



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 1, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.1.06

УДК 624.154.5

МЕТОД РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНОК БУРОВОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ УСТРОЙСТВЕ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

Д.В. Попов, Е.В. Савинова

Академия строительства и архитектуры, Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 08 декабря 2019
Принята: 27 января 2020
Опубликована: 27 марта 2020

Ключевые слова:

буровая скважина, буронабивные сваи, возведение фундаментов, грунтовый элемент, поверхность скольжения грунта, обрушение грунта, потеря устойчивости стенок грунта, забой скважины, характеристики грунта, напряжения.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена принципиально новая методика расчета устойчивости стенок буровой скважины при изготовлении фундаментов с применением буронабивных свай. Фундаменты такого вида находят все большее применение в строительной практике в связи с растущей и уплотняющейся застройкой не только гражданских зданий, но и реконструируемых производств. Возникает необходимость более детального рассмотрения внешних факторов (в зоне грунтовых массивов), оказывающих воздействие на устойчивость стенок буровой скважины в толще грунта. По мнению авторов, методика устанавливает зависимость между геометрическими параметрами буровой скважины, к которым относятся глубина скважины и ее постоянный диаметр на всем протяжении, и физико-механическими характеристиками грунта (удельный вес, угол внутреннего трения и модуль деформации) площадки строительства. Предлагаемая методика расчета позволяет еще на стадии проектирования определять необходимость назначения дополнительных мероприятий по защите стенок скважин от обрушения при устройстве буронабивных свай. К дополнительным мероприятиям принято относить применение буровых растворов, использование обсадных труб и пр. Необходимость назначения указанных мероприятий влечет за собой появление значительной экономической составляющей в конечной стоимости объекта. Современные реалии при выполнении проектных работ требуют детального обоснования принятых решений с целью снижения материалоемкости и трудоемкости, в конечном счете стоимости объектов. По результатам проделанной работы в ходе математического эксперимента необходимая зависимость авторами установлена. Буровая скважина будет сохранять свою геометрическую неизменяемость в случае, когда напряжения в грунте будут меньше жесткости выделенного для построения математического эксперимента грунтового элемента.

© ПНИПУ

© Попов Дмитрий Валериевич – кандидат технических наук, orcid.org/0000-0002-3920-3919, e-mail: popov38@yandex.ru.
Савинова Елена Владимировна – старший преподаватель, orcid.org/0000-0001-7155-2281, e-mail: slenax@yandex.ru.

Dmitry V. Popov – Ph.D. in Technical Sciences, orcid.org/0000-0002-3920-3919, e-mail: popov38@yandex.ru.
Elena V. Savinova – Senior Lecturer, orcid.org/0000-0001-7155-2281, e-mail: slenax@yandex.ru.

METHOD FOR CALCULATING THE STABILITY OF THE WALLS OF A DRILLING WELL WHEN INSTALLING BORED PILES

D.V. Popov, E.V. Savinova

Academy of Architecture and Civil Engineering, Samara State Technical University, Samara,
Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 08 December 2019
Accepted: 27 January 2020
Published: 27 March 2020

Keywords:

is a borehole, bored piles, construction of foundations, earth element, the sliding surface of the soil, soil collapse, buckling walls, the soil, the bottom of the well, the characteristics of the soil, tension.

ABSTRACT

In this article, the authors aim to consider a fundamentally new methodology for calculating the stability of the walls of a borehole in the manufacture of foundations using bored piles. This kind of foundations is increasingly used in construction practice in connection with the growing and compacting development of not only civil buildings, but also of reconstructed industries. There is a need for a more detailed consideration of external factors (in the area of soil massifs) that affect the stability of the walls of the borehole in the thickness of the soil. According to the authors, the technique establishes a relationship between the geometric parameters of the borehole, which include the depth of the borehole and its constant diameter throughout, and the physical and mechanical characteristics of the soil (specific gravity, angle of internal friction, and deformation modulus) of the construction site. The proposed calculation method allows us to determine at the design stage the need for additional measures to protect the walls of the wells from collapse when installing bored piles. Additional measures include the use of drilling fluids, the use of casing pipes and more. The need for the appointment of these measures entails the emergence of a significant economic component in the final cost of the object. When carrying out design work, modern realities require a detailed justification of the decisions made in order to reduce material consumption and labor intensity, and ultimately the cost of the facilities. According to the results of the work done in the course of the mathematical experiment, the necessary dependence was established by the authors of the article. The borehole will maintain its geometric immutability in the case when the stress in the soil is less than the rigidity of the soil element allocated for the construction of a mathematical experiment.

