

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ИНЪЕКЦИОННЫМИ СВАЯМИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

А.И. ПОЛИЩУК^{1, *}, д-р техн. наук

А.А. ПЕТУХОВ¹, канд. техн. наук

И.В. СЕМЕНОВ¹

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», ул. Калинина, д. 13, г. Краснодар, 350044, Россия

Аннотация

Введение. При реконструкции зданий на фундаментах мелкого заложения довольно часто возникает необходимость их усиления, в том числе в случае изменения сейсмичности площадки строительства. Одним из способов увеличения несущей способности фундаментов является изменение их схемы работы путем передачи части нагрузки от реконструируемого здания на инъекционные сваи. Образованный таким образом фундамент в здании принято называть комбинированным, который может быть отдельным (отдельно стоящим), ленточным или плитным в виде сплошной монолитной железобетонной плиты. Существующие методы расчета фундаментов (комбинированных фундаментов) реконструируемых зданий, усиливаемых с использованием свай, не позволяют полноценно учитывать особенности их взаимодействия с грунтом основания.

Цель. Представление информации по инъекционным сваям, характере их работы в глинистых грунтах, методах расчета несущей способности и осадок свай в составе усиливаемых фундаментов реконструируемых зданий.

Материалы и методы. В работе рассматриваются железобетонные инъекционные сваи из мелкозернистой подвижной бетонной смеси, которые устраиваются в условиях реконструкции зданий.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о повышении несущей способности существующих фундаментов за счет их переустройства в комбинированные фундаменты с инъекционными сваями.

Выводы. Основной вывод по результатам исследований заключается в эффективности применения усиления фундаментов инъекционными сваями в глинистых грунтах для условий реконструкции зданий.

Ключевые слова: фундаменты реконструируемых зданий, усиление, инъекционная свая, методы расчета, несущая способность, осадка сваи, комбинированный фундамент, глинистые грунты

Для цитирования: Полищук А.И., Петухов А.А., Семенов И.В. Усиление фундаментов инъекционными сваями при реконструкции зданий // Вестник НИЦ «Строительство». 2026. 1(48). С. 168–181. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1\(48\)-168-181](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1(48)-168-181)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 07.11.2025

Поступила после рецензирования 14.01.2026

Принята к публикации 22.01.2026

FOUNDATIONS STRENGTHENING WITH INJECTION PILES DURING BUILDINGS RECONSTRUCTION

A.I. POLISHCHUK^{1,*}, Dr. Sci. (Engineering)

A.A. PETUKHOV^{1,2}, Cand. Sci. (Engineering)

I.V. SEMENOV¹

¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Kalinina str., 13, Krasnodar, 350044, Russia

²Stroytekhinnovatsii TDSC LLC, Razvitie ave., 27, Tomsk, 634055, Russia

Abstract

Introduction. When reconstructing buildings shallow foundations, quite often there is a need to strengthen them. One of the ways to increase the bearing capacity of foundations is to change their operating pattern by transferring part of the load from the building being reconstructed to injection piles. The foundation formed in this way in a building is usually called combined and can be separate (free-standing), strip or slab in the form of a continuous monolithic reinforced concrete slab. Existing methods for calculating foundations (combined foundations) of reconstructed buildings strengthened using piles do not allow us to fully take into account the peculiarities of their interaction with the foundation soil.

Aim. Present information on injection piles, the nature of their work in clay soils, methods for calculating the bearing capacity and settlement of piles as part of reinforced foundations of reconstructed buildings.

Materials and methods. The work examines reinforced concrete injection piles made of fine-grained mobile concrete mixture, which are installed in the conditions of reconstruction of buildings.

The results of the studies indicate an increase in the load-bearing capacity of existing foundations due to their conversion into combined foundations with injection piles.

Conclusions. The main conclusion from the research results is the effectiveness of using reinforcement of foundations with injection piles in clay soils for the conditions of reconstruction of buildings.

Keywords: foundations of reconstructed buildings, strengthening, injection pile, calculation methods, bearing capacity, pile settlement, combined foundation, clay soils

For citation: Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Semenov I.V. Foundations strengthening with injection piles during buildings reconstruction. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*, 2026, 1(48), pp. 168–181. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1\(48\)-168-181](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1(48)-168-181)

Authors contribution statement

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 07.11.2025

Revised 14.01.2026

Accepted 22.01.2026

Основные сведения

В условиях реконструкции (восстановления) зданий довольно часто возникает необходимость усиления существующих фундаментов. Одним из способов усиления фундаментов является увеличение их несущей способности путем передачи части нагрузки от надземных строительных конструкций на сваи. Образованный при этом фундамент (рис. 1) обычно называют комбинированным [1–6]. В последние годы вместо составных свай

при усилении фундаментов часто применяют инъекционные сваи. Под инъекционными понимаются сваи (рис. 2), которые формируются в предварительно подготовленных скважинах путем инъекции под давлением подвижной бетонной смеси с опрессовкой массива грунта [7].

