



УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ОСАДКИ СВАЙ-СТОЕК В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА

Рассмотрена новая расчетная схема работы свай-стойки в грунте основания при расчете ее осадки, заключающейся, в отличие от расчета по СП 24.13330.2011, в учете сил трения-сцепления на поверхности сваи, находящейся в контакте с грунтом верхнего слоя выше скального грунта. На этой основе разработана расчетная формула осадки свай-стойки. Благодаря учету сил трения-сцепления расчетное значение осадки более достоверное по сравнению с существующими результатами расчетов по нормативным документам и меньше по значению, что позволяет повысить на сваю эксплуатационную нагрузку при расчетах по осадке или уменьшить размеры поперечного сечения сваи по условию ее предельной осадки и получить экономический эффект.

Свая-стойка, расчет осадки, работа сваи в грунте, силы трения-сцепления, расчетная формула осадки, экономический эффект.

Свай-стойки рассчитываются по прочности материала сваи, по несущей способности грунта основания и по осадке. Расчетом свай-стоек по СП 24.13330.2011 «Свайные основания» предусмотрена проверка свай-стоек на их осадку в грунте основания фундаментов. В этом нормативном документе приведена расчетная формула для определения значения осадки свай-стойки. По ней осадка сваи определяется свойствами скального или малосжимаемого грунта основания под нижним концом сваи-стойки и свойствами материала сваи и ее размерами и формой. При этом влияние слоя грунта основания выше скального или малосжимаемого на значение осадки сваи в расчетах не учитывается. Однако это влияние имеется, и оно снижает значение осадки сваи, что чрезвычайно важно при большой длине сваи и высокой прочности слоя грунта основания выше скального. Это свидетельствует о том, что существующий метод расчетов свай-стоек на осадку нуждается в дальнейшем совершенствовании.

В работе [1] приведено усовершенствованное решение для количественной оценки осадки длинной сваи глубокого заложения и большого диаметра для сваячей сваи. В [2] учтена сжимаемость материала сваячей сваи при определении ее осадки в грунте основания фундамента. В [3] осадка сваи за счет сжатия определена исходя из закона Гука по формуле $\Delta l = (l \cdot \Delta \sigma) / E_{\text{мат}}$, где $\Delta \sigma$ – разность напряжений на оголовке сваи и ее пята, $E_{\text{мат}}$ – модуль упругости материала сваи, т. е. $\Delta \sigma = (F - \sigma_{\text{гр}} A) / A$. В расчете не присутствует учет закономерностей распределения нагрузки по длине сваи от сил трения-сцепления и не учитываются силы отрицательного сопротивления.

В работе [4] найдена закономерность распределения сил трения-сцепления для сваячей свай по длине сваи, приведено ее описание кубической параболой. Упругое сжатие на участке сваи длиной dz определено формулой $dS = (N(z) / E_s A) dz$ для буронабивных сваячей свай большой длины и большого диаметра. Расчет осадки сваячей свай с учетом распределения сил

трения-сцепления по боковой поверхности по длине сваи был опубликован в [5] при различной нагруженности сваячей сваи. В предлагаемой работе рассматривается проблема расчета осадки свай-стойки с учетом воздействия на сваю сил трения-сцепления на ее боковой поверхности в верхнем слое грунта основания выше скального.

В [6] приведено обоснование образования сил трения-сцепления на поверхности сваи в результате микроперемещений (деформаций) поверхностных слоев материала сваи в контакте с грунтом, приведен расчет несущей способности сваячей свай с учетом этих сил.

