



ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УШИРЕНИЯ ПЯТЫ БУРОНАБИВНОЙ ВИСЯЧЕЙ СВАИ

Для эффективного использования буронабивных свай с уширением необходимо выбирать такой вариант работы свай, в котором полностью используется несущая способность грунта основания под нижним концом сваи и по боковой поверхности сваи в виде сил трения-сцепления. В статье рассматриваются варианты работы свай с уширениями в буронабивных сваях, приведена уточненная схема работы висячей буронабивной сваи с уширением при новом обосновании работы сваи в грунте основания (без «срывов») и месте уширения, а также методика расчета несущей способности свай с уширениями по несущей способности грунта основания. Работа направлена на повышение эффективности использования буронабивных свай и содержит теоретические и прикладные составляющие.

Ключевые слова: висячая свая, буронабивная свая, железобетонная свая, воздействия на сваю, несущая способность, деформации, уширение, длина сваи.

Введение. Буронабивные висячие сваи в основаниях фундаментов зданий и сооружений являются несущими элементами и в последнее время получили широкое применение в Российской Федерации и за рубежом. Они способны воспринимать большие нагрузки за счет устройства уширений, повышать эффективность работы за счет дополнительной передачи нагрузки на нижние слои грунта основания. Для обеспечения надежности (безопасности эксплуатации зданий и сооружений) необходимо выполнить расчеты свай по несущей способности материала сваи и по несущей способности грунта основания.

Существующие подходы к решению поставленных задач. Наибольшая нагрузка N на сваю от фундамента (ростверка) воспринимается ее верхней частью и должна быть меньше несущей способности F_d сваи по материалу, которая определяется по формуле: $F_d = \gamma_0 (\varepsilon_{s,np} E_s A_s + \varepsilon_{b,np} E_b A_b)$, где использована гипотеза плоских сечений и в качестве предельной деформации принята деформация стали арматуры, равная 0,002, которая меньше предельной деформации бетона. В СП 24.13330.2011 «Свайные основания» F_d определяется по формуле $F_d = \gamma_0 (R_s A_s + R_b A_b)$, по которой в арматуре и бетоне напряжения одновременно достигают значения расчетных сопротивлений R_s и R_b , что не соответствует действительности.

Несущая способность висячей буронабивной сваи F_d по несущей способности грунта основания, работающей на осевое сжимающее усилие N , по СП 24.13330.2011 «Свайные основания» определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{c,R} R A + u \sum_{i=1}^n \gamma_{c,f} f_i h_i \right), \quad (1)$$

Роль и значения параметров в формуле (1), а также коэффициентов можно найти в СП 24.13330.2011.

Расчетная схема работы сваи без уширения в грунте основания представлена на рис. 1.

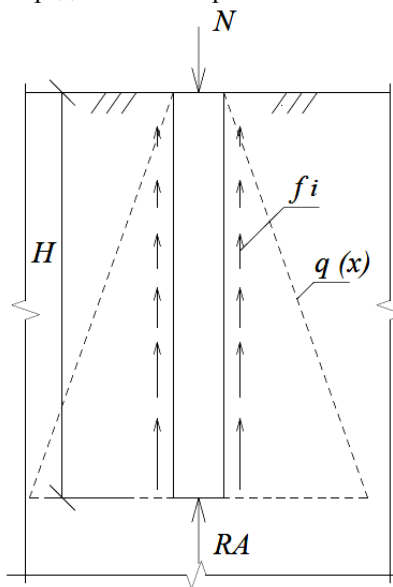


Рис. 1. Расчетная схема работы висячей сваи в грунте основания по СП 24.13330.2011.

R – расчетное сопротивление грунта основания,

A – площадь поперечного сечения сваи,

q – боковое нормальное поверхностное давление грунта,

f – силы трения-сцепления, H – глубина заложения сваи,

N – расчетная нагрузка

Работоспособность сваи по несущей способности грунта основания определяется условием $N \leq F_d$, где N – расчетная или фактическая нагрузка на сваю.