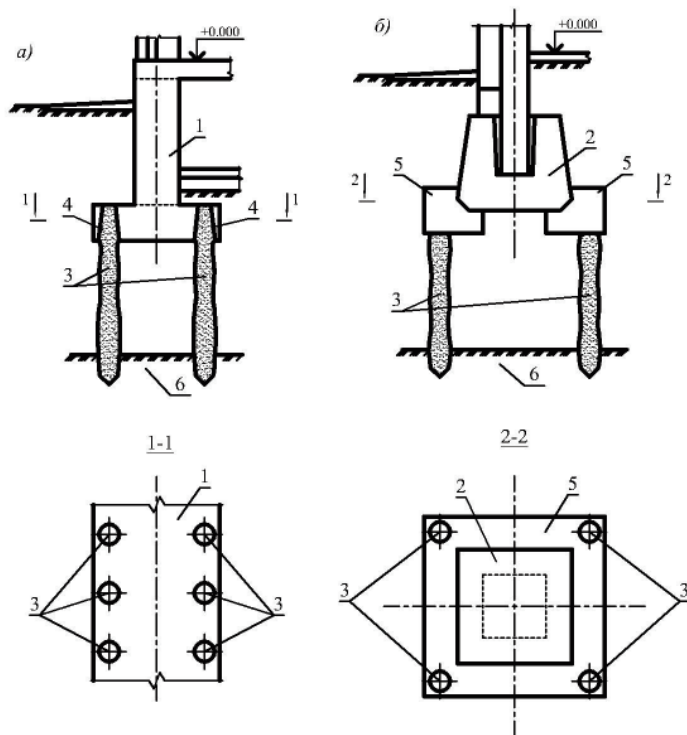


Рис. 1. Схемы комбинированных фундаментов с инъекционными сваями: а, б – соответственно при устройстве свай непосредственно под подошвой существующего фундамента и вдоль контура или периметра его подошвы (ленточного и отдельного); 1 – существующий ленточный фундамент; 2 – существующий отдельный фундамент; 3 – инъекционные сваи; 4 – конусное отверстие в плитной части фундамента; 5 – железобетонная обойма; 6 – несущий слой грунта основания

Fig. 1. Schemes of combined foundations with injection piles: a, b – respectively, when piles are installed directly under the sole of the existing foundation and along the contour or perimeter of its sole (ribbon and separate); 1 – existing ribbon foundation; 2 – existing separate foundation; 3 – injection piles; 4 – conical hole in the slab parts of the foundation; 5 – reinforced concrete cage; 6 – bearing soil layer of the base

Методика экспериментальных исследований

На опытных площадках в городах Кемерово (площадка 1) и Томске (площадки 2, 3) были проведены инженерно-геологические изыскания и экспериментальные исследования работы инъекционных свай в глинистых грунтах [7]. В геоморфологическом отношении рассматриваемые площадки приурочены к надпойменной террасе р. Томь. В геологическом строении рассматриваемые площадки на глубину 10–15 м сложены глинистыми грунтами. С поверхности залегают современные техногенные отложения на глубину до 0,5–1,0 м, представленные насыпными грунтами, почвой. Ниже, до глубины 8–15 м, залегают суглинки от текучепластичной до полутвердой консистенции, а также супеси пластичные. Уровень подземных вод типа «верховодка» был вскрыт на глубине 2,2–2,5 м, приуроченный к суглинкам текучепластичным.

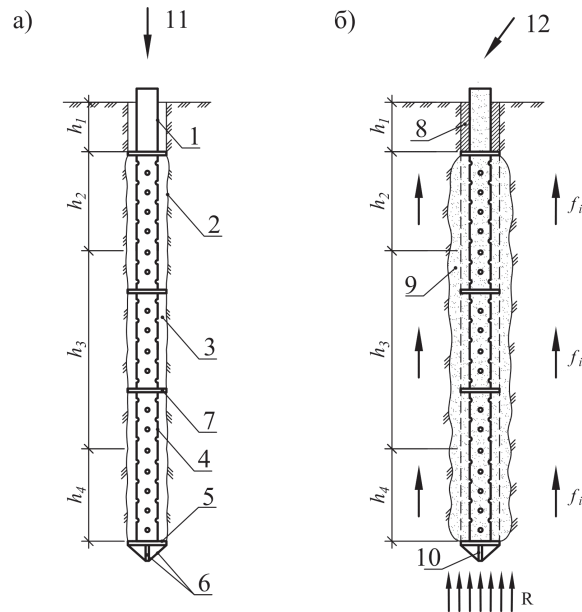


Рис. 2. Инъекционные сваи и схемы их формирования в грунте: а – вдавливание инъектора в грунт; б – формирование ствола сваи путем инъекции под давлением подвижной бетонной смеси:

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом (пятой) инъекционной сваи; f_i – расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности инъекционной сваи на i -й глубине; h_i – толщина (мощность) i -го слоя грунта; 1 – глухая часть инъектора (инъекторной трубы); 2 – стенка скважины; 3 – воздушный зазор, впоследствии заполняемый подвижной бетонной смесью; 4 – перфорированная часть инъектора (инъекторной трубы); 5 – уширение в уровне нижнего конца инъектора в виде плоского стального диска; 6 – режущие пластины; 7 – уширение в виде металлического кольца по длине инъектора; 8 – тампонируемая часть инъекционной сваи; 9 – расширяемая часть инъекционной сваи; 10 – острие (наконечник) сваи; 11 – усилие вдавливания инъектора; 12 – направление нагнетания бетонной смеси

Fig. 2. Injection piles and schemes of their formation in the ground: а – injection of the injector into the ground; б – formation of the pile trunk by injection under pressure of a mobile concrete mixture: R – calculated soil resistance under the lower end (the heel) of the injection pile; f_i – calculated soil resistance along the side surface of the injection pile at i -depth; h_i – thickness of the i -th soil layer; 1 – blind part of the injector (injection tube); 2 – borehole wall; 3 – air gap, subsequently filled with a movable concrete mixture; 4 – perforated part of the injector (injection tube); 5 – widening at the level of the lower end of the injector in the form of a flat steel disc; 6 – cutting plates; 7 – widening in the form of a metal ring along the length of the injector; 8 – tamponable part of the injection pile; 9 – expandable part of the injection pile; 10 – tip of the pile; 11 – force of indentation of the injector; 12 – the direction of injection of the concrete mixture

Экспериментальные исследования на трех опытных площадках были сгруппированы по семи сериям опытов [7]. Применялись инъекционные сваи длиной 1,5; 3,5; 5,0 м без уширения и с уширением в уровне нижних концов в виде наконечников. Инъекторы для инъекционных свай представляли собой стальную цельную прокатную трубу диаметром 57 и 108 мм с запрессованным нижним концом в виде конусообразного наконечника. Уширение наконечников изготавливалось в виде металлического кольца, имеющего диаметр $(1,37-1,4)D$ и $(1,75-1,8)D$ (D – диаметр инъектора) (рис. 3 и 4). Уширение предназначалось для формирования воздушного зазора между стенкой скважины и инъекторной трубой. Каждая инъекторная труба имела два участка: «глухой» участок длиной обычно до 1,5 м и участок с отверстиями диаметром 20 мм, расположенными в шахматном порядке с шагом 8–10 см. На границе между этими участками предусматривалось кольцо такого же диаметра, как и уширение наконечника.