© PNRPU

При возведении конструкций фундаментов, изготавливаемых с применением буронабивных свай, наиболее важным параметром является геометрическая точность между сваями, принятой в проектной документации, и сваями, фактически изготовленной на строительной площадке [1–4]. На изменяемость геометрии будущего тела сваи после выполнения буровых работ может повлиять такой фактор, как потеря устойчивости стенки скважины, что приведет к обрушению грунта в забой скважины [5, 6]. Следует отметить, что при бурении глубоких скважин проблематично визуально отследить обрушение их стенок. Обрушение грунта в скважине приведет к уменьшению длины сваи и увеличению ее диаметра. При этом, как известно, уменьшение длины скважины, а также разуплотненный грунт в забое при устройстве сваи приведет к снижению ее несущей способности. В свою очередь увеличение диаметра скважины может привести к уменьшению расстояния в свету между будущими сваями до величин, которые будут меньше принятых в нормативно-технической документации [7–14]. Предлагаемая методика расчета позволяет рассчитывать на устойчивость стенок буровой скважины различных диаметров и глубин и тем самым прогнозировать ее геометрическую неизменяемость при устройстве буронабивных свай.

Напряжения σ , возникающие в массиве грунта, окружающего скважину, можно определить как давление грунта на подпорную стену (рисунок) при допущении плоской поверхности скольжения по формуле [15–17]:

$$\sigma = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2), \quad (1)$$

где γ – удельный вес грунта, кН/м³; z – глубина рассматриваемой точки от планировочной отметки грунта, м; φ – угол внутреннего трения, град.

Для упрощения дальнейшего расчета, согласно рис. 1, из массива грунта выделим грунтовой элемент, имеющий форму трубы, длиной 1 метр погонной длины. Толщину стенки грунтовой трубы h примем как разность между радиусом буровой скважины r_b и минимальным наружным радиусом r_n , образованным поверхностью скольжения грунта в самой нижней точке грунтового элемента, который можно вычислить по следующей формуле:

$$r_n = \operatorname{tg} \alpha \cdot z = \operatorname{tg} (45^\circ - \varphi/2) \cdot z, \quad (2)$$

где α – угол наклона к вертикали поверхности скольжения, град; z – расстояние от планировочной отметки грунта до нижней отметки грунтового элемента м; φ – угол внутреннего трения грунта, град.