Формула (1) получена в предположении «срыва» (движения) сваи в грунте основания из-за необходимости определения сил трения f_i на поверхности сваи в контакте с грунтом. Однако свая в фундаментах находится в покое (не «срывается»), и поэтому принятый подход потребовал введения ряда коэффициентов в формуле (1) без теоретического обоснования, а на основании опыта работы свай в грунте оснований.

Для использования формулы (1) в СП 24.13330.2011 имеется таблица значений этих коэффициентов и значений расчетного сопротивления грунта основания R и сил трения f_i на поверхности сваи в зависимости от вида грунта и глубины расчетного слоя, высота которого по СП 24.13330.2011 должна быть не более 2 м.

Из рис. 1 видно, что силы трения-сцепления f_i на боковой поверхности сваи по СП возрастают с глубиной слоя грунта h_i и реакция от грунта на нижнем конце сваи определяется при напряжении в грунте основания, равном расчетному сопротивлению грунта R . Из условия равновесия всех сил, а также заданного значения диаметра сваи, определяется длина сваи H . Недостатками расчетной схемы работы сваи в грунте основания являются принятое распределение и значения сил трения f_i , исходя из условия ее «срыва», неучет отрицательных сил трения на нижнем конце сваи и введение многочисленных коэффициентов, что вызывает недоверие к результатам расчетов.

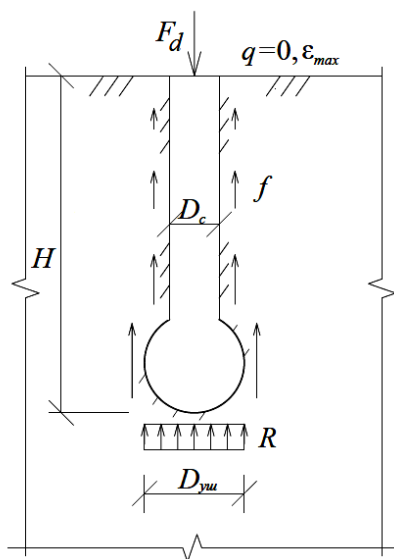


Рис. 2. Расчетная схема работы буронабивной свайной сваи с уширением в грунте основания по СП 24.13330.2011, F_d – несущая способность сваи

На рис. 2 СП 24.13330.2011 представлена расчетная схема работы буронабивной сваи с уширением в грунте основания при центральном сжатии. Несущая способность сваи с уширением по несущей способности грунта основания определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{c,R} RA + u \sum_{i=1}^n \gamma_{c,f} f_i h_i + \gamma_{c,R} RA_{yu} \right), \quad (2)$$

где $A_{yu} = \pi(D_{yu} K_{yu})^2 / 4 - \pi D_c^2 / 4$;

D_{yu}, D_c – диаметры уширения и сваи;

K_{yu} – коэффициент уширения, принимаемый по таблице в [2].

Применяемые методы научного подхода. Такая расчетная схема сваи и ее работа также сформулирована из условия «срыва» (движения) сваи в грунте основания [4]. В основаниях фундаментов сваи не должны «срываться» и находятся в покое, а силы трения-сцепления f возникают в результате микроперемещений деформаций материала поверхностных сло-

ев сваи в грунте основания, как показано на рис. 3, заимствованного из [3, 5]. Значения этих сил зависят от глубины расположения сечения сваи x , от вида грунта и значения его давления и других факторов. Учитывая непрерывность деформаций $\varepsilon(x)$ материала сваи по ее длине и зависимость $f(x)$ от бокового давления $q(x)$ грунта основания, предлагается функцию сил трения-сцепления $f(x)$ представить в виде:

$$f(x) = \varepsilon(x)q(x)\varphi_0, \quad (3)$$

где $\varepsilon(x)$ – относительная деформация материала сваи; $q(x)$ – боковое давление грунта. По [1] $q(x) = \gamma \xi_0 x$, где γ – объемный вес грунта, ξ_0 – коэффициент Пуассона, $\xi_0 = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0}$.

