

# Основания и фундаменты, подземные сооружения

УДК 624.154.5

DOI: 10.14529/build200204

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЁТУ НА ПРОЧНОСТЬ ОБСАДНОЙ ТРУБЫ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИНЫ ПОД УСТРОЙСТВО БУРОНАБИВНОЙ СВАИ

**Д.В. Попов, Е.В. Савинова**

*Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия*

Современная городская застройка и территории существующих промышленных объектов все чаще диктуют свои условия для реализации новых проектных решений. Плотность уже построенных объектов запрещает применять ранее часто используемые забивные сваи, но в силу малой несущей способности грунтов основания приходится применять решения с использованием буронабивных свай. Предлагается новая методика расчёта на прочность обсадной трубы при бурении скважины в структурно неустойчивых грунтах при устройстве буронабивных свай. Данная методика расчёта позволяет на стадии проектирования рассчитать стенки буровой скважины на устойчивость, определить обжимающее давление стенок скважины, передаваемое на внешнюю поверхность обсадной трубы, и подобрать её сечение по разным видам материала изготовления. Конечной целью является снижение затрат на устройство фундаментов с помощью буронабивных свай за счет снижения материалоемкости конструкции.

*Ключевые слова:* обсадная труба, буронабивная свая, бурение скважины, массив грунта, стенки скважины, поверхность скольжения грунта, нормальные напряжения, потеря устойчивости стенок грунта.

В современном строительстве возведение зданий или сооружений на слабых глинистых основаниях редко обходится без применения буронабивных свай. Основной проблемой при устройстве буронабивной сваи является устойчивость стенки буровой скважины [1–6]. На сегодняшний день для неизменяемости геометрии скважины широко используется метод бурения под защитой обсадной стальной трубы [7, 8], в этом случае стенки скважины передают давление на внешнюю поверхность трубы, прочность которой и обеспечивает геометрическую неизменяемость скважины. При этом следует отметить, что в настоящее время отсутствует методика расчёта по определению давления стенок скважины на внешнюю поверхность обсадной трубы и соответственно геометрические параметры стальной обсадной трубы не рассчитывались, а назначались конструктивно. Предлагаемая методика расчёта позволяет не только определить давление стенок скважины на внешнюю поверхность обсадной трубы, но и вычислить необходимые её геометрические параметры, которые обеспечат геометрическую неизменяемость буровой скважины.

Напряжение в массиве грунта вокруг скважины  $\sigma$  можно определить как давление грунта на подпорную стену (см. рисунок) при допущении плоской поверхности скольжения [9], по формуле:

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

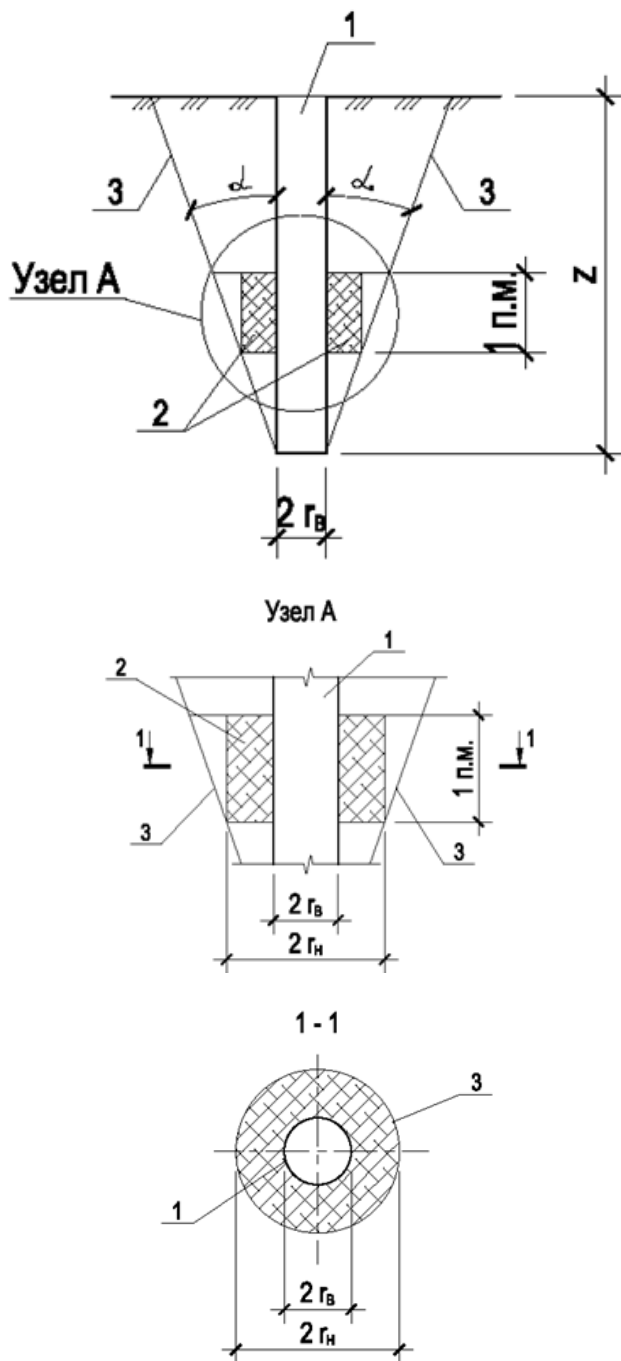
где  $\gamma$  – удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>;  $z$  – глубина рассматриваемой точки от планировочной отметки грунта, м;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, град.