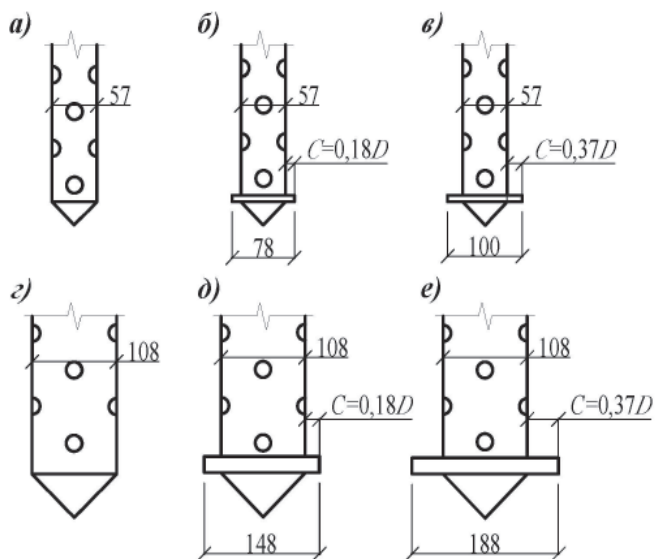


Рис. 3. Конструктивное решение наконечников для инъекторов диаметром 57 мм (а, б, в) и 108 мм (г, д, е): а, г – наконечники без уширения; б, д – то же, с уширением диаметром $[1,37-1,4]D$; в, е – то же, с уширением диаметром $[1,75-1,8]D$, где D – диаметр инъектора

Fig. 3. Design solution of tips for injectors with a diameter of 57 mm (a, b, c) and 108 mm (d, e, f): a, d – tips without broadening; b, e – the same, with a widening diameter of $[1.37-1.4]D$; c, e – the same, with a widening diameter of $[1.75-1.8]D$, where D is the diameter of the injector



Рис. 4. Общий вид отдельных элементов инъекторов
Fig. 4. General view of some elements of injectors

Погружение инъекторов до проектной отметки производилось гидравлическим домкратом (в стесненных условиях, г. Томск) и с помощью буровой установки УГБ-1ВС (на открытой площадке, г. Кемерово). Образующая при вдавливании инъектора скважина имела диаметр, равный диаметру наконечника инъектора. Для нагнетания бетонной смеси в скважину при устройстве инъекционных свай использовались насосы марок СО-49М и

СО-180, обеспечивающие постоянную скорость ее подачи порядка $2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Максимальное давление, создаваемое насосом, составляло $1,5\text{--}2,0 \text{ МПа}$.

Нагнетание бетонной смеси в скважины производилось порциями (этапами) по $0,1 \text{ м}^3$ с технологическими перерывами на $5\text{--}10 \text{ мин}$ для «промежуточной» опрессовки массива грунта рабочим давлением (рис. 5). Нагнетание бетонной смеси производилось до заданного объема, рассчитанного исходя из геометрии устраиваемых свай. После нагнетания бетонной смеси производилась опрессовка грунта в околосвайном пространстве путем сохранения рабочего давления в скважине на заданный промежуток времени для обеспечения уплотнения грунта вокруг ствола сваи.

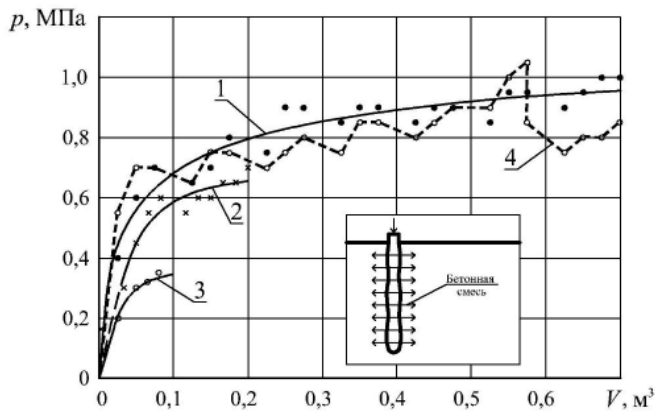


Рис. 5. Графики зависимостей изменения давления инъекции p (МПа) бетонной смеси для инъекционных свай: 1 – сваи длиной 5,0 м (площадка 1); 2 – сваи длиной 3,5 м (площадка 1); 3 – сваи длиной 1,5 м (площадка 2); 4 – сваи длиной 5,0 м (площадка 1 – с гидроразрывом грунта)

Fig. 5. Graphs of dependences of changes in injection pressure p (MPa) of concrete mix for injection piles: 1 – piles 5.0 m long [site 1]; 2 – piles 3.5 m long [site 1]; 3 – piles 1.5 m long [site 2]; 4 – piles 5.0 m long [site 1 – with hydraulic fracturing]

Результаты испытаний инъекционных свай

Инъекционные сваи испытывались статической вдавливающей нагрузкой с помощью специальной грузовой упорной конструкции, представляющей собой систему стальных балок, удерживаемой в грунте анкерными элементами. Испытания инъекционных свай проводились в соответствии с ГОСТ 5686-2020 [8]. Анализ результатов испытаний инъекционных свай (рис. 6) позволил выявить характер их работы под нагрузкой. Было установлено, что для инъекционных свай с инжекторами без наконечников несущая способность F_d была наименьшей. Для свай, имеющих инжекторы с уширением нижнего конца, в глинистых грунтах их несущая способность F_d возрастает. Существенное, до $20\text{--}30\%$ и более, увеличение несущей способности F_d инъекционных свай было зафиксировано в случае превышения диаметра уширения D_y инжектора по сравнению с диаметром инжектора D на расстояние $C = (0,37\text{--}0,4)D$. За несущую способность F_d инъекционных свай на опытных площадках 1, 2 и 3 принималась величина внешней нагрузки $N = F_d$, которая соответствовала их осадке, равной 10 мм [7, 9].