Для глин и суглинков по [1]

$\mu_0 = 0,10 \div 0,15$; φ_0 – коэффициент, зависящий от вида грунта, качества поверхности сваи и т.д. и определяется по результатам испытаний пробных свай [3, 5].

Основная часть. Нагрузка на нижнем конце сваи $\sigma_{zp}A$ также как N вызывает деформации материала сваи в грунте. Следовательно появляются отрицательные силы трения-сцепления f_{omp} . На рис. 3 представлена расчетная схема работы свайной сваи в грунте основания с учетом воздействия на нее нагрузки N , сил трения-сцепления $f(x)$, реакции $\sigma_{zp}A$ на нижнем конце сваи и отрицательных сил трения-сцепления $f_{omp}(x)$. Несущая способность сваи по несущей способности грунта основания будет определяться по формуле:

$$F_d = \sigma_{zp}A + \int_0^h f(x)q(x)dx - \int_h^H f_{omp}(x)q(x)dx. \quad (4)$$

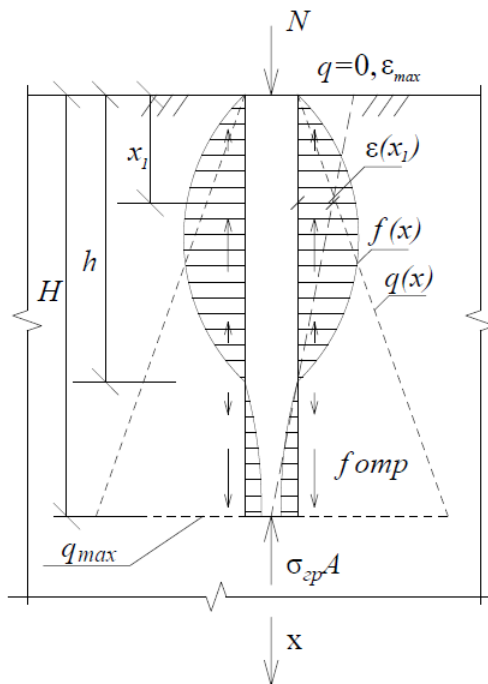


Рис. 3. Расчетная схема работы свайной сваи в грунте основания, $f_{omp}(x)$ – отрицательная сила трения-сцепления,