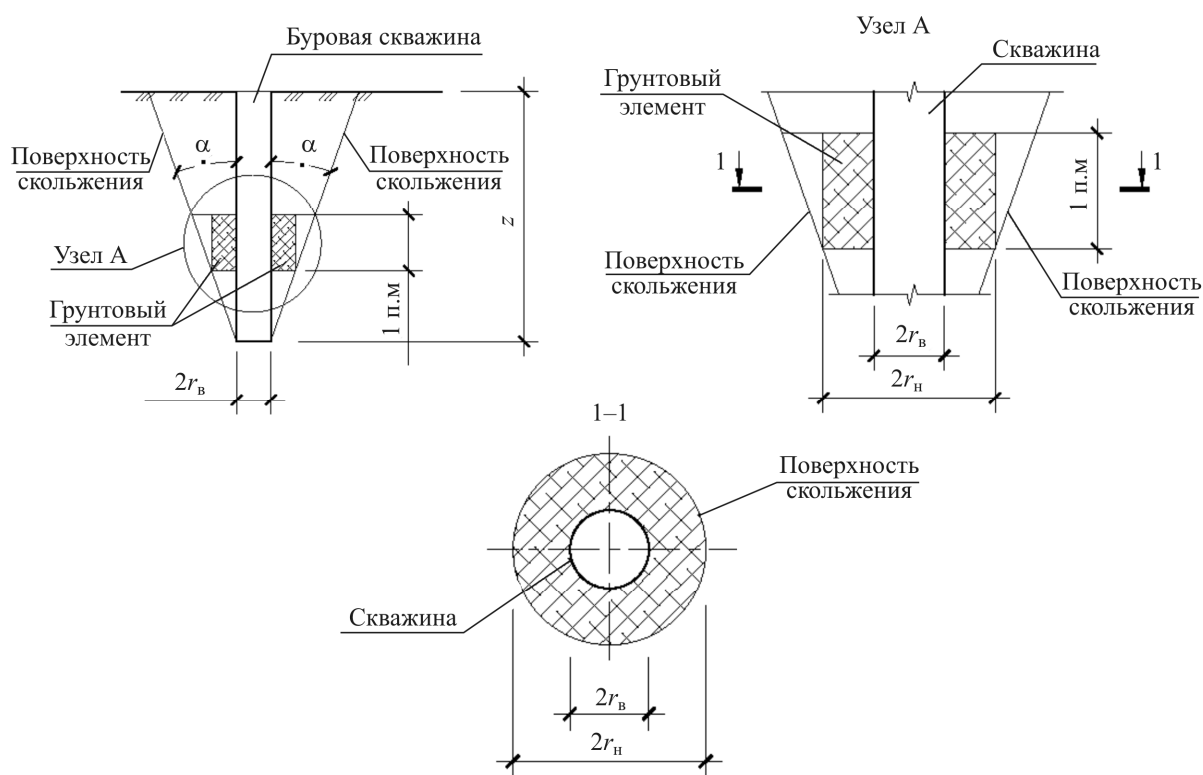


Рис. Расчетная схема для определения размеров грунтового элемента
 Fig. Design scheme for determining the size of the soil element

В процессе бурения в массиве грунта, окружающего скважину, будут расти напряжения, и на определенном этапе стенки скважины потеряют устойчивость и произойдет ее обрушение. В численном значении обрушение произойдет в тот момент, когда напряжения в окружающем массиве грунта превысят жесткость кольца поперечного сечения S грунтового элемента, которую можно вычислить по следующей формуле:

$$S = E \cdot J / D_{cp}^3, \quad (3)$$

где E – модуль деформации грунта, кПа; D_{cp} – средний диаметр кольца, м; J – момент инерции площади поперечного сечения грунтового кольца на 1 метр погонной длины, м⁴/м, определяемый по формуле

$$J = h^3/12, \quad (4)$$

где h – толщина стенки грунтового элемента, м.

Средний диаметр кольца D_{cp} вычисляем по формуле

$$D_{cp} = (r_b + h/2) \cdot 2. \quad (5)$$

Согласно приведенному выше расчету можно сделать вывод о том, что если напряжения в грунтовой толще вокруг скважины численно не превысят значения жесткости кольца поперечного сечения грунтового элемента, то стенки буровой скважины будут сохранять устойчивость и, соответственно, выполнение буровых работ можно вести без дополнительных мероприятий по сохранению целостности геометрии скважины. Данный вывод представим условием

$$\sigma < S. \quad (6)$$

Выводы

По приведенной выше методике расчета устойчивости стенок буровой скважины был проведен математический эксперимент, по результатам которого была установлена зависимость между геометрическими параметрами скважины (глубина и диаметр) и физико-механическими характеристиками грунта (удельный вес, угол внутреннего трения и модуль деформации). В настоящее время проводятся натурные эксперименты, которые подтверждают вышеприведенные положения.