Общий вид устроенных на опытной площадке 1 (г. Кемерово) инъекционных свай позволил установить следующее. Диаметр ствола для свай длиной 5,0 м составил $130\text{--}585 \text{ мм}$,

для свай длиной 3,5 м – 110–620 мм. В нижней части основания с глубины 2,7 м у всех инъекционных свай образовывалось уширение 0,48–0,6 м ствола сваи. Формирование уширения происходило из-за наличия в нижней части основания слабого глинистого грунта преимущественно текучей консистенции (рис. 7).

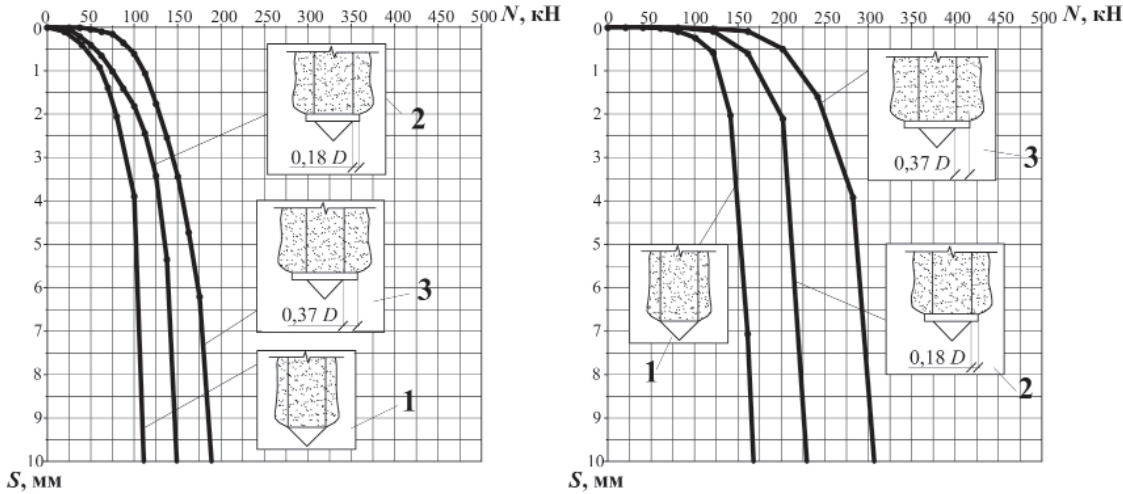


Рис. 6. Графики осадок инъекционных свай S на опытной площадке в г. Кемерово: a, b – соответственно для свай длиной 3,5 и 5,0 м; 1 – для свай без уширения нижнего конца инъектора $C = 0$; 2, 3 – то же, соответственно с уширением $C = 0,18D$ и $C = 0,37D$ (D – диаметр инъектора)
Fig. 6. Subsidence graphs of injection piles S at the experimental site in Kemerovo: a, b – respectively, for piles with a length of 3.5 and 5.0 m; 1 – for piles without broadening the lower end of the injector $C = 0$; 2, 3, the same, respectively, with broadening $C = 0.18D$ and $C = 0.37D$ (D is the diameter of the injector)

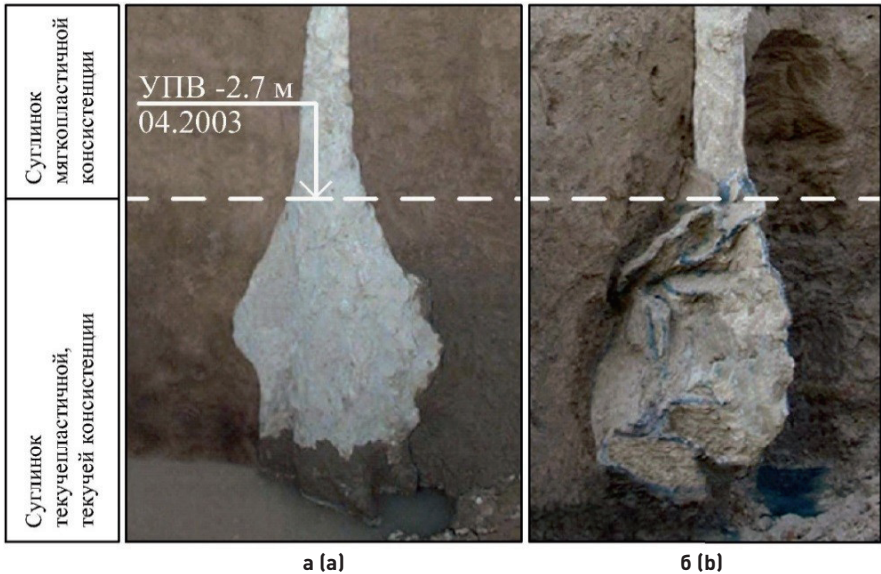


Рис. 7. Общий вид инъекционных свай на участке с глубины от 2 до 4 м (опытная площадка 1):
 a – свая длиной 3,5 м (ИС-12); b – свая длиной 5,0 м (ИС-6)
Fig. 7. General view of injection piles at the site from a depth of 2 to 4 m (experimental site 1):
 a – pile 3.5 m long (IS-12); b – pile 5.0 m long (IS-6)

Результаты оценки свойств грунтов

Исследования изменения физико-механических характеристик грунтов вокруг ствола сваи производились на отобранных монолитах грунта по схеме отбора (рис. 8). Было выявлено изменение плотности грунта ρ в окружающей сваю массиве по ее длине. В природном состоянии плотность грунта (ρ) составляла 1,70–1,73 г/см³, тогда как на границе ствола сваи плотность грунта достигала 1,97–1,98 г/см³. Изолинии характеристик плотности скелета грунта ρ_d свидетельствуют о равномерном уплотнении грунта вокруг ствола инъекционных свай (рис. 8). Удельное сцепление глинистого грунта с после устройства свай увеличилось с 13,3–15,0 кПа до 18,2–18,6 кПа в пределах радиуса до 500 мм от боковой поверхности свай. При этом угол внутреннего трения глинистого грунта увеличивался незначительно, на 1–3 градуса [7, 9]. По результатам статического зондирования грунтов установлено, что после устройства свай сопротивление грунта под наконечником зонда в пределах длины устроенной сваи q_c увеличилось в 1,5–2,0 раза и составило 1,5–2,2 МПа (рис. 9а). Сопротивление грунта на боковой поверхности зонда f_s (рис. 9б) в пределах глубины свай увеличилось в 1,4–1,5 раза.