По СП 24.13330.2011 расчет свай и свайных фундаментов по деформациям проводится исходя из условия:

$$S \leq S_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где S – по СП «деформация» сваи, $S_{\text{пр}}$ – предельное значение деформации сваи. По [1] расчет свай-стоек и фундаментов из них по деформациям не производится, а по СП 24.13330.2011 расчет осадки одиночной свай-стойки производится по формуле:

$$S = 0,22N / G_2 d + Nl / EA, \quad (2)$$

где обозначим $S_2 = Nl / EA$, составляющую часть осадки сваи в виде ее укорочения от сжимающей сваю нагрузки N , независимо от $\varepsilon_1 = 0,22N / G_2 d$ в (2); l – длина сваи; E – модуль упругости материала сваи; A – площадь поперечного сечения сваи. В (2) считается, что осадка сваи S_2 происходит за счет деформации материала сваи как стойки, опирающейся на скальный или малосжимаемый грунт под нижним концом сваи по схеме, представленной на рис. 1. Несущая способность грунта выше скального в работе сваи при расчете на осадку по СП 24.13330.2011 не учитывается. Предлагается новый более достоверный подход к расчету части осадки S_2 сваи в (2).

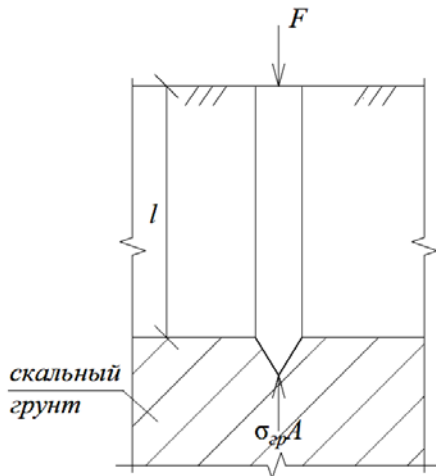


Рис. 1. Расчетная схема сваи-стойки при проверке на осадку S по СП 24.13330.2011

Фактически на поверхности сваи в контакте с грунтом возникают силы трения-сцепления $f(x)$, как показано на рис. 2.

Расчетная схема такой сваи-стойки представлена на рис. 2, где по [5, 6] силы трения-сцепления $f(x)$ возникают в результате микроперемещений $\varepsilon(x)$ поверхностных слоев (деформаций) материала сваи, находящихся в контакте с грунтом основания выше скального грунта. Участие этих сил трения-сцепления в работе сваи должно учитываться в расчетах сваи-стойки на осадку сваи, особенно при большой длине сваи, когда их влияние значимо.

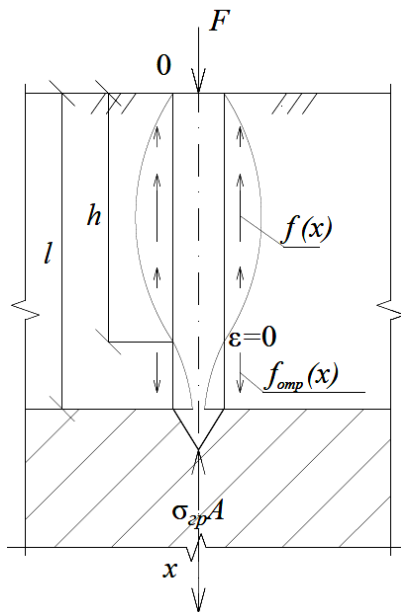


Рис. 2. Расчетная схема работы сваи-стойки в расчетах на осадку

В условии (1) и в формуле (2) осадки сваи использован принцип независимости действия сил. Осадка сваи за счет ее укорочения как упругого тела определяется по формуле $S_2 = Nl/EA$, что завышает значения осадки сваи.

Предлагается уточнить расчет осадки сваи за счет учета сил трения-сцепления $f(x)$ на поверхности сваи, которые противодействуют силе N в формуле (2) и уменьшают ее влияние в укорочении сваи.