$$\varepsilon_{\min} = \varepsilon_{\max} \frac{H-h}{h}$$

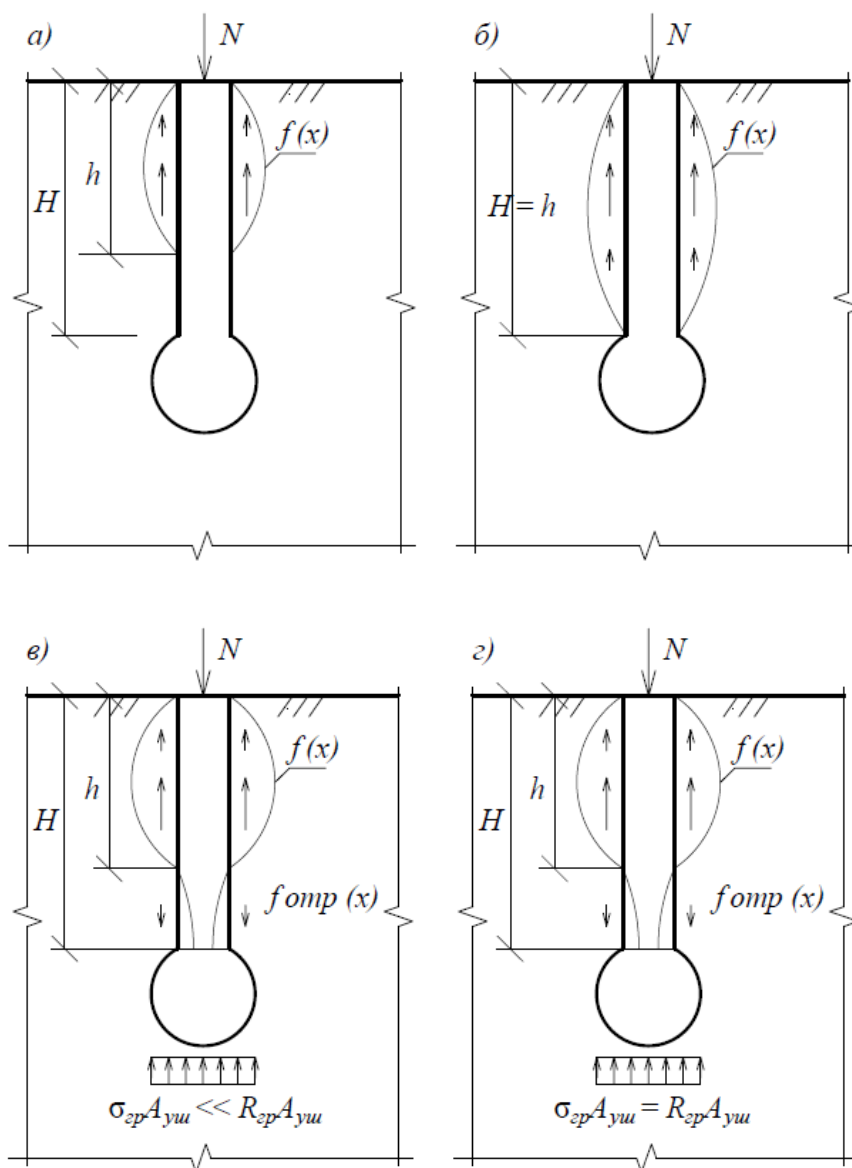


Рис. 4. Варианты устройства и работы буронабивных свай с уширением

Реакция от грунта основания на нижнем конце сваи $\sigma_{zp}A$ направлена вверх и вызывает силы трения-сцепления $f_{omp}(x)$, направленные вниз. Отрицательные силы трения-сцепления $f_{omp}(x)$ снижают положительную роль работы грунта сваи в верхней части в виде сил трения-сцепления $f(x)$.

Для более эффективного противодействия нагрузке N нижним концом сваи в виде реакции $\sigma_{zp}A$ применяют по [1] устройства в виде уширения на нижнем конце сваи (рис. 2).

Для повышения несущей способности свай по несущей способности грунта основания фундамента на нижнем конце висячих буронабивных свай предусматривается уширение пяты сваи. Повышение эффективности работы уширения сваи в настоящее время является актуальной проблемой в связи с новым [3, 5] объяснением работы висячих свай в грунте основания.

Предлагается рассмотреть эффективность использования такого уширения в работе висячей сваи. Уширение буронабивной сваи может быть бесполезным, малоэффективным или эффективным в зависи-

мости от длины сваи при одном и том же значении нагрузки, вида сваи по работе и грунта основания.

На рис. 4 представлены варианты работы буронабивных свай с уширением и выявление их эффективности в работе при одном и том же значении нагрузки N .

Значение h во всех приведенных вариантах работы сваи определяется по результатам испытаний пробной сваи по рис. 4а. По вариантам а) и б) расчетная нагрузка N полностью воспринимается силами трения-сцепления $f(x)$ в верхней части сваи, где имеют место микроперемещения (деформации) материала сваи в грунте основания и уширение на конце сваи не работает. В этом случае уширение сваи бесполезно и не должно устраиваться. Для того, чтобы оно стало работающим в вариантах сваи а) и б), нужно уменьшить длину и толщину сваи и довести ее до работы по вариантам в) и г). При сохранении значения нагрузок N эффективность использования уширения сваи мала по варианту в). Для повышения эффективности работы уширения сваи длину сваи уменьшают, доводя до работы сваи по варианту г). Для расчета несущей

способности буронабивной сваи с уширением на нижнем конце по схеме рис. 4, з) можно записать формулу

$$F_d = R_{sp} A_{yui} + u \int_0^h f(x) dx - u \int_h^H f_{omp}(x) dx \text{ или с учетом (3)}$$

$$F_d = R_{sp} A_{yui} + u \int_0^h \varepsilon(x) q(x) \varphi_0 dx - u \int_h^H \varepsilon_{omp}(x) q(x) \varphi_0 dx. \text{ Для}$$