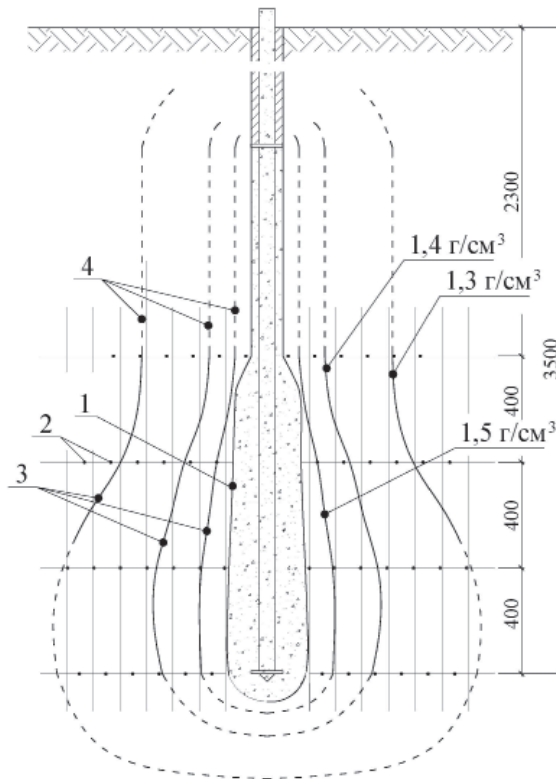


Рис. 8. Изолинии (поля) равных плотностей ρ_d вокруг ствола инъекционных свай (опытная площадка 1):
1 – инъекционная свая; 2 – точки определения характеристик грунтов; 3 – изолинии характеристик ρ_d
(экспериментальные данные); 4 – возможное продолжение изолиний

Fig. 8. Isolines (fields) of equal densities ρ_d around the trunk of injection piles (experimental site 1):
1 – injection pile; 2 – points for determining soil characteristics; 3 – isolines of ρ_d characteristics (experimental data);
4 – possible continuation of isolines

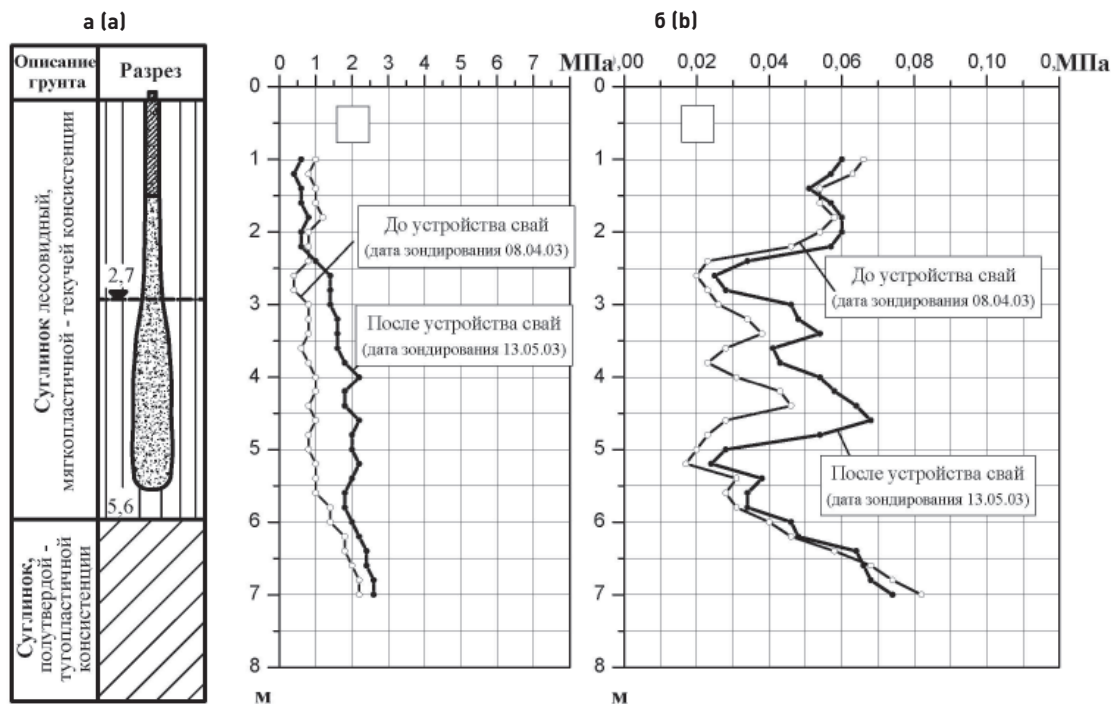


Рис. 9. Графики изменения сопротивлений грунта внедрению зонда при статическом зондировании до и после устройства инъекционных свай: а – под наконечником зонда (q_c); б – на боковой поверхности зонда (f_s)
Fig. 9. Graphs of changes in soil resistance to probe penetration during static probing before and after the injection piles installing: а – under the tip of the probe (q_c); б – on the side surface of the probe (f_s)

Аналитический метод расчета несущей способности инъекционной сваи

Предлагаемый метод [10] предусматривает сохранение общепринятого принципа разделения несущей способности инъекционной сваи F_d на две составляющих: несущую способность грунта под нижним концом инъекционной сваи $F_{нк}$, характеризуемую параметром расчетного сопротивления грунта под нижним концом R , и несущую способность грунта на боковой поверхности сваи $F_{бок}$, характеризуемую параметром расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности ствола f (рис. 2б):

$$F_d = F_{нк} + F_{бок} = R \times A + \sum u_i \times f_i \times h_i \tag{1}$$

где R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом инъекционной сваи, кПа;
 A – площадь поперечного сечения инъекционной сваи в уровне нижнего конца, м²;
 u – наружный периметр инъекционной сваи (средненное значение), м;
 h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

Для аналитического метода определения параметра R были использованы данные Б.В. Бахолдина (1985, 1986), Л.С. Лapidуса и Ф.К. Лапшина (1972, 1979), применяемые авторами для расчета осадок забивных и набивных свай.

