

П.А. ЛЯШЕНКО¹, В.В. ДЕНИСЕНКО², М.Б. МАРИНИЧЕВ¹

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ГРУППЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЕННОЙ СХЕМЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Аннотация. Предложен расчёт сопротивления свай в фундаменте по расширенной схеме, включающей в работу основания окружающий грунт, неразрывно связанный со сваей через боковую поверхность. Реализация расширенной схемы возможна с применением метода испытания модельной сваи постоянно возрастающей нагрузкой с непрерывным измерением осадки (метода ПВН), дополненного измерениями вертикальной деформаций грунта относительно поверхности сваи и перемещений глубинных марок вблизи сваи. Увеличение объёма информации о состоянии грунтов позволяет получать значения дополнительных сил, упруго передаваемых соседним сваям, в зависимости от размеров областей пластических деформаций грунта. Оценка взаимного влияния свай в ходе увеличения нагрузки на фундамент даёт возможность выбрать оптимальный вариант его параметров, включающих размеры свай, их расстановку в фундаменте, изменение со временем сопротивления и осадки.

Ключевые слова: буронабивные висячие сваи, взаимодействие свай, сопротивление, осадка, постоянно возрастающая нагрузка, пластическая деформация.

P.A. LYASHENKO¹, V.V. DENISENKO², M.B. MARINICHEV¹

¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

²Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

DESCRIPTION OF THE BORED PILES WORK IN A GROUP WITH USING AN EXTENDED RESISTANCE CIRCUIT OF SOIL BASE

Abstract. The calculation of the resistance of piles in the foundation is proposed according to an extended scheme, which includes the surrounding soil, which is inextricably connected with the pile through the side surface. The implementation of the extended scheme is possible with the application of the method of testing a model pile with a constantly increasing load with continuous measurement of precipitation (CRL method), supplemented by measurements of soil deformations relative to the pile surface and displacements of deep marks near the pile. Increasing the amount of information about the state of the soil allows us to obtain the values of additional forces elastically transmitted to neighboring piles, depending on the size of the areas of plastic deformation of the soil. The assessment of the mutual influence of piles during the increase in load on the foundation makes it possible to choose the best option of its parameters, including the size of piles, their placement in the foundation, changes in resistance and settlement over time.

Keywords: bored hanging piles, pile interaction, resistance, settlement, constantly increasing load, plastic deformation.

Введение

Вопрос распределения нагрузки на фундамент между сваями рассматривается с разных сторон достаточно давно: на материалах наблюдений [1], полевых [2] и лабораторных [3] исследований, путём построения теоретических моделей [4] и физического моделирования [5], обобщения результатов исследований [6] и выработки рекомендаций для

проектирования [7]. Устоявшиеся решения закреплены в нормах [8, 9]. На примере экспериментального жилого здания на забивных сваях показано, что в ходе строительства и после него «происходит заметное перераспределение нагрузок на сваи и в некоторой степени их выравнивание» [1], точнее, коэффициент вариации осадок уменьшается с 0,40–0,45 после возведения 1-го этажа до 0,33–0,11 – после заселения и 2-х месяцев эксплуатации, причём в среднем из трёх рядов свай эта величина уменьшилась с 0,24 до 0,13.

В опытах с 6-метровыми забивными сваями «марки, расположенные между сваями и в плоскости острия, начинали давать осадки при первых ступенях нагрузки и в дальнейшем оседали вместе с фундаментом» [2]. Очевидно, это свидетельство неразрывной связи грунта со сваями: грунт «зажат между сваями» [2], что даёт повод считать массив грунта со сваями единым жёстким телом [3].

