

Основания, фундаменты, подземные сооружения

УДК 624.131

DOI: 10.14529/build200303

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОСНОВАНИЙ ВЗРЫВОФУГАСНЫХ СВАЙ: ГЕОТЕХНИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Л.М. Борозенец

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

Обобщены результаты последних инновационных достижений в области свайного фундаментостроения. Обоснована актуальность комплексного решения научно-технической проблемы разработки геотехники проектирования рациональных конструкций взрывофугасных одиночных свай-фундаментов. Поставлена цель и сформулированы задачи научного исследования. Основное содержание расчетно-теоретических исследований представлено полным показом полученных научных результатов. Геотехника базируется на методологиях, включающих положения теории геомеханики и методы познания расчетно-теоретического исследования. Предложенная геотехника проектирования рациональных конструкций взрывофугасных одиночных свай-фундаментов позволяет определять их проектные размеры по значениям несущей способности оснований равным величине критической нагрузки на сваю.

Ключевые слова: конструкция, геотехника, свая-фундамент, методология, скважина, нагрузка, осадка, график, расчет, исследование, основание.

Введение

Отсутствие комплексного решения научно-технической проблемы разработки геотехники проектирования рациональных конструкций набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов по несущей способности оснований сдерживает их широкое применение в современном фундаментостроении.

Следовательно, целью исследования научной работы является создание геотехники проектирования рациональных конструкций набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов по значениям несущей способности оснований. К задачам, которые необходимо выполнить для достижения цели исследования, относятся:

- получение методики определения конечной предельной несущей способности основания;
- выбор проектного размера диаметра сваи с учетом особенностей конструкций надземного строения;
- разработка методологии расчета несущей способности пяти зон состояний предельных равновесий основания кругового конуса нижнего конца ствола взрывофугасной сваи;
- создание методологии определения несущей способности на длине участка сбег напряжений по боковой поверхности ствола сваи;

– разработка методики расчета несущей способности по боковой поверхности ствола сваи от напряжений взаимодействия бетона с грунтом;

– научное обоснование методологии расчетного определения проектной длины заглубления в грунт ствола сваи по несущей способности основания.

Несущая способность набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов определяется нормальными напряжениями обжатия боковой поверхности ствола и круговых конусов условного массивного фундамента и нижнего конца сваи σ_i и касательными напряжениями сопротивления погружению сваи в грунт основания τ_i [1]. Показанные напряжения σ_i генерируются давлением сдвигающих сил, действующих на площадках скольжения пластических контактов смежных сжимаемых и сдвигаемых минеральных частиц под влиянием давления выдавливаемого из-под кругового конуса грунта, восходящего вдоль боковой поверхности ствола сваи.

Основное содержание исследования представлено кратким обоснованием полученных научных результатов.

Сделаны основные выводы по проведенному исследованию.

1. Геотехника проектирования рациональных конструкций набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов по несущей способности оснований

Последовательность геотехники проектирования рациональных конструкций рассматриваемых свай-фундаментов проводится по определяемым значениям несущей способности оснований [2, 3]. С этой целью рассчитывается величина проектной нагрузки на одиночную сваю-фундамент P_d и соответствующего ей расчетного значения несущей способности F_d . Определение критической нагрузки на сваю $P_{кр}$ и соответствующей ей по величине предельной несущей способности $F_{пр}$, проводится с применением коэффициента запаса несущей способности основания свай $\gamma_z = 1,2$ по равенствам:

$$P_{кр} = \gamma_z P_d. \quad (1)$$

$$F_{пр} = \gamma_z F_d. \quad (2)$$

Размер проектного диаметра ствола свай обосновывается и принимается с учетом особенностей конструкций надземной части строения.

Используются следующие физико-механические характеристики грунтов: γ – удельный вес грунта естественного состояния, γ_d – удельный вес скелета сухого грунта, φ – угол внутреннего трения, c – удельное сцепление и E – модуль деформации грунта.