Библиографический список

1. Ponomarev A.B., Sychkina E.N. On the Stress-Strain State and Load-Bearing Strength of Argillite-Like Clays and Sandstones // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2018. – № 3 (55). – С. 141–145. DOI: 10.1007/s11204-018-9517-1
2. Tretyakova O.V., Yushkov B.S. Inverted-Cone Piles for Transport Constructions in Seasonally Freezing Soils // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2017. – № 3 (54). – С. 173–176. DOI: 10.1007/s11204-017-9453-5
3. Калганова М.Ю. Технология изготовления буронабивных свай // Стимулирование инновационного развития общества в стратегическом периоде: сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 12 июня 2018 г. / Агентство междунар. исслед. – Стерлитамак, 2018. – С. 103–106.
4. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии / Р.А. Мангушев, В.В. Знаменский, А.Л. Готман, А.Б. Пономарев. – 2-е изд. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 320 с.
5. Леонтьев А.И., Исаев В.И., Мальцев А.В. Разработка эффективного способа повышения несущей способности буронабивной сваи // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 73-й Всерос. науч.-техн. конф. по итогам НИР. – Самара: СГАСУ, 2016. – С. 206–210.
6. Леонтьев А.И., Мальцев А.В., Исаев В.И. Оценка несущей способности буронабивных свай с нижним опорным уширением по результатам физического эксперимента на моделях в лотке // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сб. ст. / Самар. гос. техн. ун-т. – Самара, 2017. – С. 307–310.

7. Олгун М., Фидан Б., Енгинар Я. Модельные исследования бокового давления грунта на буровые сваи в сухих и водонасыщенных песках // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 4. – С. 29.

8. Оценка несущей способности буровой сваи для строительства высотного здания с развитым подземным пространством / А.И. Осокин, В.В. Конюшков, И.П. Дьяконов, В.Ч. Ле // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 4 (75). – С. 58–67.

9. Ляшенко П.А., Шмидт О.А. Анализ результатов испытаний натуральных буровых свай статической нагрузкой в глинистых грунтах // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам IX Всерос. конф. молодых ученых. – 2016. – С. 824–825.

10. Борозенец Л.М., Ушакова Е.А. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности основания буровых свай // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 5–10.

11. Марченко К.И., Башмакова А.Н., Калашник Ж.В. К вопросу о влиянии зон максимальных боковых горных давлений на устойчивость стенок скважин астраханского ГКМ // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. – № 3 (54). – С. 150–153.

12. Гайдаров М. М-Р., Бельский Д.Г. Устойчивость глинистых пород при строительстве скважин: обзорная информация. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – 100 с.

11. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.

12. Соколов Н.С. Выбор типа буровых свай по технико-экономическим параметрам // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы IV Междунар. (X Всерос.) конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та им. И.Н. Ульянова, 2018. – С. 430–438.

13. Цытович Н.А. Механика грунтов: Полный курс. – 5-е изд. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 640 с.

14. Мангушев Р.А., Усманов Р.А. Механика грунтов. Решение практических задач: учеб. пособие для среднего профессионального образования. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 109 с.

15. Спрыжков А.М. Особенности расчета подпорных стен и буронабивных свай // Строительный вестник Российской инженерной академии: тр. секции «Строительство». – 2009. – Вып. 10. – С. 201.

References

1. Ponomarev A.B., Sychkina E.N. On the stress-strain state and load-bearing strength of argillite-like clays and sandstones. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2018, no. 3(55), pp. 141–145. DOI:10.1007/s11204-018-9517-1.

2. Tretyakova O.V., Yushkov B.S. Inverted-cone piles for transport constructions in seasonally freezing soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2017, no. 3(54), pp. 173–176. DOI:10.1007/s11204-017-9453-5.

3. Kalganova M.Yu. Tekhnologiya izgotovleniya buronabivnykh svay [Manufacturing technology of bored piles]. *Stimulirovaniye innovatsionnogo razvitiya obshchestva v strategicheskoy periode sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2018, pp. 103-106.

4. Mangushev R.A., Znamenskiy V.V., Gotman A.L., Ponomarev A.B. Svai i svaynyye fundamenty. Konstruktsii, proyektirovaniye i tekhnologii [Piles and pile foundations. Constructions, design and technology]. 2nd ed. Moscow, ASV, 2018, 320 p.