На самом деле, есть различия в поведении одинаковых свай в одном фундаменте: сопротивление внешней нагрузке средних свай в группе меньше, чем крайних, а крайних – меньше, чем угловых [3], или центральных меньше, чем периметральных, – при центрально симметричной расстановке [5]. Различия в сопротивлении одинаковых свай в одном фундаменте, известные как «кустовой эффект», велики в начале нагружения и уменьшаются, в общем, (графики сближаются) со временем при полной нагрузке [1, 3]. Механизм этого явления не ясен. Не находит объяснение также скачкообразная форма графиков сопротивления свай (рисунок 1). Оценка отношений осадки и сопротивления единичной сваи и группы, предложенная в работе [3], имеет феноменологический характер и основана на косвенных данных, взятых из измерений параметров бурения скважины для сваи, поэтому механизм различий остаётся невыясненным.

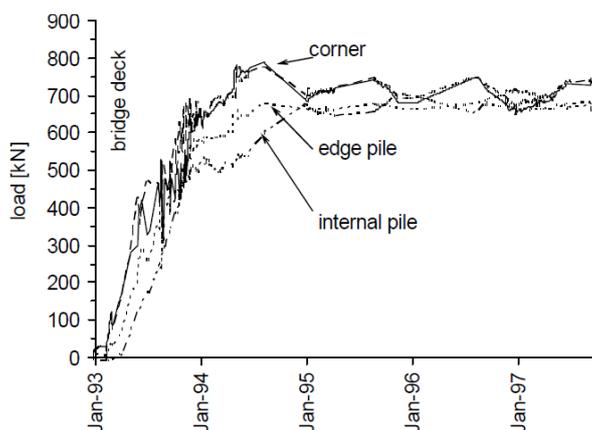


Рисунок 1 – Развитие сопротивлений свай в фундаменте, по мере его нагружения [3]

Различие сопротивлений учитывается при расчётах оснований введением геометрических параметров: длин свай, диаметров их сечений и расстояний между ними, площадей сечений и свайного фундамента, в целом [9]. Такой учёт основан на статистическом анализе большого числа свайных фундаментов, имеющих различные значения, как параметров, так и условий применения. Соответственно, это снижает надёжность рекомендаций для конкретного фундамента. Основой для её повышения справедливо считается изучение сопротивления одиночной сваи [3].

Математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ) влияния нагружаемой сваи на ненагруженную [10] даёт распределение напряжений в грунте вокруг сваи похожее, в общем, на измеренные в физических моделях [2], но отличное от расчётов по Своду правил [9]. При этом не ясно, согласуется ли модель МКЭ с данными измерений усилий в стволе сваи [11], по которым сжимающие усилия в длинных висячих сваях убывают с глубиной, отражает ли она скачкообразный характер изменения сопротивления свай при нагружении фундамента, как на рисунке 1, объясняет ли почему «жёсткость

единичной сваи в составе группы резко падает при уменьшении шага свай до $(2 - 3) \cdot d$ » [10]. Эти эффекты объективно реальны и должны служить критерием правильности моделей.

Отмеченные примеры не дают ответы на следующие вопросы:

- 1) о взаимодействии сваи с грунтом вблизи ствола;
- 2) о размерах области пластических деформаций грунта;
- 3) о взаимном влиянии свай в группе при увеличении нагрузки на фундамент.

Целью настоящей статьи является формулирование расширенной схемы сопротивления основания висячей сваи, призванной ответить на эти вопросы.

Метод построения схемы сопротивления висячей сваи

Рассмотрим работу основания сваи в предельном по осадке состоянии. Испытание сваи статической постоянно возрастающей нагрузкой (ПВН) [6], показывает, что отдельные области грунтового основания достигают предельного по прочности состояния сразу же после начала нагружения сваи, о чём говорит циклическое изменение скорости осадки на протяжении всего испытания. Непрерывное измерение осадки в ходе испытания сваи позволяет точнее установить нагрузку, вызвавшую предельную осадку при допредельном по прочности состоянии основания, в целом [12].

Параллельное наблюдение за перемещениями глубинных марок вблизи ствола сваи и регистрация их синхронно осадке сваи позволяет оценить поперечные размеры основания и его пластические деформации при нагружении сваи. Измерения вертикальной деформаций грунта относительно боковой поверхности сваи и давления под нижним концом позволяют определить место и время областей перехода грунтов в предельное состояние [13, 14].