Для упрощения дальнейшего расчёта, согласно рисунку, из массива грунта выделим грунтовый элемент, имеющий форму трубы, длиной  $l$  п. м. Толщина стенки грунтовой трубы  $h$  примем как разность между радиусом буровой скважины  $r_e$  и минимальным наружным радиусом  $r_n$ , образованной поверхностью скольжения грунта в самой нижней точке грунтового элемента, который можно вычислить по следующей формуле:

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

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

В процессе бурения в массиве грунта, окружающего скважину, будут расти напряжения и на определённом этапе стенки скважины потеряют устойчивость и произойдет обрушение скважины [10–12]. В численном значении обрушение произойдет в тот момент, когда напряжения в окружающем массиве грунта превысят жесткость коль-



Расчётная схема для определения размеров грунтового элемента:  
 1 – буровая скважина; 2 – грунтовый элемент; 3 – поверхность скольжения

ца, поперечного сечения грунтового элемента, которую можно вычислить по следующей формуле:

$$S = \frac{EJ}{D_{cp}^3}, \tag{3}$$

где  $E$  – модуль деформации грунта, кПа;  $D_{cp}$  – средний диаметр кольца, м;  $J$  – момент инерции площади поперечного сечения грунтового кольца на 1 п. м. длины,  $m^4/m$ , определяют по формуле

$$J = \frac{h^3}{12}, \tag{4}$$

где  $h$  – толщина стенки грунтового элемента, м.

Средний диаметр кольца  $D_{cp}$  определяем по формуле

$$D_{cp} = (r_v + \frac{h}{2}) \cdot 2. \tag{5}$$

Если в процессе расчета на устойчивость стенок буровой скважины выполняется условие неравенства  $\sigma > S$ , то бурение скважины необходимо вести под защитой обсадной трубы.

Согласно задаче Ламе максимальные нормальные напряжения  $\sigma_r$ , при нагрузке обсадной

трубы внешним давлением  $\sigma$ , определяемым по формуле (1), возникают на внутренней поверхности её стенки и определяются по формуле

$$\sigma_r = \sigma \frac{2 \cdot r_n^2}{r_n^2 - r_b^2}, \quad (6)$$

где  $\sigma$  – давление грунта на наружную поверхность обсадной трубы, кПа;  $r_n$  – наружный радиус обсадной трубы, м;  $r_b$  – внутренний радиус обсадной трубы, м.