Представим процесс нагружения сваи в виде последующих этапов. Свая погружается в грунт до скального грунта. Затем к свае прикладывается нагрузка F , которая вызывает деформацию материала сваи. Благодаря этим деформациям сваи в контакте с грунтом на поверхности сваи образуются силы трения-сцепления $f(x)$, препятствующие нагрузке F . С увеличением нагрузки F на сваю возникает реакция $\sigma_{гр}A$ на нижнем конце сваи от скального грунта основания, которая не должна превышать значения $R_{гр}A$, где $R_{гр}$ – расчетное сопротивление скального грунта, A – площадь поперечного сечения сваи. Нагрузка $f(x)$ при этом увеличивается, т. к. увеличиваются деформации материала сваи и в верхнем конце сваи нагрузка достигнет значения $F = R_{гр}A + u \int_0^l f(x)dx$, где u – периметр поперечного сечения сваи.

Реакция $R_{гр}A$ совместно с нагрузкой F вызовет укорочение сваи по закону Гука в виде $S_1 = \Delta l = R_{гр}A \cdot l / EA = R_{гр}l / E$. Это будет часть от общей осадки сваи, вызванной деформацией (укорочением) сваи. Вторая часть осадки будет вызываться нагрузкой равной $(F - R_{гр}A) = F_1$, которой противодействуют силы $f(x)$ на поверхности сваи. По работам [5, 6] принято $f(x) = \varepsilon(x)q(x)\varphi_0$, где $\varepsilon(x)$ – деформация сваи, вызванная нагрузкой F , с учетом противодействия сил $f(x)$; $q(x)$ – боковое давление грунта на поверхности сваи. По [7] $q(x) = \gamma \xi_0 x$, где γ – объемный вес грунта, ξ_0 – коэффициент бокового давления. По [6] $\xi_0 = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0}$, для глин и суглинков $\mu_0 = 0,10 \div 0,15$. φ_0 – безразмерный коэффициент, зависящий от вида и материала сваи, вида грунта и т. д. На рис. 3 показана расчетная схема сваи и эпюра усилий $N(x)$ в свае от F , отдельно в виде $R_{гр}A$ и $F_1 = u \int_0^l f(x)dx$ в процессе включения ее в работу погружения в грунт от нагрузки F .

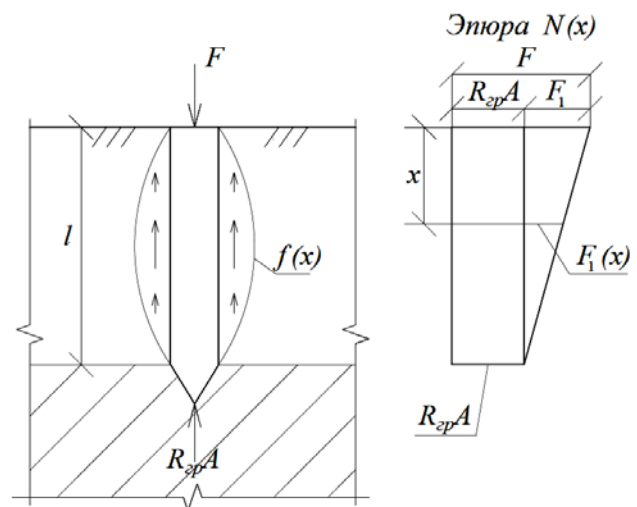


Рис. 3. Расчетная схема сваи и эпюра $N(x)$ от $R_{гр}A$ и $f(x)$

Найдем укорочение S_2 сваи от нагрузки F , в верхней части сваи в виде $S_2 = \int_0^l \frac{F_1(x)dx}{EA}$. Примем для

упрощения $F_1(x) = F_1 \frac{l-x}{l}$ в запас надежности, тогда

$$S_2 = \int_0^l F_1 \frac{(l-x)}{l \cdot EA} dx = F_1 l / 2EA. \text{ Общая осадка сваи}$$

от предельной нагрузки в виде укорочения сваи составит: $S_N = S_1 + S_2 = R_{гп}l/E + F_1 l / 2EA$. Формула (2) примет вид: $S = 0,22N/G_2d + R_{гп}l/E + F_1 l / 2EA$.