Получаются значения углов внутреннего трения пяти зон состояний предельных равновесий [4] сопротивления свойств упругопластичновязкости глин и суглинков дисперсной зернистой среды с показателем степени $n = 1,0$ в функции $\text{tg}^n \varphi_i$, откуда

$$\varphi_1 = \varphi; \quad (3)$$

$$\varphi_2 = 22,5^\circ + \varphi/2; \quad (4)$$

$$\varphi_3 = 45^\circ; \quad (5)$$

$$\varphi_4 = 67,5^\circ - \varphi/2; \quad (6)$$

$$\varphi_5 = 90^\circ - \varphi. \quad (7)$$

Сопротивления свойств упругопластичновязкости суглинопесей, супесей и супылепесей дисперсно-дискретной зернистой среды с показателями степеней для суглинопесей $n = 1,13 \dots 1,50$, для супылепесей $n = 1,38 \dots 1,53$, для песков дискретной зернистой среды при $n = 1,53 \dots 2,0$ в равенствах

$$\text{tg}^n \varphi_i = \text{tg} \psi_i \quad (8)$$

при неравенствах значений $\varphi_i < \psi_i$, где ψ_i – углы внутреннего трения сопротивления свойств упругопластичновязкожесткости с учетом сопротивления жесткости зацепления на площадках скольжения смежных сжимаемых и сдвигаемых минеральных частиц грунта в пяти зонах состояний предельных равновесий.

Коэффициенты максимальных K_1 , минимальных K_3 и тотальных главных нормальных напряжений сжатия K_t на площадках скольжения сдвигаемых минеральных частиц грунта:

$$K_1 = \cos \varphi, \quad (9)$$

$$K_3 = \sin \varphi, \quad (10)$$

$$K_t = \cos \varphi + \sin \varphi. \quad (11)$$

Максимальные σ_1 и минимальные σ_3 главные напряжения сжатия формируются от напряжений давления удельного веса сухого скелета грунта σ_d и удельного сцепления c для сопротивления свойств упругопластичновязкости глин и суглинков пяти зон состояний предельных равновесий дисперсной зернистой среды и определяются по равенствам:

$$\sigma_1 = (\sigma_d + c) \cos \varphi, \quad (12)$$

$$\sigma_3 = (\sigma_d + c) \sin \varphi. \quad (13)$$

Касательные напряжения сопротивления погружению свай в грунт:

$$\tau_{1,1} = \sigma_1 \text{tg} \varphi_1 = (\sigma_d + c) \cos \varphi \text{tg} \varphi_1, \quad (14)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\tau_{1,5} = \sigma_1 \text{tg} \varphi_{51} = (\sigma_d + c) \cos \varphi \text{tg} \varphi_5. \quad (18)$$

$$\text{Удельное сцепление} \quad c = C_W + C_{S,1}, \quad (19)$$

где C_W – удельная связность физико-химической природы в пластических контактах скольжения; $C_{S,1}$ – удельное сцепление в контактах разрушения и сдвига неразрезных цементационных связей осадка гелей на поверхность минеральных частиц;

$$\tau_{3,1} = \sigma_3 \text{tg} \varphi_1 = (\sigma_d + c) \sin \varphi \text{tg} \varphi_1, \quad (20)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\tau_{3,5} = \sigma_3 \text{tg} \varphi_5 = (\sigma_d + c) \sin \varphi \text{tg} \varphi_5, \quad (24)$$

Для сопротивления свойств упругопластичновязкожесткости суглинопесей, супесей, супылепесей и песков пяти зон состояний предельных равновесий дисперсно-дискретной и дискретной зернистых сред нормальные напряжения определяются по равенствам для σ_1 – (12) и для σ_3 – (13), касательные напряжения по боковой поверхности ствола свай от σ_1 :

$$\tau_{1,1} = \sigma_1 \text{tg}^n \varphi_1 = (\sigma_d + c_z) \cos \varphi \text{tg}^n \varphi_1 = \\ = (\sigma_d + c_z) \cos \varphi \text{tg} \psi_1, \quad (25)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\tau_{1,5} = \sigma_1 \text{tg}^n \varphi_5 = (\sigma_d + c_z) \cos \varphi \text{tg}^n \varphi_5 = \\ = (\sigma_d + c_z) \cos \varphi \text{tg} \psi_5, \quad (29)$$

