

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2017, Том 4, №2 / 2017, Vol 4, No 2 <http://t-s.today/issues/vol4-no2.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/02TS217.pdf>

DOI: 10.15862/02TS217 (<http://dx.doi.org/10.15862/02TS217>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Уткин В.С. Расчет несущей способности буронабивных висячих свай и подбор длины сваи по коэффициенту запаса // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №2 (2017) <http://t-s.today/PDF/02TS217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/02TS217

For citation:

Utkin V.S. [Calculation of a load capacity of the bored friction piles and selection of pile length by a safety factor] Russian journal of transport engineering, 2017, Vol. 4, no. 2. Available at: <http://t-s.today/PDF/02TS217.pdf> (In Russ.) DOI: 10.15862/02TS217

УДК 624.154

Уткин Владимир Сергеевич¹

ФБГОУ ВО «Вологодский государственный университет», Россия, Вологда
Профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

Доктор технических наук

E-mail: UtkinVoGTU@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=458724

Расчет несущей способности буронабивных висячих свай и подбор длины сваи по коэффициенту запаса

Аннотация. Предложен новый подход в анализе работы буронабивных свай в грунте и на этой основе предложена новая методика подбора длины сваи в грунте основания фундамента. Вместо предельных сил трения покоя между сваем и грунтом рассматриваются силы трения-сцепления, вызываемые микроперемещениями (деформациями) свай относительно грунта основания. На этом подходе рассмотрена работа сваи в грунте под нагрузкой и методика определения длины сваи по условию неперевышения предельного состояния сваи в грунте основания. Длина сваи определяется значением коэффициентом запаса сваи по безопасности, который устанавливается из отношения предельной нагрузки на сваю к значению эксплуатационной нагрузки.

Ключевые слова: буронабивная свая; поверхностная сила; эксплуатационная нагрузка; деформация бетона; длина сваи; коэффициент запаса; несущая способность

С 2010 г. действует Закон РФ №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», которым предписывается обеспечение механической безопасности строительных конструкций. Мерой безопасности может служить значение предельной нагрузки, надежность, коэффициент запаса по тому или иному критерию работоспособности несущих элементов и объектов в целом.

Безопасность сооружений, в том числе транспортных в виде мостов, эстакад, жилых и производственных зданий прежде всего зависит от надежной (безопасной) работы оснований и фундаментов. Эти части сооружений постоянно наблюдаются, исследуются и совершенствуются как в части конструктивных решений, так и в части методов их испытаний

¹ 160012, г. Вологда, Советский пр-т, д. 116, кв. 62

[1] и расчета. Так в работе [1] представлена методика оценки несущей способности свай в зависимости от технологий их устройства. Показано, что не все действующие нормативные методики отвечают фактической работе грунта и других элементов конструкций. В частности, предлагаются методы по уточнению значений несущей способности свай и внедрения их в практику.

В [11] предложен метод отдельного учета сопротивления грунта под торцом стенки трубчатых свай и под торцом грунтового ядра в ее полости. Приводятся сравнение результатов расчетов по разработанному методу с результатами испытаний свай по определению их несущей способности.

В [3] исследовалась работа буронабивных свай в просадочных грунтах, выявлялось изменение напряженно-деформированного состояния в буронабивных сваях длиной до 28 метров. Исследовалось изменение напряжений в околосвайных грунтах. Интересные результаты представлены в работе [8] по анализу полевых исследований буроинъекционных свай с грунтом основания. Установлен радиус уплотненной зоны околосвайного грунтового массива, определены геометрические параметры уширений стволов свай. Разработан алгоритм расчета основных параметров буроинъекционных свай в условиях их статического нагружения.

В [9] приведены результаты испытаний и анализ работы буроинъекционных свай с многоступенчатыми уширениями. Показано, что благодаря многоступенчатым уширениям буроинъекционных свай можно повысить их несущую способность. Приводится теоретический расчет свай с многоступенчатыми уширениями. Приведены графики испытаний, уточненные расчетные формулы.

