

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

УДК 624.154

DOI: 10.22227/2305-5502.2018.4.1

Расчет надежности висячих свай по критерию несущей способности грунта основания фундамента

В.С. Уткин

Вологодский государственный университет (ВоГУ), 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15

АННОТАЦИЯ

Введение. Висячие сваи при действии центральной сжимающей силы по СП 24.13330.2011 рассчитывают по первой группе предельных состояний — по несущей способности (по критериям прочности материала сваи и по критерию несущей способности грунта основания) и по второй группе предельных состояний — по осадке сваи.

Материалы и методы. Рассматривается метод расчета надежности висячей сваи по несущей способности грунта основания. Надежность фигурирует как количественная мера безопасности эксплуатации одиночной сваи. В качестве критерия работоспособности сваи принята несущая способность грунта основания. Расчет надежности сваи построен на основе статистической информации, получаемой при испытаниях пробных свай с измерением сил трения на поверхности сваи в слоях грунта и напряжения грунта под нижним концом сваи известными методами, использованными ранее для формирования таблиц значений f и R в СП 24.13330.2011. Измерения каждого случайного параметра проводятся не менее трех раз.

Результаты. На этой статистической информации построена теория расчета надежности пробной сваи в соответствии с требованиями ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований». Надежность в результате расчета представляется в интервальном виде. Математическая модель предельного состояния сваи по несущей способности грунта основания заимствована из СП. Установлена связь (формула) между длиной сваи и значением ее надежности как меры безопасности ее работы в грунте основания. Задаваясь длиной сваи или суммой слоев грунта основания, каждый из которых не более 2 м, по механическим свойствам грунта и нагрузкой на сваю, расчетом (методом подбора) находят значение надежности, соответствующей нормативному значению. Алгоритм расчета надежности рассмотрен на приведенных в работе примерах.

Выводы. Расчет надежности свай построен на фактической информации о работе сваи в грунте основания по действующим нормативным документам РФ, поэтому предложенный метод расчета надежности висячей сваи может найти применение в практике расчетов надежности свай. Также он может быть использован при расчетах других несущих элементов, в нормативной литературе и в учебной работе строительных вузов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: висячая свая, несущая способность грунта, безопасность, надежность эксплуатации, возможность отказа, длина сваи, нормативное значение надежности, алгоритм расчета надежности

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Уткин В.С. Расчет надежности висячих свай по критерию несущей способности грунта основания фундамента // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. Вып. 4. Ст. 1. URL: <http://ns-o-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.4.1

Friction pile reliability analysis with respect to the foundation soil bearing capacity

Vladimir S. Utkin

Vologda State University (VSU), 15 Lenin st., Vologda, 160000, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Friction pile reliability under the action of the central compressing force according to the Set of Rules 24.13330.2011 is calculated from the first group of the limit states — from the bearing capacity (using the pile material strength criteria and the foundation soil bearing capacity criterion) and from the second group of the limit states — from the pile load-deformation behaviour.

Materials and methods. A method of calculating the friction pile reliability from the foundation soil bearing capacity is considered. Reliability appears as a quantitative measure of safety of a single pile operation. The foundation soil bearing capacity is accepted as a criterion for the pile operating capacity. The pile reliability analysis is based on the statistical information obtained during the preliminary pile testing with measuring the friction on the surface of the pile placed in the soil layers and the soil stress under the pile foot. The testing methods for obtaining the statistical information were well-known

and used earlier to generate the lists of f -values and R -values in the Set of Rules 24.13330.2011. Each random parameter is measured at least three times.

Results. The theory of analysis of the preliminary pile reliability in accordance with GOST 27751-2014 "Reliability of building structures and foundations" has been built on this statistical information. Reliability as the calculation result is represented by interval notation. The mathematical model of the limit state of the pile from the foundation soil bearing capacity has been borrowed from the Set of Rules. The connection (formula) between the length of the pile and the value of its reliability as a safety measure for its operation in the foundation soil has been established. Evaluation of the friction pile reliability corresponding to the characteristic value is carried out by calculation (trial-and-error method) from the mechanical properties of the soil and the load on the pile with the indication of the value of the length of the pile or the sum of the soil layers, each of the values in this case shall be not more than 2 m. The reliability analysis is described in the case studies set out in the article.