где c_z – удельное сцепление с учетом сопротивления жесткости зацепления для суглинопесей, супесей и супылепесей,

$$c_z = C_W + C_{S,1} + C_{S,2} + C_Z, \quad (30)$$

где $C_{S,2}$ – удельная связность разрезных контактов неровностей поверхностей минеральных частиц; удельная связность сопротивления жесткости зацепления:

$$C_Z = c\varphi / \Delta\psi, \quad (31)$$

где $\Delta\psi$ – превышение значения угла внутреннего трения ψ по отношению к углу φ ; удельное сцепление для песков:

$$c_z = C_W + C_{S.2} + C_Z. \quad (32)$$

Касательные напряжения по боковой поверхности ствола сваи от σ_3 :

$$\begin{aligned} \tau_{3,1} &= \sigma_3 \operatorname{tg}^n \varphi_1 = (\sigma_d + c_z) \sin \varphi \operatorname{tg}^n \varphi_1 = \\ &= (\sigma_d + c) \sin \varphi \operatorname{tg} \psi_1, \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \tau_{3,5} &= \sigma_3 \operatorname{tg}^n \varphi_5 = (\sigma_d + c_z) \sin \varphi \operatorname{tg}^n \varphi_5 = \\ &= (\sigma_d + c) \sin \varphi \operatorname{tg} \psi_5. \end{aligned} \quad (37)$$

Тотальные главные нормальные напряжения сжатия сопротивления свойств упругопластично-вязкости глин и суглинков пяти зон состояний предельных равновесий дисперсной зернистой среды с K_t (11)

$$\sigma_t = (\sigma_d + c) K_t = (\sigma_d + c)(\cos \varphi + \sin \varphi). \quad (38)$$

Касательные тотальные напряжения сопротивления погружению сваи в грунт:

$$\tau_{t,1} = \sigma_t \operatorname{tg} \varphi_1 = (\sigma_d + c)(\cos \varphi + \sin \varphi) \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (39)$$

$$\tau_{t,5} = \sigma_t \operatorname{tg} \varphi_5 = (\sigma_d + c)(\cos \varphi + \sin \varphi) \operatorname{tg} \varphi_5. \quad (43)$$

Для сопротивления свойств упругопластично-вязкожесткости суглинопесей, супесей и супылепесей дисперсно-дискретной зернистой среды и песков дискретной среды тотальные нормальные напряжения сжатия пяти зон состояний предельных равновесий грунта определяются по формуле (38).

Касательные тотальные напряжения сопротивления погружению сваи в грунт:

$$\tau_{t,1} = \sigma_t \operatorname{tg}^n \varphi_1 = (\sigma_d + c_z)(\cos \varphi + \sin \varphi) \operatorname{tg} \psi_1, \quad (44)$$

$$\tau_{t,5} = \sigma_t \operatorname{tg}^n \varphi_5 = (\sigma_d + c_z)(\cos \varphi + \sin \varphi) \operatorname{tg} \psi_5. \quad (48)$$

Тотальные главные нормальные и касательные напряжения используются для определения физически максимального ресурса несущей способности оснований свай.

Несущая способность по пяти зонам состояний предельных равновесий грунта основания кругового конуса нижнего конца ствола сваи:

$$F_{K,1} = A_K \tau_{0-1}, \quad (49)$$

$$F_{K,5} = A_K \tau_{0-5}, \quad (53)$$

где A_K – площадь боковой поверхности кругового конуса; последовательно суммарные значения касательных напряжений по пяти зонам:

$$\tau_{0-1} = 0 + \tau_{t,1}, \quad (54)$$

$$\tau_{0-2} = \tau_{0-1} + \tau_{t,2}, \quad (55)$$

$$\tau_{0-5} = \tau_{0-4} + \tau_{t,5}, \quad (58)$$

Тотальные касательные напряжения пяти зон состояний предельных равновесий (39)...(43), (44)...(48): $\tau_{t,1} \dots \tau_{t,5}$.