Все приведенные работы отличаются тем, что несущая способность свай по грунту определялась как сумма несущей способности по пяте и по боковой поверхности свай «после преодоления сил трения (срыва свай по боковой поверхности) нагрузку на себя принимает пята». Впервые отмечается, что «по мере увеличения нагрузки последовательно включаются в работу нижележащие уширения». Это замечание о работе свай в грунте будет использовано ниже в тексте статьи.

Для расчета несущей способности свай F_d используется формула из СП 24.133330.2011 «Свайные фундаменты», с добавлением работы уширений свай вида $F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + \gamma_{cR} \sum_{i=1}^n R_{i,бок} A_{j,бок} + u \sum_{i=1}^n \gamma_{ef} f_i h_i)$. Отметим, что в качестве предельного состояния работы свай в грунте в [5] использован «срыв свай». Допускать предельное состояние на стадии «срыва свай» нельзя, т. к. это событие предопределяет аварию, что недопустимо в конструкциях. В то время, как по всем нормативным документам предельное состояние допускается, но не допускается его превышение.

В [7] для определения напряженно-деформированного состояния грунта под концом и вокруг свай использовался программно-вычислительный комплекс на трехмерной модели применительно к оценке несущей способности существующих зданий.

Буронабивные сваи изготавливаются с предварительным бурением скважин сухим способом или под глинистым раствором. В скважину опускается арматурный каркас с последующей подачей бетона по трубам, начиная с низу скважины. За счет уплотнения бетона достигается хорошая связь бетона с грунтом основания. Предварительно делается расчет свай по первой и второй группам предельных состояний. Несущая способность свай при вертикальной сжимающей нагрузке определяется по формуле СП 24.13330.2011 «Свайные

фундаменты» вида $F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum_{i=1}^n \gamma_{ef} f_i h_i)$. Значения параметров в формуле приведены в СП. Обратим лишь внимание на то, что расчетное сопротивление грунта по боковой

поверхности сваи f_i определяется видом грунта и глубиной его залегания. С ростом глубины залегания слоя грунта в контакте со сваем f_i по СП возрастает. Расчет буронабивных висячих свай по их несущей способности грунта основания проводится по формуле $F_{эк} \leq F_d$, где $F_{эк}$ – эксплуатационная нагрузка, которая определяется сбором нагрузок на стадии проектирования и экспериментальным методом [6] на стадии эксплуатации строительного объекта. Предельная нагрузка F_d определяется по приведенной выше формуле.

В последнее время применение буронабивных свай возрастает. Технология их изготовления отработана и прошла проверку эксплуатации на практике. Однако расчет несущей способности сваи по грунту, приведенный в СП 24.13330.2011 и в ряде работ [8-10], по нашим результатам экспериментов на моделях, не соответствует действительной работе буронабивной висячей сваи. Так как это связано с безопасностью эксплуатации сооружений, то в свете Закона РФ №384-ФЗ проблема расчета буронабивной висячей сваи является актуальной. Нами предлагаются иные расчетные схемы работы сваи, представленные на рис. 1 и иные причины для возникновения сил трения-сцепления, а именно по причине микроперемещений (деформаций) материала сваи в грунте. Не будет деформации материала сваи не будет и сил трения-сцепления f_i между сваем и грунтом, т. е. $f_i = 0$. Нельзя рассматривать и включать в расчет несущей способности сваи значение f_i в момент «срыва сваи».