По мере увеличения глубины скважины в процессе бурения в окружающем её массиве грунта будут расти напряжения [4, 13–14] и, соответственно, будет расти давление на внешнюю поверхность обсадной трубы. В этом случае следует подобрать толщину стенки обсадной трубы таким образом, чтобы внешнее давление было численно меньше жесткости кольца поперечного сечения обсадной трубы, которая вычисляется по формуле

$$S = \frac{EJ}{D_{cp}^3}, \quad (7)$$

где  $E$  – модуль деформации материала обсадной трубы, кПа;  $J$  – момент инерции площади поперечного сечения кольца обсадной трубы на единицу длины, м<sup>4</sup>/м, определяют по формуле

$$J = \frac{t^3}{12}, \quad (8)$$

где  $t$  – толщина стенки обсадной трубы, м.

$D_{cp}$  – средний диаметр кольца обсадной трубы, определяем по формуле

$$D_{cp} = \left( r_b + \frac{h}{2} \right) \cdot 2. \quad (9)$$

При выполнении условия неравенства (10) скважина, защищённая обсадной трубой, будет сохранять свою геометрическую неизменяемость, что позволит устроить буронабивную сваю по тем геометрическим параметрам, которые были заложены в проектной документации:

$$G_r < S. \quad (10)$$

### Выводы

По описанной выше методике расчёта на прочность обсадной трубы, применяемой для защиты стенок скважины от обрушения в процессе бурения в структурно неустойчивых грунтах, был проведён математический эксперимент, который подтверждает зависимости между геометрическими параметрами скважины (глубина и диаметр) с физико-механическими характеристиками грунта (удельный вес, угол внутреннего трения и модуль деформации) и геометрическими параметрами обсадной трубы (диаметр и толщина стенки) с модулем деформации материала, из которого выполняется обсадная труба. В настоящее время проводятся натурные эксперименты, которые подтверждают выше приведённые положения.

### Литература

1. Цытович, Н.А. *Механика грунтов: полный курс. Изд. 5-е / Н.А. Цытович.* – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 640 с.
2. Волосухин, В.А. *Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений / В.А. Волосухин, В.П. Дыба, С.И. Евтушенко.* – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 96 с.
3. Мангушев, Р.А. *Механика грунтов. Решение практических задач: учебное пособие для среднего профессионального образования / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов.* – 2-е изд., испр. И доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2019. – 109 с.
4. Попов, В.П. *Конструкция и технология устройства уширенной пяты свай фундаментов гидротехнических сооружений / В.П. Попов, Д.В. Попов, А.Ю. Давиденко // Научное обозрение.* – 2015. – № 7 (428).
5. Косоруков, И.И. *Проектирование и устройство свайных фундаментов: набивные сваи в скважинах, образованных без выемки грунта, 1974 / И.И. Косоруков.* – <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-45/16.htm> (дата обращения: 09.01.2018).
6. Попов, В.П. *Безотходная технология устройства свайных фундаментов гидротехнических сооружений и их конструктивное решение / В.П. Попов, Д.В. Попов, А.Ю. Давиденко // Научное обозрение.* – 2015. – № 3. – С. 127–130.
7. Мецкер, К.А. *Оценка влияния параметров системы «основание-фундамент» на распределение напряжений в грунтовом массиве под действием равномерно распределенной полосовой нагрузки / К.А. Мецкер, А.В. Мальцев // Студенческая наука. Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды: тезисы докладов 35-й межвузовской студенческой научно-технической конференции по итогам научно-исследовательской работы студентов.* – Самара: СГАСУ, 2016. – С. 328.
8. Заяц, О.В. *Исследование напряжённо-деформированного состояния системы «основание – сооружение» на основе численного моделирования / О.В. Заяц, А.В. Мальцев // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 71-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР.* – Самара: СГАСУ, 2014. – С. 903–906.
9. Спрыжков, А.М. *Особенности расчёта подпорных стен и буронабивных свай / А.М. Спрыжков // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство».* – 2009. – Вып. 10. – С. 201.
10. Леонтьев, А.И. *Оценка несущей способности вибронабивных свай с нижним опорным уширением по результатам физического эксперимента на моделях в лотке / А.И. Леонтьев, А.В. Мальцев, В.И. Исаев // Традиции и инновации в строи-*

тельстве и архитектуре: сб. ст. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – С. 307–310.