Выделив упругую и неупругую составляющие осадки, можно рассчитать приращения упругого и пластического сопротивлений грунтов основания, оценить взаимное влияние свай. Строго обоснованные условия подобия позволяют распространить результаты испытания модельной сваи на рабочие сваи в условиях эксплуатации фундамента [15].

По данным испытания модельной сваи методом ПВН строят расширенную схему основания висячей сваи [12, 14, 16] (рисунок 2), в которой определены места неупругих деформаций грунта и размеры областей пластических деформаций.

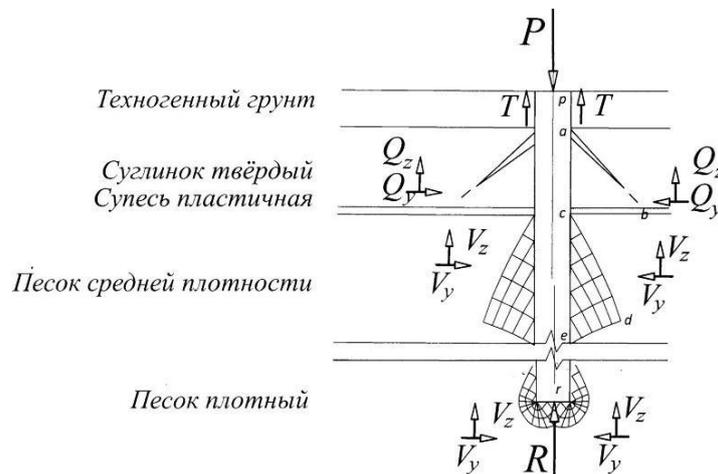


Рисунок 2 – Пример расширенной схемы сопротивления основания висячей сваи длиной 25 м

Согласно расширенной схеме, нагрузка на сваю воспринимается окружающим грунтом через боковую поверхность, большая часть которой неразрывно связана с ним. Разрывы происходят в отдельных местах и выражаются в виде трещин сдвига и отрыва в глинистых грунтах и поверхностей скольжения в песчаных. Сдвиг по боковой поверхности может возникать в слабых глинистых грунтах. В схеме на рисунке 2 такая ситуация представлена вектором T сил трения на участке $p - a$ боковой поверхности сваи. Другие

разрывы сплошности грунтов обозначены точками c, e , обозначающими истоки поверхностей скольжения грунтов.

На большей части боковой поверхности грунт сопротивляется упруго, а в точках разрыва сплошности и на поверхностях скольжения – вязко-пластически. Метод ПВН позволяет разделить эти виды деформации основания модельной сваи и прогнозировать их в основании рабочей сваи, геометрически подобной и находящейся в тех же инженерно-геологических условиях, что и модельная. При этом приращения сопротивления пластической деформации вычисляются по данным испытания модельной сваи и вычисляются для рабочей сваи по условиям подобия [14] (рисунок 3).



Рисунок 3 – Изменение пластической составляющей осадки модельной сваи (показано горизонтальной штриховкой) и рабочей сваи (сплошная заливка) при её нагружении в течение года

Пластическое сопротивление имеет наибольшие приращения в начале нагружения при малых значениях осадки, когда области пластических деформаций имеют малые размеры, а основание сваи, в целом, мало нарушено. По мере увеличения размеров этих областей и увеличения общей площади поверхностей скольжения, приращения сопротивления пластической деформации уменьшаются.

Результаты применения расширенной схемы к оценке взаимного влияния свай в группе

Задачей испытания модельной сваи является, в числе прочих, определение размеров пластических областей грунта с помощью измерителей вертикальной деформаций грунта относительно боковой поверхности сваи [17] и глубинных марок [18, 19], что необходимо, так как упругие напряжения за пределами этих областей действуют на соседние сваи и другие подземные конструкции. Точки приложения равнодействующих упругих сил зависят от конфигурации пластических областей в каждом инженерно-геологическом элементе (ИГЭ). Обозначим их вертикальные и горизонтальные компоненты через Q_z и Q_y , соответственно, в глинистом грунте V_z и V_y – в песчаном. Для двух верхних ИГЭ на рисунке 2 это будут точки O_1, O_3 на периферии основания левой сваи, точки O_2, O_4 – правой (рисунок 4).