Пример. Пусть известны значения $R_{гп} = 10 \cdot 10^6$ Па, $l = 6$ м, $E = 30 \cdot 10^9$ Па, $A = 0,09$ м², предельная нагрузка $F_d = 2,5 \cdot 10^6$ Н получена по условию прочности материала сваи (бетона) или несущей способности грунта основания. Требуется определить осадку сваи, вызванную силой F_d только за счет ее укорочения от сжатия сваи этой силой.

$$S_{1,2} = 10 \cdot 10^6 \cdot 6 / 30 \cdot 10^9 + (2,5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6 \cdot 0,09) / 30 \cdot 10^9 = 2,05 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,05 \text{ мм.}$$

Расчет этой части осадки по нормам СП 24.13330.2011 составляет

$$S_{1,2} = 2,5 \cdot 10^6 \cdot 6 / 0,09 \cdot 30 \cdot 10^9 = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,56 \text{ мм.}$$

Результат в два раза больше, чем по предложенному методу. К значениям S по СП 24.13330.2011 добавляется осадка сваи как абсолютно твердого тела в скальном грунте по формуле $S_{тв.т.} = 0,22N/G_2d$, где G – характеристика грунта расстояния от l до $1,5l$ от верха сваи, d – расчетный диаметр сваи. Для некруглого сечения сваи $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$, где A – площадь поперечного сечения сваи.

В данной работе предложен новый метод расчета осадки свай-стоек, отличающийся от метода по СП 24.13330.2011 учетом сопротивления свай-стоек за счет несущей способности верхнего слоя грунта над скальным грунтом, что приводит к уменьшению расчетного значения осадки сваи-стойки.

Благодаря уменьшению расчетной осадки сваи-стойки в грунте основания можно увеличить нагрузку на сваю в расчетах по осадке сваи или уменьшить ее

размеры в поперечном сечении, что приводит к экономическому эффекту.

Результаты работы могут быть использованы при разработке норм проектирования свайных оснований с применением свай-стоек. Кроме того, работа будет полезной в учебном процессе вузов со строительными специальностями.

Литература

1. Осадка и несущая способность длинной сваи / А. З. Тер-Мартirosян, З. Г. Тер-Мартirosян, ЧиньТуан Вьет, И. Н. Лузин // Вестник МГСУ. – 2015. – № 5. – С. 52–60.
 2. Тер-Мартirosян, З. Г. Сжимаемость материала сваи при определении осадки в свайном фундаменте / З. Г. Тер-Мартirosян, П. В. Струнин, ЧиньТуан Вьет // Жилищное строительство. – 2012. – № 10. С. 13–15.
 3. Тер-Мартirosян, З. Г. Теоретические основы расчета фундаментов глубокого заложения - свай и баррет / З. Г. Тер-Мартirosян, В. В. Сидоров, П. В. Струнин // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 190–206.
 4. Zhon, Z. Determination of lange diameter bored pile's effective length based on Mindlin's solution / Z. Zhon, D. Wang, L. Zhang // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2015. – Vol. 2, Is. 6. – P. 422–428.
 5. 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.
 6. Уткин, В. С. Работа висячей сваи в грунте основания фундамента зданий и сооружений и определение рабочей длины сваи по несущей способности грунта основания / В. С. Уткин // Транспортное строительство. – 2017. – № 10. – С. 17–19.
- 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

Vologda State University

IMPROVED CALCULATION METHOD OF POINT-BEARING PILES SETTING IN FOUNDATION SOIL

A new design scheme of the point-bearing piles operation in foundation soil when calculating its setting which, unlike the calculation by SP 24.13330.2011, takes into account the friction-adhesion forces on the pile surface in contact with the top layer above the rocky soil is considered. On this basis, the calculation formula of point-bearing pile setting has been developed. By taking into account the friction-adhesion forces, the calculated setting value is more reliable compared to the existing calculation results by regulatory documents and less in value, which makes it possible to increase the operational load in setting calculations or reduce the cross section of the pile for the condition of its maximum setting and get an economic effect.

Point-bearing piles, setting calculation, pile performance in the ground, friction-adhesion forces, calculation formula of setting, economic effect.