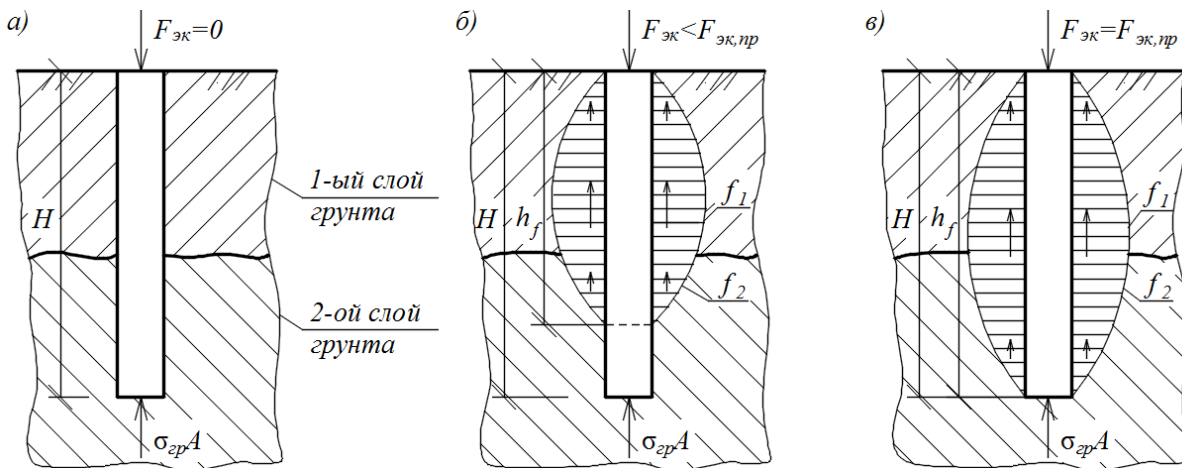


Рисунок 1. Расчетные схемы работы буронабивной сваи в грунте при различных значениях нагрузки $F_{эк}$ и одинаковой длине сваи

Figure 1. Calculation schemes for the work of a bored pile in the ground at the different values of the load F_{ec} and the equal length of the pile

На рис. 1а показано, что после возведения буронабивной сваи сила f_i при отсутствии нагрузки $F_{эк}$ равна нулю, а напряжение $\sigma_{сп}$ на нижнем конце сваи длиной H по [11] равно напряжению грунта на глубине конца сваи, т. е. $\sigma_{сп} = \gamma H$, где γ – по [11] объемный вес грунта. После нагружения сваи эксплуатационной нагрузкой $F_{эк}$ в ней возникают нормальные напряжения сжатия σ и соответственно относительные деформации материала сваи $\varepsilon = \sigma / E_b$, где E_b – модуль упругости бетона сваи. В результате микроперемещений (деформаций) в материале сваи под действием эксплуатационной нагрузки $F_{эк}$ в контакте с грунтом возникнут силы трения-сцепления f_i на поверхности сваи, как показано на рис. 1б на длине сваи h_f . Значение h_f силы трения-сцепления f зависит от механических свойств грунта, от условного (неизвестного) коэффициента трения-сцепления и пропорциональны силе нормального давления q от грунта на боковую поверхность сваи. На нижнем конце сваи значение $\sigma_{сп} = \gamma H$ не изменится. Если в начале и увеличится, то в результате ползучести грунта и релаксации $\sigma_{сп}$ приблизится к первоначальному значению. В верхней части сваи деформации ε самые большие, но наименьшие значения q , поэтому мала и сила f_i в верхнем

слое грунта. С ростом глубины скважины давление грунта q на сваю постепенно возрастает, а деформации сваи ϵ , наоборот, убывают, т. к. часть нагрузки от $F_{эк}$ воспринимается верхними слоями грунта в контакте со сваем. На некоторой части длины сваи наблюдается постепенное увеличение силы f_i . Однако, несмотря на дальнейшее возрастание нагрузки q на поверхности сваи, в связи с уменьшением влияния эксплуатационной нагрузки на нижнюю часть сваи, определяемой по условию $F_{эк} - \mu \sum_{i=1}^n f_i h_i$, деформации материала сваи естественно уменьшаются и доходят до нуля. Соответственно уменьшается значение нагрузки f_i и в нижней части сваи f_i доходит до нуля, изменяясь по некоторой кривой, как показано на рис. 1б. Весь описанный процесс передачи эксплуатационной нагрузки $F_{эк}$ от сваи на грунт условно представлен на расчетных схемах работы сваи на рис. 1, где по рис. 1в равенство $h_f = H$ достигается при предельной несущей способности сваи, мерой которой является предельная нагрузка $F_{эк,пр}$. На рис. 1 условно принято два вида грунта и эпюры воздействий на сваю f_i условно изображены криволинейными. Приведенное обоснование расчетных схем сохранится и при другом числе слоев грунта.