Суммарная критическая нагрузка на круговой конус

$$F_{K,i} = F_{K,1} + \dots + F_{K,5}. \quad (59)$$

Несущая способность участка длины сваи у оголовка на высоте усеченного конуса эпюры напряжений вокруг ствола сваи определяется в соответствии со следующими расчетами. Радиус пятой зоны состояния предельного равновесия грунта

$$R_5 = \sqrt{2A_c / \pi}, \quad (60)$$

где A_c – площадь поперечного сечения ствола сваи. По значениям тотальных напряжений пяти зон состояний предельных равновесий рассчитываются радиусы их границ:

$$R_4 = R_5 \tau_{0-5} / \tau_{0-4}, \quad (61)$$

$$R_1 = R_5 \tau_{0-5} / \tau_{0-1}. \quad (65)$$

Мощность сжимаемой толщи каждого слоя грунта между границами зон

$$\Delta h_5 = R_5 - R_c, \quad (66)$$

$$\Delta h_4 = R_4 - R_5, \quad (67) \dots \Delta h_1 = R_1 - R_2. \quad (70)$$

Длина участков схода напряжений пяти зон по боковой к оголовку сваи:

$$l_2 = \Delta h_2, \quad (71)$$

$$l_5 = \Delta h_5. \quad (74)$$

Длина участка сбегания напряжений

$$l_0 = l_2 + \dots + l_5. \quad (75)$$

Критическая несущая способность на участке сбегания напряжений длиной l_0

$$F_0 = 0,5 A_0 \Sigma \tau_{3,i}, \quad (76)$$

где $A_0 = u l_0$ – площадь боковой поверхности участка ствола сваи; сумма напряжений

$$\Sigma \tau_{3,i} = \tau_{3,2} + \dots + \tau_{3,5}. \quad (77)$$

Критическая несущая способность на остальном участке длины ствола сваи l_z , окруженного цилиндрической формой напряжений обжатия и сдвига грунта:

$$F_z = F_{kp} - F_0 - F_{K,i} - F_{b,0}, \quad (78)$$

где $F_{b,0}$ – часть несущей способности основания, приходящаяся на участок длины l_0 от напряжений взаимодействия бетона сваи с грунтом τ_b

$$F_{b,0} = u l_0 \tau_b. \quad (79)$$

Критическая несущая способность на участке длины ствола сваи l_z

$$F_z = u l_z \tau_i + u l_z \tau_b. \quad (80)$$

Длина участка цилиндрической формы напряжений по стволу сваи

$$l_z = F_z / u(\tau_i + \tau_b). \quad (81)$$

Проектная длина ствола сваи

$$l_c = l_0 + l_z. \quad (82)$$

Выбор уравнений состояний касательных напряжений τ_i в границах пяти зон состояний предельных равновесий, задействованных в проекте, определяется по результатам полевых эксперимен-

тальных исследований несущей способности оснований свай, что является существенным недостатком. В связи с этим предложена расчетно-теоретическая методика определения значений касательных напряжений τ_i , действующих в пяти зонах состояний предельных равновесий, линейно и пропорционально зависящих от размеров диаметров свай $d_{c,i}$ по графику $\tau_i = f(d_{c,i})$, построенному на рисунке для конкретных грунтов.

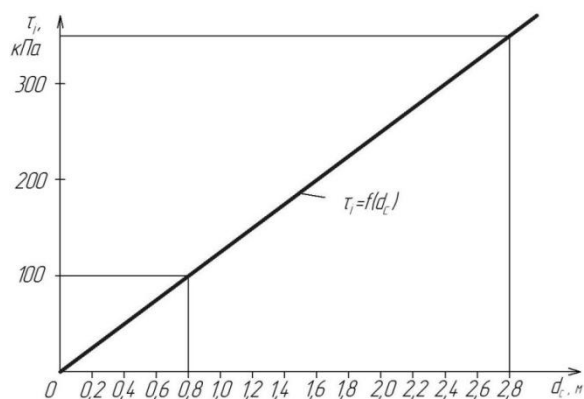


График зависимости касательных напряжений τ_i на границе действованных зон состояний предельных равновесий от размеров диаметров свай d_c

Касательные сдвигающие силы τ_i генерируются минимальными главными нормальными напряжениями сжатия σ_3 для среднеразмерных свай с диаметрами от $d_n = 0,2$ м (начальный) до $d_c = 0,8$ м (средний) и суммарными значениями минимальных σ_3 и максимальных σ_1 главных нормальных напряжений сжатия для крупноразмерных свай с диаметрами от $d_c = 0,8$ м до $d_k = 2,8$ м (конечный), при котором реализуется физически максимально возможный ресурс несущей способности основания исследуемой сваи.