Conclusions. Pile reliability analysis is based on the actual information about the pile operation in the foundation soil according to the current regulations of the Russian Federation, so the proposed method of the friction pile reliability analysis can be transferred into practice. It can also be used in the reliability calculation for other load-bearing elements, in the regulatory literature, and in the academic work of construction universities.

KEYWORDS: friction pile, soil bearing capacity, safety, reliability, failure possibility, pile length, characteristic reliability value, reliability analysis

FOR CITATION: Utkin V.S. Friction pile reliability analysis with respect to the foundation soil bearing capacity. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2018; 8(4):1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.4.1 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

По Международному стандарту ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения», введенному с 01.03.2017 г., под термином «надежность» понимается свойство объекта (свай) сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения и технического обслуживания. Свая в свайном основании фундамента является несущим элементом всего здания и от ее надежности зависит надежность всей надфундаментной части здания или сооружения. Надежность отдельного несущего элемента и всей конструкции служит количественной мерой безопасности их эксплуатации. Надежность, как показатель безопасности эксплуатации конструкций, количественно характеризует резерв между несущей способностью элемента и фактическим значением воздействия на него. Существующие методы определения надежности несущих элементов, построенные на их анализе по внешним признакам при современном развитии науки, средств измерений и накопленного опыта в эксплуатации зданий и сооружений не могут быть рекомендованы для оценки уровня безопасности эксплуатации отдельных несущих элементов и тем более зданий и сооружений в целом. В связи с этим предлагается рассмотреть научный подход в расчетах надежности висячих свай в основаниях фундаментов.

Свай в существующих основаниях в большинстве случаев недоступны для их испытаний и оценки остаточной несущей способности, мерой которой служит наибольшее значение нагрузки, не приводящей сваю в предельное состояние по первой и второй группам предельных состояний, в соответ-

ствии с нормами СП 24.13330.2011 «Свайные основания» (в дальнейшем — СП). В связи с этим будет рассмотрен метод расчета надежности железобетонной висячей сваи по результатам испытаний одной или нескольких пробных свай на стадии проектирования, погружаемых в грунт на участке будущего основания фундамента, и на стадии эксплуатации вблизи объекта обследования. В работах [1, 2] была рассмотрена методика расчета железобетонных свай по критерию прочности материала висячих свай и свай-стоек. Метод расчета надежности свай-стоек при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах в расчетной математической модели по несущей способности грунта основания был рассмотрен в статье [3]. В данной работе будет рассмотрена проблема расчета надежности свай по критерию несущей способности грунта основания по расчетной схеме работы сваи, принятой нормативным документом СП 24.13330.2011 и изображенной на рис. 1. Хотя принятый в СП подход к описанию работы сваи в грунте основания предлагается заменить другим [1, 4], на основе распределения деформаций материала сваи, он еще не вошел в нормативную литературу, в то время как Межгосударственный стандарт ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» требует оценивать безопасность эксплуатации несущих элементов, в том числе свай, мерой надежности, что свидетельствует о своевременности и актуальности предлагаемой проблемы в статье. Общие вопросы теории надежности и методы расчетов надежности несущих элементов описаны в публикациях [5–7].

В труде [8] рассмотрен метод расчета несущей способности и надежности висячих свай по крите-

рию прочности материала сваи и грунта основания. Расчет надежности сваи по несущей способности грунта [8] построен на вероятностно-возможностном методе, в котором контролируемые параметры в расчетной модели описываются вероятностно-возможностными методами.

Расчет надежности свайных фундаментов, предусмотренный в китайских строительных нормах, проводится вероятностно-статистическими методами [9], требующими полной статистической информации о контролируемых параметрах в математических моделях предельных состояний. Вероятностно-статистический метод, построенный на основе метода Монте-Карло, рассмотрен в работе [10].

При ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах в математических моделях предельных состояний в расчетах надежности свай использован возможностный метод с треугольными функциями распределения нечетких переменных [11]. Треугольные функции распределения являются приближенными, и их применение требует обоснования. В публикации [12] для выявления индекса надежности висячих свай рассмотрено планирование эксперимента с использованием поверхности отклика.

Оценка надежности строительных конструкций при неполной статистической информации производится методами на основе теории размытых или нечетких множеств [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Несущая способность сваи по несущей способности грунта основания по СП определяется по формуле:

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

где u — периметр поперечного сечения сваи; h_i — высота слоя грунта основания при $h_i \leq 2$ м.

Другие значения параметров формулы (1) можно найти в СП.

Надежность висячей сваи по несущей способности грунта основания определяется по математической модели предельного состояния:

$$N \leq \tilde{F}_d, \quad (2)$$

где N — фактическая расчетная нагрузка, передаваемая на сваю.

Волнистые линии над буквами обозначают, что они являются случайными величинами, как принято в теориях надежности [5, 6], которые принимают различные значения при их измерениях (определениях).

Ниже рассматривается метод расчета надежности висячей сваи по несущей способности грунта многослойного основания. На практике такой вариант основания фундамента наиболее распро-

страненный. Значение расчетного сопротивления R грунта основания в СП определяется по результатам определения нормативного сопротивления R^0 грунта, а последнее — по результатам измерений объемного веса грунта, удельного сцепления грунта и ряда коэффициентов. Следовательно, первый член в правой части уравнения (1) будет случайной величиной. Силы трения-сцепления f_i также будут случайными величинами, так как находятся по результатам их измерений, например по способу [14]. В расчетах надежности коэффициенты условий работы, принятые в (1) по СП, не используются. Параметры A , u и h_i малоизменчивы и их можно принять детерминированными величинами. Тогда из (1) имеем следующее выражение для предельной нагрузки по несущей способности грунта основания:

$$\tilde{F}_d = \tilde{R}A + u \sum_{i=1}^n \tilde{f}_i h_i. \quad (3)$$

Нагрузку на сваю N на стадии эксплуатации можно определить многократными измерениями на существующих сваях, например таким методом [15]. На стадии проектирования N можно определить по результатам измерений N_i в подобных конструкциях или другими методами.

Математическая модель предельного состояния (2) примет вид:

$$\tilde{N} \leq \tilde{R}A + u \sum_{i=1}^n \tilde{f}_i h_i. \quad (4)$$

Расчет надежности сваи упрощается, если принять N в качестве расчетной (детерминированной) величины, что будет отмечено ниже.

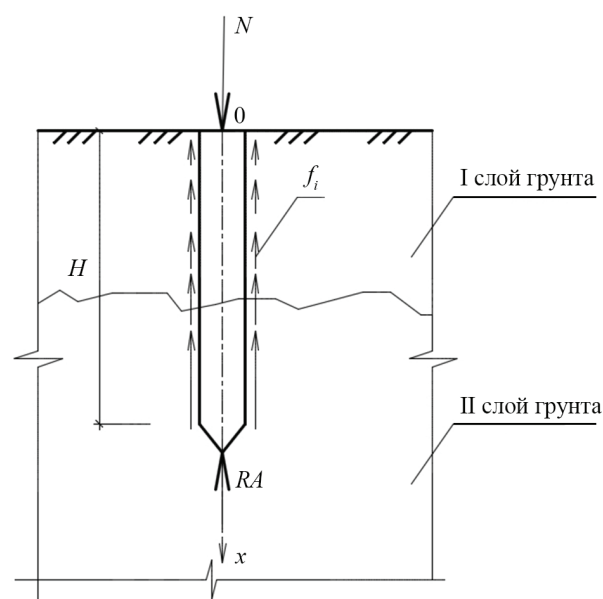


Рис. 1. Расчетная схема работы висячей сваи в грунте основания по СП 24.13330.2011