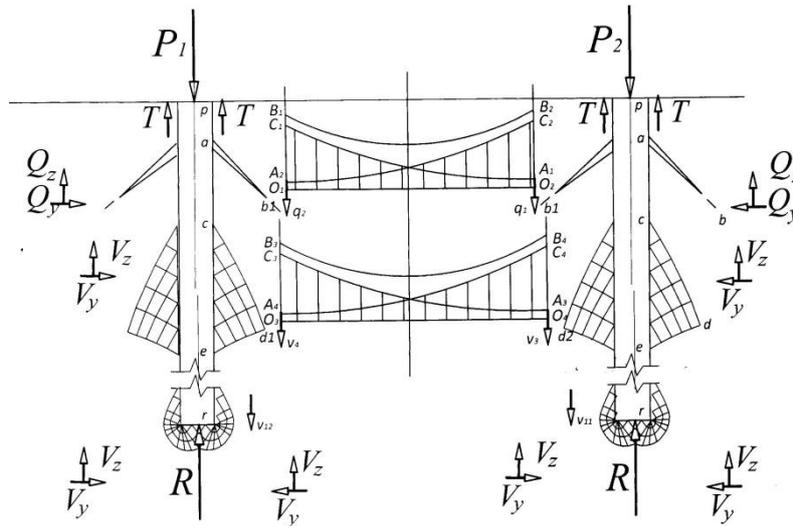


Рисунок 4 – Взаимодействие двух смежных свай посредством упругих сил в грунте.
 Клиньями показаны трещины сдвига и отрыва в глинистых грунтах,
 сетками – поля линий скольжения в песчаных грунтах

В точке O_1 действуют сила Q_z от нагрузки P_1 и дополнительная сила q_{z2} от нагрузки на соседнюю сваю P_2 . В точке O_2 действуют сила Q_z от нагрузки P_2 и дополнительная сила q_{z1} от нагрузки на соседнюю сваю P_1 . Силами Q_z и Q_y , равно как и V_z и V_y , обозначены равнодействующие напряжений, распределённых по поверхностям конических поясов [12, 14, 16, 20]. Для расчёта их долей, действующих на соседние сваи, надо учесть расстановку свай в фундаменте. Распределение сил на основе сравнения площадей сечений, применённое в работе [6] не представляется корректным, так как оно не учитывает конфигурацию полей напряжений в грунте вокруг свай: эти поля имеют выраженную концентрацию в направлении на соседнюю сваю.

Выделим эти направления в рассматриваемом примере свайного фундамента, содержащего 20 свай (рисунок 5).

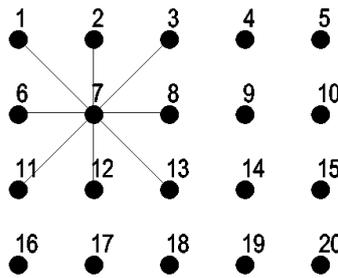


Рисунок 5 – Пример размещения свай в фундаменте по квадратной сетке 2,5x2,5 м

Так, при расстановке в четыре ряда по пять свай максимальное число «соседей» 8, например, для сваи № 7 на рисунке 6, в случае квадратной сетки лучи от сваи № 7 образуют одинаковые углы 45° . Поэтому по любому лучу на соседнюю сваю долю нагрузки от сваи № 7 через грунт примем вычисленной по формуле (1):