5. Leont'yev A.I., Isayev V. I., Mal'tsev A.V. Razrabotka effektivnogo sposoba povysheniya nesushchey sposobnosti buronabivnoy svai [Development of an effective way to increase the bearing capacity of a bored pile]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture: materialy 73-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam NIR /SGASU*. Samara, 2016, pp. 206-210.

6. Leont'yev A.I., Mal'tsev A.V., Isayev V.I. Otsenka nesushchey sposobnosti vibronabivnykh svay s nizhnim opornym ushireniyem po rezul'tatam fizicheskogo eksperimenta na modelyakh v lotke [Assessment of the bearing capacity of vibro-piles with lower support broadening based on the results of a physical experiment on models in the tray]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Sbornik statey. Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet*. Samara, 2017, pp. 307-310

7. Olgun M., Fidan B., Yenginar YA. Model'nyye issledovaniya bokovogo davleniya grunta na burovyeye svai v sukhikh i vodonasyshchennykh peskakh [Model studies of lateral soil pressure on drilling piles in dry and water-saturated sands]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2019, no. 4, p. 29.

8. Osokin A.I., Konyushkov V.V., D'yakonov I.P., Le V.CH. Otsenka nesushchey sposobnosti burovoy svai dlya stroitel'stva vysotnogo zdaniya s razvitym podzemnym prostranstvom [Assessment of the bearing capacity of a drill pile for the construction of a high-rise building with a developed underground space]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2019, no. 4 (75), pp. 58-67.

9. Lyashenko P.A., Shmidt O.A. Analiz rezul'tatov ispytaniy naturnykh urovnykh svay staticheskoy nagruzkoy v glinistykh gruntakh [Analysis of test results of full-scale drilling piles with static load in clay soils]. *Nauchnoye obespecheniye agropromyshlennogo kompleksa Sbornik statey po materialam IX Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh*, 2016, pp. 824-825.

10. Borozenets L.M., Ushakova Ye.A. Eksperimental'no-teoreticheskoye issledovaniye nesushchey sposobnosti osnovaniya burovykh svay [An experimental-theoretical study of the bearing capacity of the foundation of drilling piles]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 5-10.

11. Marchenko K.I., Bashmakova A.N., Kalashnik ZH.V.K voprosu o vliyaniy zon maksimal'nykh bokovykh gornykh davleniy na ustoychivost' stenok skvazhin astrakhanskogo GKM [To the question of the influence of zones of maximum lateral mountain pressure on the stability of the walls of the wells of the Astrakhan gas condensate field]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, 2014, no. 3 (54), pp. 150-153.

12. Gaydarov M.M-R., Bel'skiy D.G. Ustoychivost' glinistykh porod pristroitel'stve skvazhin: obzornaya informatsiya [Stability of clay rocks during well construction: overview]. Moscow, Gazprom VNIIGAZ, 2014, 100 p.

13. Bartolomey A.A., Omel'chak I.M., Yushkov B.S. Prognoz osadok svaynykh fundamentov [Pile foundation settlement forecast]. Moscow, Stroyizdat, 1994, 384 p.

14. Sokolov N.S. Vybora tipa burovykh svay po tekhniko-ekonomicheskim parametram [The choice of the type of drilling piles according to technical and economic parameters]. *Novoye v arkhitekture, proyektirovaniy stroitel'nykh konstruksiy i rekonstruksii. Materialy IV Mezhdunarodnoy (X Vserossiyskoy) konferentsii*, 2018, pp. 430-438.

15. Tsytoich N.A. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. 5th ed. Moscow, LENAND, 2014, 640 p.

16. Mangushev R.A., Usmanov R.A. Mekhanika gruntov. Resheniye prakticheskikh zadach [Soil mechanics. The solution of practical problems]. 2nd ed. Moscow, Yurayt, 2019, 109 p.

17. Spryzhkov A.M. Osobennosti raschota podpornykh sten i buronabivnykh svay [Features of calculation of retaining walls and bored piles]. *Stroitel'nyy vestnik Rossiyskoy inzhenernoy akademii: trudy seksii Stroitel'stvo*, 2009, iss.10, p. 201.