Рассматривая взаимодействие сформированных зон предельного равновесия в уровне нижнего конца сваи (рис. 10б), в процессе ее нагружения была получена формула (2) для вычисления параметра расчетного сопротивления грунта R (рис. 10а), которая имеет вид [10]:

$$R = p_{\text{нк}} = \frac{4p_0 + 2c \times \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}, \quad (2)$$

где $p_{\text{нк}}$ – давление в уровне нижнего конца сваи, кПа;

$p_0 = \gamma_{\text{гр}} \times L_{\text{нк}} \times \mu / (1 - \mu)$ – боковое реактивное давление в зоне предельного равновесия, кПа;

$\gamma_{\text{гр}}$ – удельный вес грунта в уровне нижнего конца сваи, кН/м³;

$L_{\text{нк}}$ – глубина устройства нижнего конца сваи, м;

μ – коэффициент Пуассона для грунта;

c, φ – соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения, кПа и град.

Параметр f определяем на основе условия прочности Кулона – Мора и использования прочностных характеристик уплотненного глинистого грунта в пристенном слое (удельное сцепление $c_{\text{упл}}$ и угол внутреннего трения $\varphi_{\text{упл}}$) [10]. Характеристики $c_{\text{упл}}$ и $\varphi_{\text{упл}}$ определяются экспериментально для слоя грунта, примыкающего к боковой поверхности инъекционной сваи. Толщина пристенного слоя, установленная на основе экспериментальных исследований, составляет (0,3–0,4) диаметра ствола сваи. Для определения параметра f предлагается выражение [9, 10]:

$$f = p_{\text{обж}} \times \operatorname{tg} \varphi_{\text{упл}} + c_{\text{упл}}, \quad (3)$$

где $p_{\text{обж}}$ – давление обжатия боковой поверхности инъекционной сваи грунтом, кПа;

$c_{\text{упл}}, \varphi_{\text{упл}}$ – соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения уплотненно-го при устройстве сваи пристенного слоя грунта, кПа и град.

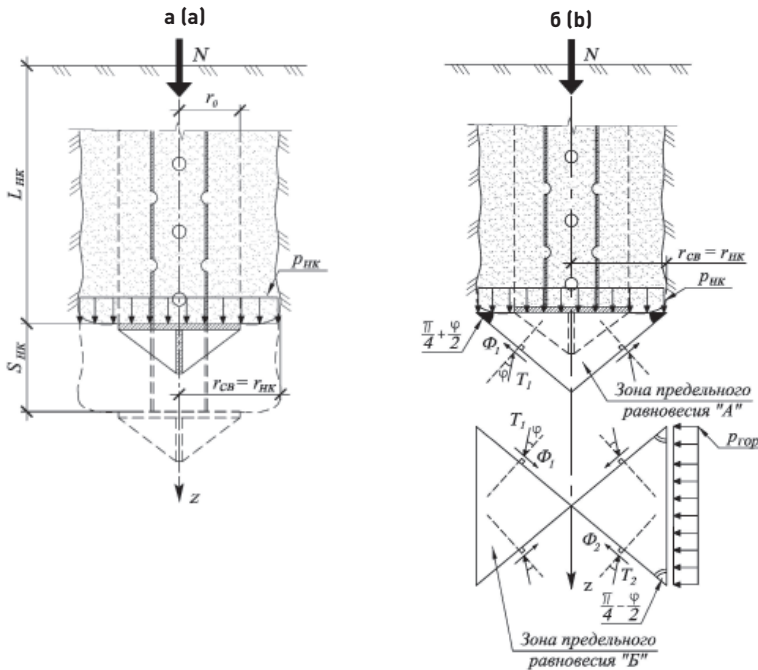


Рис. 10. Расчетная схема к оценке несущей способности инъекционной сваи: а – схема к определению параметра R ; б – схема приложения внутренних усилий к зонам предельного равновесия «А» и «Б»:

T_1, T_2 – суммарные силы отпора грунта; F_1, F_2 – суммарные силы сцепления грунта

Fig. 10. Calculation scheme for assessing the bearing capacity of an injection pile: а – scheme for the R parameter determining; б – scheme for applying internal forces to the zones of extreme equilibrium «А» and «Б»:

T_1, T_2 – total ground resistance forces; F_1, F_2 – total soil adhesion forces

Давление обжатия $p_{обж}$ обусловлено двумя факторами: реакцией от давления инъекции $p_{ин}$ подвижной бетонной смеси и горизонтальным давлением грунта p_0 от его собственного веса на боковую поверхность инъекционной сваи. Давление обжатия $p_{обж}$ определяется по формуле:

$$p_{обж} = p_{кр} + p_0, \quad (4)$$

где p_0 – то же, что и в формуле (2);

$p_{кр}$ – критическое давление на стенку расширяющейся скважины, кПа.

Критическое давление $p_{кр}$ соответствует такому значению, когда упругие деформации грунта на стенке расширяющейся скважины переходят в пластические [10]. Параметр $p_{кр}$ определяется на основе аналитических решений [11] задачи о расширении цилиндрической скважины в грунтовой среде и с учетом упрощений имеет вид:

$$p_{кр} = \frac{-2 \times (p_0 \times \sin \varphi + c \times \cos \varphi)}{(w + 2) \times \sin \varphi + w}, \quad (5)$$

где p_0 , c , φ , – то же, что и в формуле (2);

w – параметр, изменяющийся от -1,65 до -2 в зависимости от характеристик μ и λ ;

μ – коэффициент Пуассона для грунта;

λ – коэффициент разномодульности (В.В. Лушников, 1991). Для изотропной грунтовой среды $\lambda = 1$ и $w = -2$ (В.В. Лушников, 1991).

