M. Borozenets, tsp@tltsu.ru

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The need of development of the uniform theory of non-linear elastic plastic viscous deforming of fully-stressed dispersive soil for the base of the loaded single piles is shown. The model for the force interaction of the single loaded pile with surrounding soil of the base is developed. The features of the internal soil friction angle and the deviation angle of the resultant stress components from the vector of the extremely principal compression stress to the plane of a sliding site are revealed. The theoretical justification of a physical, mechanical and mathematical entity of an angle of internal friction of the soil is made. The theory of the development of the states of limit equilibrium in the processes of interaction of the loaded single piles with soil of the base is given as a part of the provisions of a scientific subject to the stress theory of elastic plastic viscosity of five states of limit

equilibrium, initial elasticity and structural durability of soil. The conclusions on the content of the results of scientific development are given.

Keywords: single pile, soil, base, mechanics, angle, friction, degree, adhesiveness, tenacity, sliding, zone, equilibrium, deviation.

References

1. Borozenets L.M. *Geotekhnika fundamentostroeniya i gruntoustoychivosti: Monografiya* [Geotechnics of Foundation Engineering and Soil Stability: Monograph]. Tol'yatti, TGU Publ., 2015. 588 p.
2. Borozenets L.M. [Model of the Theory of Nonlinear Elastic-Plastic-Bending Deformation of Disperse Soils in Bases Foundations]. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii: sb. mat. Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Mechanics of Soil and the Building of the Foundation in Geotechnical Engineering: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference]. Novocheerkassk, SRSPU (NPI) Publ., 2012, pp. 102–109 (in Russ.).
3. Borozenets L.M. [Nonlinear Mechanics of Displacing Dispersed Soils in Bases Foundations] *Geotekhnika Belarusi: nauka i praktika: ob. Mat. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Geotechnics of Belarus: Science and Practice: a Collection of Materials of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, BNTU Publ., 2013, pp. 183–194 (in Russ.).
4. Maslov N.N. *Osnovy mekhaniki gruntov i inzhenernoy geologii* [Fundamentals of Soil Mechanics and Engineering Geology]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1961. 707 p.

Received 29 June 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Борозенец, Л.М. Теория напряжения нелинейного упругопластическивязкого взаимодействия нагружаемой одиночной сваи с грунтами основания / Л.М. Борозенец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 27–34. DOI: 10.14529/build170304

FOR CITATION

Borozenets L.M. Stress Theory of Nonlinear Elastic Plastic Viscous Interaction of the Loaded Single Pile with Base Soil. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 3, pp. 27–34. (in Russ.). DOI: 10.14529/build170304