Из рис. 1 видно, что коэффициент запаса по несущей способности буронабивной сваи по грунту можно определить по отношению $K = F_{эк,пр} / F_{эк}$. Из этого условия при заданном значении коэффициента « K », как меры безопасности сваи по несущей способности грунта, можно на стадии проведения экспериментов на пробной свае подобрать длину сваи. Что для этого нужно сделать? В момент завершения бурения скважины на дно завести бетонный образец в виде цилиндра или параллелепипеда с наклеенными рабочими тензорезисторами (вдоль скважины) и компенсационными (поперек скважины), выводя провода (изолированные) к тензостанции для замера начального омического сопротивления R_0 . Затем продолжить укладку бетона на 0,4-0,6м и вновь установить бетонный образец с тензорезисторами. И так установить не менее 3-4 тензорезисторов в нижней половине будущей сваи. После полного бетонирования сваи и выдержки ее до проектного значения набора прочности бетона произвести измерения омических сопротивлений рабочих тензорезисторов R_{0l} . После этого свая нагружается различной по значению нагрузкой и при каждом нагружении измеряется

$$\epsilon = \frac{|R_{0,i} - R_{i,t}|}{\mu \cdot R_{i,0}}$$

омическое сопротивление тензорезисторов, а по формуле вычисляются значения деформаций сваи по ее длине, где μ – коэффициент тензочувствительности. По полученным точкам значений ϵ_i по длине сваи строится кривая эпюры ϵ , по которой определяется длина h_f загруженного участка сваи силой f_i трения-сцепления при принятом значении нагрузки $F_{эк}$. Увеличивая нагрузку $F_{эк,i}$ на сваю и измеряя деформации бетона сваи ϵ_i строят модели эпюр f_i при различных значениях нагрузки $F_{эк,i} > F_{эк}$. По значениям длины эпюры f_i (равной длине эпюры ϵ_i при нагрузке $F_{эк}$ и при нагрузках $F_{эк,i} > F_{эк}$ при пробной нагрузке по результатам измерений ϵ_i , выявляют значение $F_{эк,пр}$, соответствующее работе сваи по всей ее длине (см. рис. 1в) при $h_f = H$. По полученному в результате проведенных экспериментов значению $F_{эк,пр}$ определяют коэффициент запаса $K = F_{эк,пр} / F_{эк}$ сваи по несущей способности грунта основания фундамента. Если окажется, что значение « K » меньше требуемого значения, то сваю удлиняют. Для этого проводится повторно эксперимент или используют примерную зависимость между длиной сваи H и длиной h_f эпюры f . Если значение « K » окажется больше требуемого, то длину сваи уменьшают для экономического эффекта, либо оставляют принятой первоначально в запас надежности, если от укорочения ее экономический эффект несущественный. Организацию и проведение эксперимента можно принять и другой. Основная задача статьи заключается в обосновании нового подхода к работе буронабивной сваи и к описанию ее расчета.

Коэффициент надежности буронабивной сваи зависит от ответственности объекта по безопасности и устанавливается в каждом случае индивидуально.

При недостаточной длине h_f сваи эпюра f_i выглядит так, как показано на рис. 2 и свидетельствует о том, что $F_{эк}$ больше необходимой предельной нагрузки $F_{пр}$, что недопустимо, т. к. не выполняется критерий работоспособности сваи вида $F_{эк} \leq F_{пр}$, как представлено на рис. 1б.