Инженерный метод расчета осадки комбинированного фундамента

Осадка комбинированного отдельного фундамента S_{κ} формируется из двух ее составляющих: осадки фундамента S_{ϕ} здания до его реконструкции и осадки фундамента $S_{рек}$ после усиления инъекционными сваями. Поэтому для осадки фундамента S_{κ} можно записать:

$$S_{\kappa} = S_{\phi} + S_{рек}, \quad (6)$$

где S_{ϕ} – расчетная осадка фундамента до реконструкции здания, мм;

$S_{рек}$ – то же, после его реконструкции, мм.

Расчетную осадку фундамента S_{ϕ} мелкого заложения реконструируемого здания рекомендуется определять методом послойного суммирования по СП 22.13330.2016 [12].

Осадку $S_{рек}$ можно установить из условия [13]:

$$S_{рек} = S_o \times k_n + S_{\phi} \times (k_{mex} - 1), \quad (7)$$

где S_o – конечная осадка одиночных инъекционных свай, мм;

S_{ϕ} – то же, что и в (6);

$k_{mex} = 1,01 - 1,13$ – коэффициент, учитывающий технологические осадки грунта при устройстве фундамента с инъекционными сваями [14, 15];

k_n – коэффициент [14, 15], учитывающий изменение напряженного состояния грунта в основании под подошвой плитной части фундамента после устройства инъекционных свай ($k_n = 0,93 - 0,98$).

Значения коэффициента k_{mex} , учитывающего технологические перемещения (осадки) грунта при устройстве инъекционных свай, устанавливались по результатам аналитических исследований [13]. Под технологическими понимаются перемещения грунта в его основании, обусловленные особенностями технологии устройства инъекционных свай (оплывание устраиваемых скважин, осыпание и потеря устойчивости стенок). На этапе формирования комбинированного фундамента происходит повышение давления p по подошве (от p_1 до p_2) и изменение

напряженного состояния основания за счет уменьшения ее площади A при образовании скважин под инъекционные сваи. Уменьшение площади опирания фундамента A на основание при возрастающем давлении p по подошве является основной причиной развития технологических перемещений (осадок) грунта. При этом наибольшие их значения проявляются в слабых водонасыщенных глинистых грунтах (текучей и текучепластичной консистенции) (рис. 11).

Коэффициент $k_{\text{н}}$ показывает изменение напряженного (деформированного) состояния основания под подошвой комбинированного фундамента и улучшение его свойств в пределах глубины $(0,5-1,0)b$ (b – ширина подошвы фундамента) в массиве грунта между стволами устроенных инъекционных свай от действия внешней вертикальной нагрузки. Значения коэффициента $k_{\text{н}}$ устанавливались на основе аналитических (тестовых) расчетов и архивных экспериментальных данных (А.И. Полищук и др., 1996, 2007).

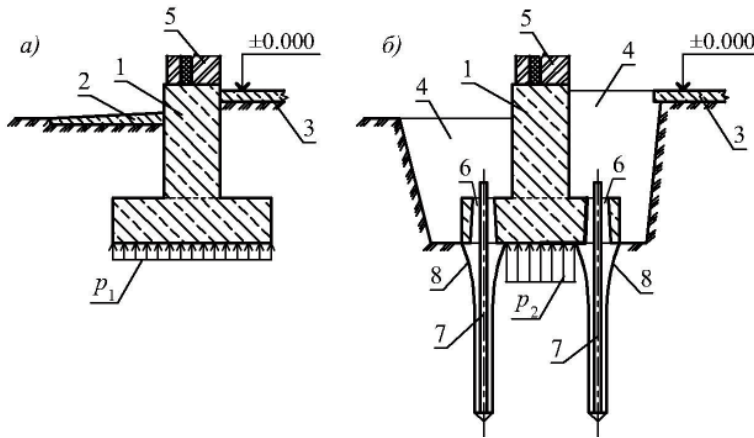


Рис. 11. Уменьшение площади опирания фундамента мелкого заложения при устройстве скважин под инъекционные сваи непосредственно под его подошвой: а – схема работы фундамента до его усиления;

б – то же, на этапе его усиления; 1 – фундамент мелкого заложения [отдельный или ленточный];

2 – водонепроницаемая отсыпка; 3 – бетонный пол по грунту; 4 – шурф для выполнения работ по усилению фундамента;

5 – надземные строительные конструкции; 6 – коническое отверстие в плитной части фундамента для устройства

инъекционной сваи; 7 – перфорированный иньектор; 8 – оплывание, потеря устойчивости стенок скважины;

p_1 – давление в уровне подошвы существующего фундамента до его усиления; p_2 – то же, на этапе его усиления

Fig. 11. Reduction of the support area of the shallow foundation when installing wells for injection piles directly under its sole: а – the scheme of the foundation before it is reinforced; б – the same, at the stage of its reinforcement;

1 – shallow foundation [separate or ribbon]; 2 – waterproof blind area; 3 – concrete a floor on the ground;

4 – a pit for carrying out work to strengthen the foundation; 5 – aboveground building structures; 6 – a conical hole in the slab part of the foundation for the installation of an injection pile; 7 – a perforated injector; 8 – sinking, loss of stability of the borehole walls; p_1 – pressure at the level of the base of the existing foundation before it is reinforced;

p_2 – the same, at the stage of its reinforcement

Выводы

Разработан способ устройства инъекционных свай для условий реконструкции зданий, прошедший экспериментальное обоснование на опытных площадках, сложенных глинистыми грунтами. Внедрение инъекционных свай выполнено при подготовке проектной документации и усилении фундаментов реконструируемых зданий на глинистых грунтах в городах Кемерово и Томске.

Результаты выполненных экспериментальных исследований позволили дать оценку изменения свойств глинистых грунтов, залегающих вокруг ствола инъекционных свай до и после их устройства. Выявлено, что после устройства инъекционных свай происходит уплотнение гли-

нистого грунта в пределах 2,0–2,5 диаметров ствола в радиальном направлении. Это приводит к улучшению условий работы инъекционных свай и повышению их несущей способности.