11. Леонтьев, А.И. Повышение несущей способности буронабивных свай путём подачи бетонной смеси под избыточным давлением и её вибрирования / А.И. Леонтьев, А.В. Мальцев // XLII Самарская областная СНК. Ч. 1: тез. докл. – Самара, 2016. – С. 91–92.

12. Леонтьев, А.И. Разработка эффективного способа повышения несущей способности буронабивной сваи / А.И. Леонтьев, В.И. Исаев, А.В. Мальцев // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 73-й Всерос. науч.-техн. конф. по итогам НИР. – Самара: СГАСУ, 2016. – С. 206–210.

13. Мальцев, А.В. Эффективные технологии устройства буронабивных свай / А.В. Мальцев, Ю.И. Юрченко, Д.Г. Скопинцев // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 62-й Всероссийск. науч.-техн. конф. по итогам НИР. – Самара: СГАСУ, 2005. – Ч. II. – С. 443–445.

14. Скопинцев, Д.Г. Повышение несущей способности буронабивных свай путем цементации околосвайного пространства / Д.Г. Скопинцев // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 62-й Всерос. науч.-техн. конф. – Самара: СГАСУ, 2005. – Ч. II. – С. 446–448.

**Попов Дмитрий Валериевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, Самарский государственный технический университет (Самара), popov38@yandex.ru

**Савинова Елена Владимировна**, старший преподаватель кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, Самарский государственный технический университет (Самара), slenax@yandex.ru

Поступила в редакцию 4 февраля 2020 г.

DOI: 10.14529/build200204

## BASIC METHODOLOGICAL PROVISIONS ON STRENGTH CALCULATION FOR CASING PIPE WHEN DRILLING A WELL FOR ARRANGEMENT OF BORED PILING

*D. V. Popov, popov38@yandex.ru*

*E. V. Savinova, slenax@yandex.ru*

*Samara State Technical University, Samara, Russian Federation*

Modern urban development and the territories of existing industrial facilities are increasingly dictating their terms for the implementation of new design solutions. The density of constructed objects prohibits the application of frequently used driven piles, but due to the low bearing capacity of the base soils, it is necessary to apply solutions using bored piles. A new method for calculating the strength of a casing pipe while drilling a well in structurally unstable soils when installing bored piles is proposed. This calculation method allows to calculate the borehole wall for stability at the design stage, determine the squeezing pressure of the borehole walls transferred to the outer surface of the casing, and select its cross section for different types of manufacturing material. The ultimate goal is to reduce the cost of building foundations using bored piles by reducing the material consumption of the structure.

*Keywords: casing pipe, bored pile, well drilling, soil mass, well walls, soil slip surface, normal stresses, loss of stability of soil walls.*

### References

1. Tsytoovich N. A. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics]. Moscow, LENAND Publ., 2014. 640 p.
2. Volosukhin V.A., Dyba V.P., Evtushenko S.I. *Raschet i proyektirovaniye podpornykh sten gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Calculation and Design of Retaining Walls of Hydraulic Structures]. Moscow, ASV Publ., 2008. 96 p.
3. Mangushev R. A., Usmanov R. A. *Mekhanika gruntov. Resheniye prakticheskikh zadach: uchebnoye posobiye dlya srednego professional'nogo obrazovaniya* [Soil mechanics. The solution of practical problems]. Moscow, Izdatel'stvo Yurayt Publ., 2019. 109 p.