$$q_z = Q_z / 8. \quad (1)$$

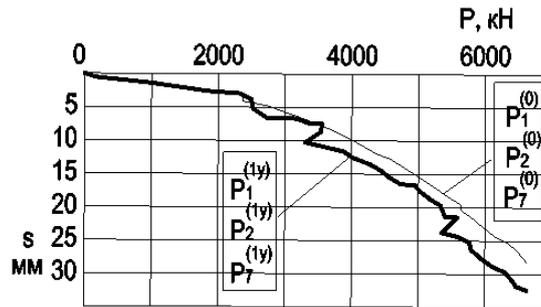


Рисунок 6 – Графики сопротивлений угловой, крайней и внутренней свай в ходе нагружения за двое суток ($P_1^{(0)}; P_2^{(0)}; P_7^{(0)}$) и за год ($P_1^{(1y)}; P_2^{(1y)}; P_7^{(1y)}$)

Однако значения сил, действующих на «соседей», зависят от расстояния до их периферий: дополнительная сила от сваи № 7 на сваю № 1 меньше, чем на сваю № 2, и наоборот: дополнительная сила от сваи № 1 на сваю № 7 меньше, чем сваи № 2 на сваю № 7. Действие свай №№ 1, 3, 13, 11 на сваю № 7 примем одинаковыми, вследствие их симметрии относительно сваи № 7, так же и действие на неё свай №№ 2, 8, 12, 6.

Тогда со стороны 8-ми соседних свай на сваю № 7 действует дополнительная сила, вычисленная по формуле (2):

$$q_z^{(in7)} = 4q_z^{(1in7)} + 4q_z^{(2in7)}, \quad (2)$$

где $q_z^{(1in7)} = Q_z(r_{17})/8$ и $q_z^{(2in7)} = Q_z(r_{27})/8$ – силы, действующие через грунт на сваю № 7 со стороны свай № 1 и № 2, соответственно.

Аналогично рассчитаем дополнительные силы, действующие на сваи № 1 и № 2 со стороны соседних свай (рисунок 5) по формулам (3) и (4):

$$q_z^{(in1)} = q_z^{(1in7)} + 2q_z^{(2in7)}; \quad (3)$$

$$q_z^{(in2)} = 2q_z^{(1in7)} + 3q_z^{(2in7)}. \quad (4)$$

Задаваясь законом изменения силы с расстоянием до расчётной точки, рассчитаем дополнительные силы с учётом их упругого распространения в конкретном грунте. Примем для примера: в глинистом грунте – по формуле (5):

$$q_z(r) = Q_z(0)/8 \times \exp(-0,3r), \quad (5)$$

в песчаном – по формуле (6):

$$q_z(r) = Q_z(0)/8 \times \exp(-0,5r), \quad (6)$$

где r – расстояние от точки приложения равнодействующей сил на периферии основания сваи в заданной ИГЭ до расчётной точки на периферии соседней сваи.

В нашем примере на рисунке 4 значения взяты по линии O_1O_2 для сечения по сваям №№ 1 и 2 для верхнего ИГЭ, по линии O_3O_4 – для второго и так далее для остальных ИГЭ, для которых эпюры не показаны. Линия C_1A_2 изображает эпюру дополнительных сил, действующих на сваю № 2 со стороны сваи № 1, а линия C_2A_1 – на сваю № 1 со стороны сваи № 2. Эпюра суммы этих сил между сваями №№ 1 и 2 показана линией B_1B_2 .

Аналогичные построения сделаны для сечений по сваям №№ 1 и 7, №№ 2 и 7. Остальные не отличаются от первых. Результаты расчётов сопротивлений свай ($P_1^{(0)}; P_2^{(0)}; P_7^{(0)}$) №№ 1, 2 и 7 с учётом дополнительных сил от действия соседних свай показаны на рисунке 6 одной линией, так как отдельные графики не различимы в выбранном масштабе. Второй линией представлены прогнозируемые сопротивления рабочих свай ($P_1^{(1y)}; P_2^{(1y)}; P_7^{(1y)}$), нагружаемых в течение года, в которых учтена релаксация сил сопротивления.

Так можно оценить, в первом приближении, «кустовой эффект» [4].