Разработан аналитический метод расчета несущей способности F_d инъекционных свай для фундаментов реконструируемых зданий. Метод учитывает улучшение свойств основания вокруг ствола свай за счет уплотнения глинистых грунтов на этапе их устройства.

Разработан инженерный метод расчета осадки комбинированного фундамента с инъекционными сваями в глинистых грунтах, который учитывает ее развитие до и после реконструкции здания.

Список литературы

1. Полищук А.И., Петухов А.А., Тарасов А.А. Усиление оснований и фундаментов зданий и сооружений. В: Справочник геотехника: основания, фундаменты, подземные сооружения. 3-е изд. Москва: Изд-во АСВ; 2023. Гл. 16, с. 828–868.
2. Полищук А.И. Основания и фундаменты, подземные сооружения: учебник. 2-е изд. Москва: Изд-во АСВ; 2020.
3. Коновалов П.А., Коновалов В.П. Основания и фундаменты реконструируемых зданий: монография. 5-е изд. Москва: Изд-во АСВ; 2011.
4. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Томск: Изд-во Томск; 1992.
5. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. 3-е изд. Нортхэмптон: STT; Томск: STT; 2007.
6. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В., Пономарев А.Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии. Москва: Изд-во АСВ; 2018.
7. Петухов А.А. Совершенствование способа устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах для условий реконструкции зданий [диссертация]. Томск; 2006.
8. ГОСТ 5886–2020. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Москва: Стандартиформ; 2020.
9. Полищук А.И., Петухов А.А., Семенов И.В. Усиление фундаментов инъекционными сваями в условиях реконструкции зданий. Москва: АСВ; 2023.
10. Полищук А.И., Петухов А.А., Шалгинов Р.В. Аналитический метод расчета несущей способности инъекционных свай в глинистых грунтах. В: *Фундаментальные прикладные вопросы геотехники: новые материалы, конструкции, технологии и расчеты: материалы конференции*. СПб, 2019, с. 259–264.
11. Федоровский В.Г. О расширении цилиндрической скважины в упруго-пластической среде // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1972;(2):28–30.
12. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*. Москва; 2016.
13. Полищук А.И., Семенов И.В. Инженерный метод расчета осадки инъекционной сваи в глинистом грунте // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2019;(5):23–28. Режим доступа: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/6198>.
14. Полищук А.И., Семенов И.В. Разработка метода расчета осадки одиночной инъекционной сваи в глинистых грунтах В: *IV Международная научно-практическая молодежная конференция по геотехнике: сборник материалов*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2018, с. 67–69.
15. Полищук А.И., Семенов И.В. Расчет осадки комбинированного фундамента для реконструируемого здания в глинистых грунтах // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2022;(6):7–11. Режим доступа: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/7261>.

References

1. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Tarasov A.A. Reinforcement of the bases and foundations of buildings and structures. In: Handbook of Geotechnics: Bases, Foundations, and Underground Structures. Moscow: ASV Publ.; 2023. Ch. 16, pp. 828–868. (In Russian).
2. Polishchuk A.I. Beds and foundations, underground structures. Moscow: ASV Publ.; 2020. (In Russian).

3. Konovalov P.A., Konovalov V.P. Foundations and foundations of reconstructed buildings: monograph. Moscow: ASV Publ.; 2011. (In Russian).
4. Malganov A.I., Plevkov V.S., Polishchuk A.I. Restoration and strengthening of building structures of damaged and reconstructed buildings. Tomsk: Tomsk Publishing House; 1992. (In Russian).
5. Polishchuk A.I. Fundamentals of design and installation of foundations of reconstructed buildings. Northampton: STT; Tomsk: STT; 2007. (In Russian).
6. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamensky V.V., Ponomarev A.B. Piles and pile foundations. Designs, design and technologies. Moscow: ASV Publ.; 2018. (In Russian).
7. Petukhov A.A. Improving the method of installing injection piles in weak clay soils for the conditions of reconstruction of buildings [dissertation]. Tomsk; 2006. (In Russian).
8. State Standard 5886-2020. Soils. Field test methods by piles. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).
9. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Semenov I.V. Strengthening foundations with injection piles in the context of building reconstruction. Moscow: ASV Publ.; 2023. (In Russian).
10. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Shalginov R.V. Analytical method for calculating the bearing capacity of injection piles in clayey soil. In: *Fundamental applied issues of geotechnics: new materials, structures, technologies and calculations: conference materials*. St. Petersburg, 2019, pp. 259–264.
11. Fedorovsky V.G. On the expansion of a cylindrical well in an elastic-plastic medium. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1972;(2):28–30. (In Russian).
12. SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83*. Moscow; 2016. (In Russian).
13. Polishchuk A.I., Semenov I.V. Engineering method of calculating injection pile settlement in clayey soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2019;56(5):352–358. Available at: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/6198>. (In Russian).
14. Polishchuk A.I., Semenov I.V. Development of a method for calculating the settlement of a single injection pile in clayey soils. In: *IV International Scientific and Practical Youth Conference on Geotechnics: collection of materials*. Tyumen: Tyumen Industrial University; 2018, pp. 67–69. (In Russian).
15. Polishchuk A.I., Semenov I.V. Calculation of the settlement of a combined foundation for a reconstructed building in clay soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2022;(6):7–11. Available at: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/7261> (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Анатолий Иванович Полищук*, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры оснований и фундаментов, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар
e-mail: ofpai@mail.ru

Anatoly I. Polishchuk*, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Foundations and Foundations, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar
e-mail: ofpai@mail.ru

Аркадий Александрович Петухов, канд. техн. наук, Томск; доцент кафедры оснований и фундаментов, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар
e-mail: paa5579@mail.ru

Arkady A. Petukhov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Beds and Foundations, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar
e-mail: paa5579@mail.ru

Иван Владимирович Семенов, старший преподаватель, аспирант кафедры оснований и фундаментов, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар
e-mail: amigos_siv@mail.ru

Ivan V. Semenov, Senior Lecturer, Graduate Student of the Department of Beds and Foundations, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar
e-mail: amigos_siv@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author