В формировании несущей способности оснований взрывофугасных свай принимают участие нормальные σ_b и касательные τ_b напряжения от взаимодействия бетона с окружающим грунтом.

$$\sigma_b = \delta_b + \sigma_k, \quad (83)$$

$$\tau_b = \sigma_b \operatorname{tg} \varphi_3, \quad (84)$$

где σ_b – нормальное напряжение обжатия ствола сваи от набухания бетонной смеси; σ_k – нормальное напряжение обжатия при предельной несущей способности по боковой поверхности ствола сваи; $\varphi_3 = 45^\circ$ по формуле (5).

Предельные несущие способности основания с учетом взаимодействия грунта с бетоном боковой поверхности ствола сваи, равные критическим нагрузкам на сваю, по границам пяти зон состояний предельных равновесий:

$$F_1 = F_{1c} + F_{K,1} + F_b = P_1, \quad (85)$$

$$F_2 = F_{2c} + F_{K,2} + F_1 = P_2, \quad (86)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$F_5 = F_{5c} + F_{K,5} + F_4 = P_5. \quad (87)$$

2. Осадочное механическое погружение вертикально нагружаемых набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов в грунты тесняемые основания

Модули деформации грунта E_i и его нелинейной общей деформации E_i^0 для первой, второй и первой половины третьей зон состояний предельных равновесий фазы уплотнения А грунта в основании кругового конуса рассматриваемой сваи определяются с использованием схемы условного массивного фундамента сваи диаметром d_y .

$$E_i = E_i^0 / K_i^0, \quad (88)$$

$$E_i^0 = (1 - \nu^2) P_i / d_y S_i, \quad (89)$$

где K_i^0 – эталонные коэффициенты пропорциональности нелинейной общей деформации грунта.

От второй половины третьей, четвертой и пятой зон состояний предельных равновесий фазы разуплотнения Б грунта модули деформаций E_i и E_i^0 определяются в основании кругового конуса нижнего конца ствола сваи диаметром d_c

$$E_i^0 = E K_i^0, \quad (90)$$

где E – модуль деформации грунта.

Конечная сжимаемость грунта между границами пяти зон состояний предельных равновесий:

$$S_1 = (1 - \nu^2) P_1 / d_y E_1^0, \quad (91)$$

$$S_2 = (1 - \nu^2) P_2 / d_y E_2^0, \quad (92)$$

$$S_{3,1} = (1 - \nu^2) P_{3,1} / d_y E_3^0, \quad (93)$$

$$S_3 = (1 - \nu^2) P_{K3} / d_c E_3^0, \quad (94)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$S_5 = (1 - \nu^2) P_{K5} / d_c E_5^0. \quad (96)$$

По полученным значениям P_i (85)...(87) и S_i (91)...(96) выполняется построение расчетно-теоретического нелинейно-линейного графика зависимости осадки от нагрузки $S_i = f(P_i)$. По значению проектной нагрузки на сваю P_d графически определяется соответствующая ей проектная стабилизированная осадка S_d .

К перспективному направлению научного исследования относится также разработка научного обоснования и научно-технического сопровождения конструктивно-технологического изготовления эффективных взрывофугасных трубчатозаполненных свай-оболочек, а также не менее эффективных шарнирных односвайно-плитных фундаментов [5].

Выводы

Положения геотехники проектирования рациональных конструкций набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов базируются на

теории геомеханики зернистых сред оснований фундаментов.

В основу проектирования конструкций рассматриваемых свай положен принцип определения их размеров по значениям предельных несущих способностей собственных оснований.

Показаны основы методологий, методик и методов расчетно-теоретических исследований несущей способности оснований набивных взрывофугасных одиночных свай-фундаментов.

Приведена методика определения критических нагрузок по границам пяти зон состояний предельных равновесий.

Показана методика расчета значений осадок от действия критических нагрузок по границам пяти зон состояний предельных равновесий грунтов оснований взрывофугасных свай.