Поскольку сваи связаны между собой ростверком, то учёт релаксации сопротивления грунтов при взаимодействии свай приводит к общему снижению сопротивления всей группы свай в одном фундаменте, по сравнению с суммой сопротивлений одиночных свай/

Более детально различие сопротивлений разных свай можно увидеть на графиках их изменений (рисунок 7). В начале нагружения разность с сопротивлением одиночной сваи больше, чем в конце. Эти изменения зависят от того, какой ИГЭ играет определяющую роль в каждый момент испытания модельной сваи.

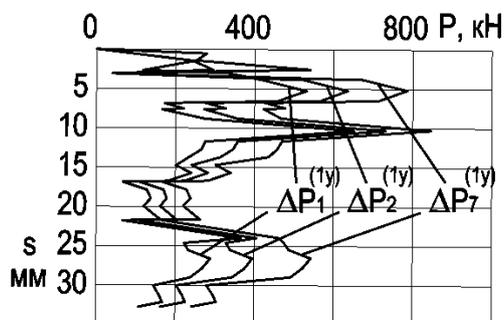


Рисунок 7 – Графики изменения сопротивлений угловой, крайней и внутренней свай ($P_1^{(1y)}$; $P_2^{(1y)}$; $P_7^{(1y)}$) в ходе нагружения в течение года, по сравнению с сопротивлением одиночной сваи

Различия между сопротивлениями разных свай уменьшаются, в целом, по мере увеличения осадки всего фундамента, – для разных свай по-разному, в зависимости от их положения в группе (рисунок 8). Расчёты показывают меньшее сопротивление внутренних свай, по сравнению с крайними, а крайних – с угловыми.

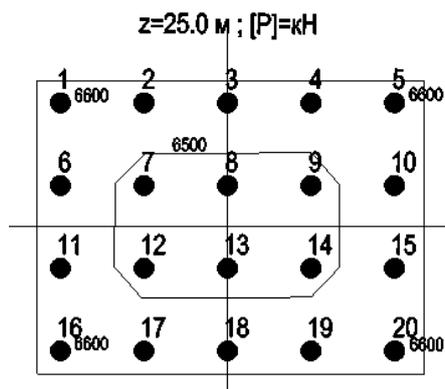


Рисунок 8 – Линии равных сопротивлений свай в уровне подошвы ростверка

Если сваи не связаны жёстким ростверком, то при одновременном нагружении они дадут разные осадки: крайние сваи больше угловых, а внутренние больше крайних (рисунок 9).

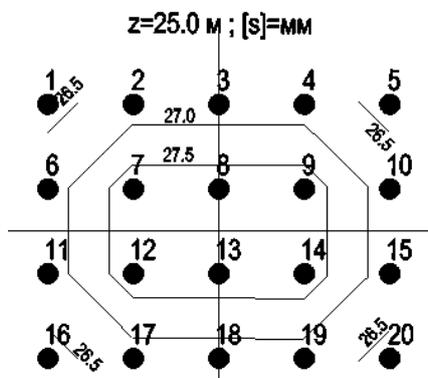


Рисунок 9 – Линии равных осадок отдельно стоящих свай после нагружения до одного значения вдавливающих сил

Аналогично рассматривается действие сил Q_y и V_y горизонтального направления. Они также убывают, по мере удаления от внешних границ пластических областей нагружаемой сваи. Вычисление сил $q_y = Q_y(r)/8$ позволяет оценить влияние нагружаемой сваи на ранее нагруженные сваи или другие конструкции.

Выводы

Расширенная схема предполагает упругое сопротивление грунта на большей части боковой поверхности буронабивной висячей сваи. Пластические деформации грунта развиваются от отдельных точек поверхности сваи вглубь массива и занимают в нём некоторые области, за пределами которых упругие напряжения обеспечивают равновесие основания сваи с грунтовым массивом. Эта схема позволяет определять сопротивление основания сваи в любой момент её нагружения до значения несущей способности, что и требуется для расчёта основания по деформациям.