упрощения расчетов и сокращения испытаний примем $\varepsilon(x)$ изменяющейся по прямой, проходящей через точки $(0; \varepsilon_{max})$ и $(h; 0)$, как показано на рис. 3. При принятых значениях x_l и N (рис. 3) имеем $\frac{h}{h-x_l} = \frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon(x_l)}$,

$$\text{отсюда } h = \frac{\varepsilon_{max} \cdot x_l}{\varepsilon_{max} - \varepsilon(x_l)}, \text{ где } \varepsilon_{max} = \frac{N}{A \cdot E}, x_l - \text{глубина,}$$

которой задаются, $\varepsilon(x_l)$ – измеряемая относительная деформация материала сваи, x_l – заданная глубина сваи. В этом случае имеем $\varepsilon(x) = \varepsilon_{max} \frac{h-x}{h}$,

$$F_d = R_{sp} A_{yui} + u \int_0^h \varepsilon_{max} \gamma_{\xi_0}^{\xi} x \frac{h-x}{h} \varphi_0 dx - u \int_h^H \frac{\varepsilon_{min}}{H-h} (x-h) \gamma_{\xi_0}^{\xi} x \varphi_0 dx.$$

Значение φ_0 находят из результата испытаний пробной сваи по рисунку 4з.

Для уменьшения отрицательного влияния сил $f_{omp}(x)$ на эффективность работы сваи по рис. 3 и 4 рекомендуется уменьшить сцепление сваи с грунтом на длине сваи, равной $H-h$.

Выводы:

1. Приведена уточненная расчетная схема работы висячих буронабивных свай без уширения и с уширением в грунте основания.

2. Предложена расчетная формула для определения несущей способности сваи без уширения и с уширением.

3. Работа направлена на повышение эффективности буронабивных свай.

Литература

1. Соколов, Н. С. Особенности устройства и расчета буроинъекционных свай с многоступенчатыми уширениями / Н. С. Соколов, В. М. Рябинов // Геотехника. – 2014. – № 3. – С. 60–64.

2. ТР 50-180-06. Технические рекомендации. Проектирование и устройство свайных фундаментов, выполняемых по разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи-РИТ) [Электронный ресурс]: утв. Приказом рук. департамента градостроительной политики, развития и реконструкции г. Москвы от 06.05.06 № 96: введ. 01.11.06 // Техэксперт: инф.-справ. система / Консорциум «Кодекс».

3. Уткин, В. С. Работа висячих свай в грунте основания и их расчет по осадке / В. С. Уткин // Вестник МГСУ, Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 13, Вып. 9. – С. 1125–1132.

4. Уткин, В. С. Работа висячих свай в грунте основания фундамента и определения длины сваи / В. С. Уткин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2017. – № 4. – С. 23–26.

5. Цытович, Н. А. Механика грунтов (краткий курс) учебник для вузов / Н. А. Цытович. – 3-е изд. – Москва: Высшая школа, 1979. – 272 с.

V.S. Utkin, E.V. Soboleva
Vologda State University

EFFECTIVE USE OF UNDER-REAM IN BORED FRICTION PILE

To effectively use bored piles with under-ream, it is necessary to choose such a variant of pile behavior in which the bearing capacity of bottom soil under the pile lower end and along the pile lateral surface in the form of friction-adhesion forces is fully used. The article considers the behavior variants of piles with the under-ream in bored piles; shows the precise behavior scheme of friction bored piles with the under-ream in the new interpretation of behavior of the piles in the ground without «failure» (movement) and the place of under-ream, and also methods of calculating the bearing capacity of piles with the under-ream of the bearing capacity of bottom soil. The research is aimed at improving the efficiency of the use of bored piles and contains theoretical and applied components.

Friction pile, bored pile, reinforced concrete pile, impactions on pile, bearing capacity, deformations, under-ream, pile length.