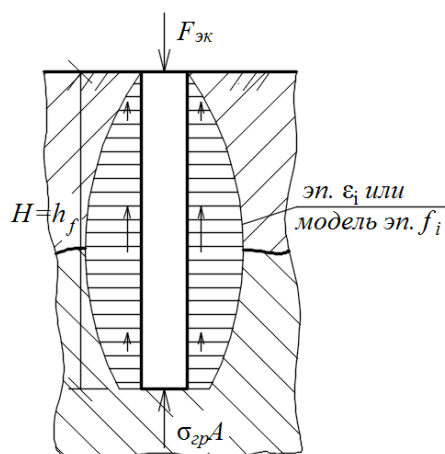


Рисунок 2. Вариант работы сваи в грунте при недостаточной длине сваи при действии $F_{эк}$ ($h_f = H$)
Figure 2. The version of the pile work in the ground at the inadequate pile length under the action of $F_{эк}$ ($h_f = H$)

После такого обзора проблемы по работе сваи и определении несущей способности буронабивной висячей сваи по грунту можно по-новому посмотреть на эффективность уширения конца сваи. В частности, уширение конца сваи в плане работы [9] при схемах по рис. 1б и 1в не повысит несущую способность сваи по грунту. При работе сваи по рис. 2 будет иметь смысл в уширениях сваи, но требуется исследование целесообразности его применение расчетами. В данную статью этот вопрос не входит.

Из всего изложенного можно отметить причины недостатков прежнего расчета буронабивной сваи по несущей способности грунта. Во всех предыдущих подходах в СП 24.13330.2011 и в расчетах буронабивных висячих свай по [9, 3-5] принималось, что свая дает осадку (срыв) по [9], т. е. движется при достижении предельной нагрузки. В таком подходе несущая способность сваи ограничивалась аварийным состоянием основания и соответственно сооружения. В то время, как под предельным состоянием понимается рабочее (безопасное) состояние. Это безопасное состояние разрешается допускать, но не превышать его в расчетах конструкций в отличие от возможного аварийного состояния, как было принято ранее.

Заключения

1. Предложена новая расчетная схема работы буронабивной висячей сваи в грунте основания фундамента.
2. Рассмотрен способ определения длины эпюры поверхностных сил сопротивления трения-сцепления на длине сваи и определение предельной несущей способности сваи не по аварийному предельному состоянию сваи, а по условию работы сваи по всей длине в контакте с грунтом.

3. Рассмотрен метод определения окончательной длины сваи по результатам испытаний и по значению коэффициента запаса безопасной работы буронабивной висячей сваи.
4. Возможен экономический эффект от нового метода расчета сваи при выявлении избыточного большого коэффициента запаса сваи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдо А.Н. Оценка несущей способности свай в зависимости от значений технологических параметров их устройства или изготовления // Геотехника, 2016. – №6. – С. 42-53.
2. Дзагов А.М., Сидорчук В.Ф. Геотехнические аспекты устройства и работы под нагрузкой буронабивных свай в просадочных грунтах // Геотехника, 2012. – №6. – С. 4-21.
3. Иванова Т.В., Альберт И.У., Кауфман Б.Д., Шульман С.Г. Несущая способность висячих свай по критерию прочности материала сваи или грунта // Инженерно-строительный журнал, 2016 – №7 (67). – С. 3-12.
4. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В. И др. Сваи и свайные фундаменты: конструкции, проектирование, технологии / М.: АСВ, 2015. – 314 с.
5. Метелюк Н.С., Шишко Г.Ф., Соловьев А.Б. и др. Сваи и свайные фундаменты / Изд-во К.: Будивельник, 1977. – 256 с.
6. Патент на изобретение №2582495 Способ измерения и мониторинга давления на бетон и кирпичные несущие стены и фундаменты зданий и сооружений на заданном уровне на стадии эксплуатации. Бюл. №12, 2016. Авторы: Уткин В.С., Тропина Д.А., Горева Н.В. Патентообладатель: Вологодский Государственный Университет.
7. Саенко Ю.В., Невзоров А.Л. Оценка несущей способности забивных свай в фундаментах существующих зданий // Геотехника, 2016. – №4. – С. 50-57.
8. Самохвалов М.А., Зазуля Ю.В., Мельников Р.В. Результаты расчетного прогноза взаимодействия буроинъекционных свай, имеющих контролируемое уширение, с пылевато-глинистым грунтовым основанием // Геотехника, 2016. – №2. – С. 50-59.
9. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Особенности устройства и расчета буроинъекционных свай с множественным уширением // Геотехника, 2016. – №3. – С. 60-65.
10. Цитович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учеб. для вузов. – 3-е изд., доп. М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.
11. Школьников И.Е. Определение несущей способности стальных трубчатых свай // Геотехника, 2014. – №4. – С. 42-48.