Расширенная схема объясняет механизм взаимодействия свай в группе и причину резкого падения сопротивления при их сближении тем, что при малых расстояниях пластические области объединяются, а это приводит к частичным просадкам оснований смежных свай.

Расчёты по расширенной схеме предполагают большее число исходных данных, которые можно получить путём испытания модельной сваи методом ПВН в комплексе с измерением вертикальных перемещений глубинных марок и вертикальных деформаций грунта на контакте с боковой поверхностью сваи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев З.В. О распределении нагрузок крупнопанельного здания на свайный фундамент // Основания, фундаменты и подземные сооружения. Тр. 1-й науч. конф. Молодых специалистов (НИИОСП). М.: Стройиздат, 1967. С. 40-44.
2. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков В.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994. 384 с.
3. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. "Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design" State-of-the-Art Rep. Proc., 16th ICSMGE, Osaka, Japan, 2005. Vol. 1. Pp.177-213.
4. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В., Пономарев А.Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии. М.: Изд-во АСВ, 2015. 320 с.
5. Фиораванте В.Н., Ямиолковский М.Б. Физическое моделирование плитно-свайных фундаментов // Развитие городов и геотехническое строительство. 2006. № 10. С. 200-206.
6. Varaksin S., Hamidi B., Huybrechts N., Denies N. Ground Improvement vs. Pile Foundations, 3 International Symposium on Design of Piles in Europe. Leuven, Belgium, 28 - 29 April 2016.
7. Петрухин В.П., Безволев С.Г., Шулятьев О.А., Харичкин А.И. Эффект краевой сваи и его учет при расчете плитного ростверка // Развитие городов и геотехническое строительство. 2007. № 11. С. 90-97.
8. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements. ASIRI National Project. IREX's Soil Specialist Cluster.
9. СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты». М., 2011.
10. Боков И.А., Федоровский В.Г. Взаимовлияние свай через грунт: сравнение аналитических и численных оценок // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 26-30.
11. Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З., Сидоров В.В. Взаимодействие длинных свай с окружающим грунтом с учетом нелинейных и реологических свойств в условиях высотного строительства // 100+ Forum Russia 2019 - международный форум и выставка высотного и уникального строительства с 29 октября по 1 ноября 2019, Екатеринбург, 2019.
12. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Совершенствование технологии испытания буронабивной висячей сваи // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 6. С. 12-20.
13. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Исследования работы оснований буронабивных свай // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2019. № 7. С. 18-23.
14. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Сопротивление основания буронабивной висячей сваи внешней нагрузке // Строительство и реконструкция. 2020. № 5(91). С. 22-31.

15. Ляшенко П. А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Трение грунта на поверхности соприкосновения с бетоном сваи // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 1. С. 24-30.
16. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Учёт взаимодействия бетонных свай в основании фундамента // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 6. С. 27-33.
17. Устройство для измерения сдвиговых деформаций грунта относительно поверхности бетонной конструкции. Патент на изобретение РФ № 2733339, E02D 1/02 / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. // Изобретения. Полезные модели. 2020. № 28.
18. Способ испытания грунтов статическим зондированием. Патент на изобретение РФ № 2398210, G01N 3/42 / Денисенко В.В., Ляшенко П.А. // Изобретения. Полезные модели. 2010. № 24.
19. Способ испытания грунтового основания свай. Патент на изобретение РФ № 2745499, E02D 1/00 / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. // Изобретения. Полезные модели. 2021. № 9.
20. Мариничев М.Б., Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Ткачев И.Г. Особенности расчета и конструирования свайных фундаментов высотных зданий в сложных грунтовых условиях // Свайные фундаменты: тенденции, проблемы и перспективы развития. В сб.: Презентации и тезисы докладов II международной научно-практической конференции (Москва, 9-10 сентября 2020). М.: Международная ассоциация фундаментостроителей, 2020. С. 44-103.