Отмечено, что возможно построение расчетно-теоретического графика зависимости осадки от нагрузки, с помощью которого графически определяется предельная стабилизированная осадка по значению проектной нагрузки на одиночную сваю-фундамент.

Литература

1. Борозенец, Л.М. *Геотехника проектирования и устройства оснований взрывофугасных*

набивных свай: технические средства и геотехнологические результаты взрывофугасного грунтовытеснения скважин / Л.М. Борозенец // *Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф.* – СПб.: СПбГАСУ, 2014. – С. 160–167.

2. Борозенец, Л.М. *Геотехника фундаментостроения и грунтоустойчивости: моногр.* / Л.М. Борозенец. – Тольятти: Тольят. гос. ун-т, 2015. – 588 с.

3. Борозенец, Л.М. *Комплексное исследование несущей способности основания взрывофугасных свай* / Л.М. Борозенец // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура».* – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 20–25.

4. Борозенец, Л.М. *Научное обоснование физической, механической и математической сущности угла внутреннего трения грунта* / Л.М. Борозенец // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура».* – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 27–33.

5. *Односвайно-плитный фундамент: патент 2638664* / Л.М. Борозенец, С.А. Мишин, В.В. Гурский. – № 2016100658, заявл. 11.01.2016. Бюлл. № 35 от 15.12.2011

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

Поступила в редакцию 19 мая 2020 г.

DOI: 10.14529/build200303

LOAD CAPACITY OF HIGH-EXPLOSIVE PILES' BASES: RATIONAL GEOTECHNICAL DESIGN

L.M. Borozenetz, tsp@tltsu.ru

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The results of the latest innovative achievements in the field of pile foundation engineering are summarized. The relevance is justified for an integrated solution to the scientific and technical problem of development of rational geotechnical designs of high-explosive single pile foundations. The goal and objectives of the scientific research are set. The subject matter of the computational and theoretical research is represented by a full demonstration of the scientific results obtained. Geotechnics is based on the methodologies that include the provisions of the geomechanics theory and the methods of enquiry into a computational-theoretical research. The proposed rational geotechnical design of high-explosive single pile foundations makes it possible to determine their design dimensions from the bases' load capacity values equal to the critical load on the pile.

Keywords: design, geotechnics, pile foundation, methodology, borehole, load, draft, schedule, calculation, research, foundation.

References

1. Borozenets L.M. [Geotechnical Design and Construction of the Foundations of High-Explosive Driven Piles: Technical Means and Geotechnological Results of High Explosive Soil Displacement of Wells]. *Sovremennyye geotekhnologii v stroitel'stve i ikh nauchno-tekhnicheskoye soprovozhdeniye: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Modern Geotechnology in Construction and their Scientific and Technical Support. Collection of Articles Intern. Scientific and Technical Conf.]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2014, pp. 160–167. (in Russ.)
2. Borozenets L.M. *Geotekhnika fundamentostroyeniya i gruntoustoychivosti. Monografiya* [Geotechnics of Foundation Engineering and Soil Stability. Monograph]. Tol'yatti, Togliatti State University Publ., 2015. 588 p.
3. Borozenets L.M. *Kompleksnoye issledovaniye nesushchey sposobnosti osnovaniya vzryvofugasnykh svay* [Comprehensive Study of the Bearing Capacity of the Foundation of Blast-Permeable Piles]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 20–25. (in Russ.)
4. Borozenets L.M. [Scientific Substantiation of the Physical, Mechanical and Mathematical Essence of the Angle of Internal Thorns of the Soil]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 27–33. (in Russ.)
5. Borozenets L.M., Mishin S.A., Gurskiy V.V. [Single-Pile Slab Foundation]. Patent RF, no. 2638664, 2016.

Received 19 May 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Борозенец, Л.М. Несущая способность оснований взрывофугасных свай: геотехника проектирования рациональных конструкций / Л.М. Борозенец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 22–27. DOI: 10.14529/build200303

FOR CITATION

Borozenetz L.M. Load Capacity of High-Explosive Piles' Bases: Rational Geotechnical Design. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 3, pp. 22–27. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200303