Utkin Vladimir Sergeevich

The Vologda state university, Russia, Vologda
E-mail: UkinVoGTU@mail.ru

Calculation of a load capacity of the pored friction piles and selection of pile length by a safety factor

Abstract. The author proposes a new approach in the analysis of the pored piles work in the ground and on this basis a new method for selecting pile length in the foundation soil. Instead of the ultimate static friction forces between the pile and the ground the article considers the frictional-adhesion forces caused by the micro-displacements (deformations) of piles relative to the subsoil. This approach deals with the work of pile in the ground under load and the procedure for determining the length of the pile by condition that the pile's limiting state in the foundation soil is not exceeded. The pile length is determined by its value of the safety factor, which is set from the ratio of the ultimate loading on the pile to the value of the service load.

Keywords: pored pile; surface force; service load; deformation of concrete; pile length; safety factor; carrying capacity

REFERENCES

1. Gajdo A.N. (2016). Evaluation of the bearing capacity of piles, depending on the values of the technological parameters of their device or manufacture. *Geotechnika*, 6, pp. 42-53. (in Russian).
2. Dzagov A.M., Sidorchuk V.F. (2012). Geotechnical aspects of the device and operation under load of bored piles in subsidence grounds. *Geotechnics*, 6, pp. 4-21. (in Russian).
3. Ivanova T.V., Al'bert I.U., Kaufman B.D., Shul'man S.G. (2016). Bearing capacity of hanging piles by the criterion of the strength of pile or soil material. *Engineering and Construction Journal*, 7(67), pp. 3-12. (in Russian).
4. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenskij V.V. and etc. (2015). Svai i svajnye fundamenty: konstruksii, proektirovanie, tehnologii. [*Piles and pile foundations: structures, design, technologies.*] Moscow: ASV, p. 314.
5. Metel'juk N.S., Shishko G.F., Solov'ev A.B. and etc. (1977). Svai i svajnye fundamenty. [*Piles and pile foundations.*] Kiev: Budivel'nik, p. 256.
6. Utkin V.S., Tropina D.A., Goreva N.V. (2016). Patent na izobretenie №2582495 Sposob izmerenija i monitoringa davlenija na beton i kirpichnye nesuschie steny i fundamenty zdaniij i sooruzhenij na zadannom urovne na stadii `ekspluatatsii. Bjul. №12. [*Patent for invention No. 2582495 Method for measuring and monitoring the pressure on concrete and brick bearing walls and foundations of buildings and structures at a given level during operation. Bul. №12.*] The patentee: Vologda State University.
7. Saenko Ju.V., Nevzorov A.L. (2016). Estimation of bearing capacity of driven piles in the foundations of existing buildings. *Geotechnics*, 4, pp. 50-57. (in Russian).
8. Samohvalov M.A., Zazulja Ju.V., Mel'nikov R.V. (2016). Results of the calculated prognosis of the interaction of borionic piles having controlled broadening with a dusty clay soil base. *Geotechnika*, 2, pp. 50-59. (in Russian).
9. Sokolov N.S., Rjabinov V.M. (2016). Features of the device and the calculation of bored holes with multi-seat broadening. *Geotechnics*, 3, pp. 60-65. (in Russian).
10. Tsitovich N.A. (1979). *Mehanika gruntov (kratkij kurs)*. [*Soil mechanics (short course)*.] Moscow: High school, p. 272.
11. Shkol'nikov I.E. (2014). Determination of the bearing capacity of steel tubular piles. *Geotechnika*, 4, pp. 42-48. (in Russian).