REFERENCES

1. Babichev Z.V. On the distribution of loads of a large-panel building on a pile foundation // Foundations, foundations and underground structures. Tr. 1st scientific. conf. Young specialists (НИОСП). М.: Stroyizdat, 1967. Pp. 40-44.
2. Bartolomey A.A., Omelchak I.M., Yushkov V.S. Pile foundations settlement forecast. М.: Stroyizdat, 1994. 384 p.
3. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. "Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design" State-of-the-Art Rep. Proc., 16th ICSMGE, Osaka, Japan, 2005. Vol. 1. Pp. 177-213.
4. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenskiy V.V., Ponomarev A.B. Piles and pile foundations. Structures, design and technologies / М.: ASV Publishing House, 2015. 320 p.
5. Fioravante V.N., Yamiolkovsky M.B. Physical modeling of slab-pile foundations // Urban Development and Geotechnical Construction. 2006. № 10. Pp. 200-206.
6. Varaksin S., Hamidi B., Huybrechts N., Denies N. Ground Improvement vs. Pile Foundations, 3 International Symposium on Design of Piles in Europe. Leuven, Belgium, 28 - 29 April 2016.
7. Petrukhin V.P., Bezvolev S.G., Shulyat'ev O.A., Harichkin A.I. The effect of the edge pile and its consideration when calculating the slab grillage // Urban Development and Geotechnical Construction. 2007. № 11. Pp. 90-97.
8. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements. ASIRI National Project. IREX's Soil Specialist Cluster.
9. SP 24.13330.2011 «SNiP 2.02.03-85 Pile foundations». М., 2011.
10. Bokov I.A., Fedorovsky V.G. Interaction of piles through the soil: comparison of analytical and numerical estimates // Industrial and civil construction. 2016. № 10. Pp. 26-30.
11. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Interaction of long piles with surrounding soil taking into account nonlinear and rheological properties in high-rise construction conditions // 100+ Forum Russia 2019 - international forum and exhibition of high-rise and unique construction from October 29 to November 1, 2019, Yekaterinburg, 2019.
12. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Improvement of testing technology for bored hanging piles // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 6. Pp. 12-20.
13. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Research of the work of the foundations of bored piles // Construction: new technologies - new equipment. 2019. № 7. Pp. 18-23.
14. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Resistance of the foundation of a bored hanging pile to external load // Construction and reconstruction. 2020. № 5 (91). Pp. 22-31.
15. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Friction of soil on the surface of contact with concrete of the pile // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 1. Pp. 24-30.
16. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Accounting for the interaction of concrete piles at the base of the foundation // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 6. Pp. 27-33.
17. Device for measuring shear deformations of the soil relative to the surface of the concrete structure. Patent for invention of the Russian Federation № 2733339, E02D 1/02 / Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. // Inventions. Utility Models. 2020. № 28.
18. Method of testing soils by static sounding. Patent for invention of the Russian Federation № 2398210, G01N 3/42 / Denisenko V.V., Lyashenko P.A. // Inventions. Utility Models. 2010. № 24.

19. Method for testing the soil base with piles. Patent for invention of the Russian Federation № 2745499, E02D 1// Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. // Inventions. Utility Models. 2021. № 9.
20. Marinichev M.B., Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Tkachev I.G. Features of the calculation and design of pile foundations of high-rise buildings in difficult soil conditions // Pile foundations: trends, problems and development prospects. In Sat: Presentations and Abstracts of the II International Scientific and Practical Conference (Moscow, September 9-10, 2020). M.: International Association of Foundation Builders, 2020. Pp. 44-103.

Информация об авторах:

Ляшенко Павел Алексеевич

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.

E-mail: lyseich1@yandex.ru

Денисенко Виктор Викторович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры кадастра и геоинженерии.

E-mail: denvivi@yandex.ru

Мариничев Максим Борисович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.

E-mail: marinichev@list.ru

Information about authors:

Lyashenko Pavel A.I.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.

E-mail: lyseich1@yandex.ru

Denisenko Viktor V.

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of cadastre and geoengineering.

E-mail: denvivi@yandex.ru

Marinichev Maxim B.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.

E-mail: marinichev@list.ru