4. Popov V.P., Popov D.V., Davidenko A.Yu. [The Design and Technology of the Device Widened Heel Piles of Foundations of Hydraulic Structures]. *Nauchnoye obozreniye* [Scientific Review], 2015. no. 7 (428), pp. 162–164. (in Russ.)
5. Kosorukov I.I. *Proyektirovaniye i ustroystvo svaynykh fundamentov: nabivnyye svai v skvazhinakh, obrazovannykh bez vyyemki grunta* [Design and Construction of Pile Foundations: Rammed Piles in Wells Formed without Excavation], 1974. Available at: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-45/16.htm> (accessed: 09.01.2018).
6. Popov V.P., Popov D.V., Davidenko A.Yu. [Non-Waste Technology for the Construction of Pile Foundations of Hydraulic Structures and their Constructive Solution]. *Nauchnoye obozreniye* [Scientific Review], 2015, no. 3, pp. 127–130. (in Russ.)
7. Metsker K.A., Mal'tsev A.V. [Assessment of the Influence of the Parameters of the “Foundation – Foundation” System on the Stress Distribution in the Soil Mass under the Action of a Uniformly Distributed Band Load]. *Studencheskaya nauka. Issledovaniya v oblasti arkhitektury, stroitel'stva i okhrany okruzhayushchey sredy: tezisy dokladov 35-y mezhvuzovskoy studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skoy raboty studentov* [XI International Scientific and Practical Conference “Priority Directions for the Development of Science and Education”]. Cheboksary, Interaktiv plyus Publ., 2016. no. 4-1(11), pp. 76–77. (in Russ.). DOI: 10.21661/r-115289.
8. Zayats O.V., Mal'tsev A.V. [Investigation of the Stress-Strain State of the Base-Structure System Based on Numerical Modeling]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture: materialy 71-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam NIR* [Traditions and Innovations in Construction and Architecture: Materials of the 71st All-Russian Scientific and Technical Conference Following the Results of Research]. Samara, SGASU Publ., 2014. pp. 903–906. (in Russ.)
9. Spryzhkov A. M. [Features of the Calculation of Retaining Walls and Bored Piles]. *Stroitel'nyy vestnik Rossiyskoy inzhenernoy akademii: trudy seksii Stroitel'stvo* [Construction Bulletin of the Russian Engineering Academy: Proceedings of the Construction section], 2009, iss. 10. pp. 201. (in Russ.)
10. Leont'yev A.I., Mal'tsev A.V., Isayev V.I. [Evaluation of the Load-Bearing Capacity of Bored Piles with a 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* [Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Collected Papers.]. Samara, 2017, pp. 307–310. (in Russ.)
11. Leont'yev A.I., Mal'tsev A.V. [Increasing the Bearing Capacity of Bored Piles by Supplying Concrete Mixture under Excess Pressure and Vibrating It]. *XLII Samarskaya oblastnaya SNK. Tezisy dokladov* [XLII Samara Regional SNK. Abstracts]. Samara, 2016, part 1, pp. 91–92. (in Russ.)
12. Leont'yev A.I., Isayev V.I., Mal'tsev A.V. [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 Vseross. nauch.-tekhn. konf. po itogam NIR* [Traditions and Innovations in Construction and Architecture: materials of the 73rd All-Russian Scientific and Technical Conference According to the Results of Research]. Samara, SGASU Publ., 2016, pp. 206–210. (in Russ.)
13. Mal'tsev A.V., Yurchenko Yu.I., Skopintsev D.G. [Effective Bored Pile Technology]. *Aktual'nyye problemy v stroitel'stve i arkhitekture. Obrazovaniye. Nauka. Praktika: materialy 62-y Vseross. nauch.-tekhn. konf. po itogam NIR* [Actual Problems in Construction and Architecture. Education. The science. Practice: Materials 62 All-Russian. Scientific and Technical Conference According to the Results of Research]. Samara, SGASU Publ., 2005. Part II, pp. 443–445. (in Russ.)
14. Skopintsev D.G. [Increasing the Bearing Capacity of Bored Piles by Cementing Near-Pile Space]. *Aktual'nyye problemy v stroitel'stve i arkhitekture. Obrazovaniye. Nauka. Praktika: materialy 62-y Vseross. nauch.-tekhn.konf.* [Actual Problems in Construction and Architecture. Education. The science. Practice: Materials 62 All-Russian. Scientific and Technical Conference According to the Results of Research]. Samara, SGASU Publ., 2005, Part. II, pp. 446–448. (in Russ.)

*Received 4 February 2020*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Попов, Д.В. Основные методологические положения по расчёту на прочность обсадной трубы при бурении скважины под устройство буронабивной сваи / Д.В. Попов, Е.В. Савинова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 28–32. DOI: 10.14529/build200204

### FOR CITATION

Popov D.V., Savinova E.V. Basic Methodological Provisions on Strength Calculation for Casing Pipe when Drilling a Well for Arrangement of Bored Piling. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 2, pp. 28–32. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200204