

О ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УШИРЕНИЯМИ**Н. В. Купчикова***Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Астрахань*

В статье представлен практический опыт раскопок свай с уширениями, расположенными на поверхности, конце и теле сваи, результаты исследований которых влияют на определение характеристик надёжности системы «основание – свайный фундамент с уширениями». Рассмотрены основные аналитические условия надёжности оснований и свайных фундаментов. Автором предложена классификация факторов, влияющих на надёжность свайных фундаментов с уширениями в процессе трёх стадий жизненного цикла зданий и сооружений: проектирования, строительства и эксплуатации. Выявлено, что надёжность системы «свайные фундаменты с уширениями – основание» зависит от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, физико-механических свойств материала уширения, грунтовых условий и базируется на основе теории надёжности вероятностного подхода.

Ключевые слова: свайные фундаменты с уширениями, надёжность оснований и фундаментов, вероятностный подход оценки надёжности.

ON THE FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF PILE FOUNDATIONS WITH WIDENINGS**N. V. Kupchikova***Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, Astrakhan*

The article presents a practical experience of excavation of piles with broadenings located on the surface, at the end and body of the pile, the results of which influence the determination of the reliability characteristics of the system "base - pile foundation with broadening". The main analytical conditions for the reliability of foundations and pile foundations are considered. The author proposes a classification of factors affecting the reliability of pile foundations with widening in the process of three stages of the life cycle of buildings and structures: design, construction and operation. It was revealed that the reliability of the system "pile foundations with broadening - foundation" depends on the constructive solution of the pile, the technology of its immersion and broadening device, physical and mechanical properties of the broadening material, soil conditions and is based on the theory of reliability of the probabilistic approach.

Keywords: pile foundations with widenings, reliability of foundations and foundations, probabilistic approach to reliability assessment.

Развитие формообразования усиливающих элементов свайных фундаментов в теории фундаментостроения происходит путём устройства уширений на конце, стволе и вверху сваи, а также с несколькими или множественными уширениями (рис. 1). Широкое развитие современных предприятий строительной индустрии по производству строительных материалов, модернизация средств механизации и строительной техники позволяют в настоящее время изготавливать и устраивать различные конструкции свай с уширениями готового, набивного и комбинированного типа длиной от 1 до 100 м и диаметром уширений от 20 см до 10 м (рис. 2) [1–10]. История фундирования по возведению свайных фундаментов насчитывает более 120-ти лет и первые технологии применены при возведении буронабивных свай.

Практический опыт раскопок свай с уширениями (см. рис. 3, 4) за всю историю фундирования показал, что для того, чтобы сказать на сколько данное мероприятие (устройство дополнительных уширений у конструкций свай) увеличит несущую способность, необходимо с высокой степенью точности знать физические и физико-механические характеристики грунтовых условий региона, в котором будет работать специализированная техника по их устройству и исследование кровельного слоя грунта, который является опорным. Целесообразность инвестирования средств от внедрения свайных фундаментов с уширениями должна определяться эффектом, который инвестор надеется получить, то есть увеличение

несущей способности сваи и как следствие экономия материалов и труда при соответствующих показателях надёжности и долговечности работы на этапе эксплуатации [17–23].

Обеспечение надёжности и экономичности решений, в том числе расчета по предельным состояниям, является конечной целью любого проекта. Расчет свайных фундаментов с уширениями по несущей способности производится не только для проверки наиболее опасного предельного состояния, каким является потеря несущей способности, но и для установления исходных параметров, используемых при вычислении их по деформациям грунтового основания. Однако большинство исследований, посвященных несущей способности одиночных свай без уширений и учитывающих их взаимовлияние, проведено с учетом статистической изменчивости характеристик грунтов, параметров внешних нагрузок. При этом для свай с уширениями такие исследования не проводились.

Анализ проектных решений одних и тех же сооружений в различных грунтовых условиях и при разных типоразмерах свай показал, что существующими методами расчета закладывается разный уровень надёжности: в большинстве случаев завышенный, что приводит к менее экономичным решениям, иногда заниженный – сопряжено с риском. Один из реальных путей дальнейшего совершенствования существующих методов оценки несущей способности свайных фундаментов с уширениями представляется возможным на основе вероятностного подхода. Решение этой проблемы имеет важное значение и

позволит более полно и дифференцированно использовать несущую способность свай, в резуль-

тате чего можно будет проектировать их более надёжными и экономически целесообразными.

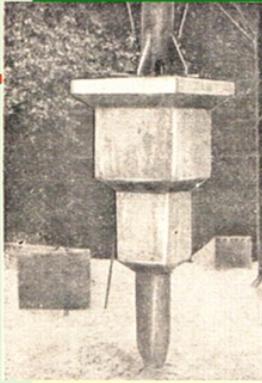


Рис. 1. Конструктивные решения свай с уширениями

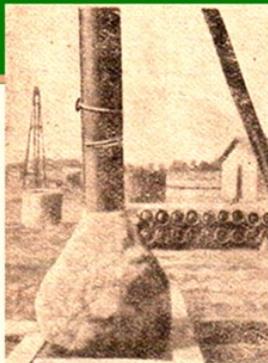


Рис. 2. Первые способы технологических решений по возведению свай с уширениями

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ УСТРОЙСТВА УШИРЕНИЙ



Ступенчатая свая (В.И. Хазин, А.С. Головачев, А.А. Орел, 1964г.)



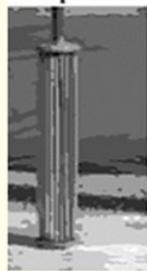
Свая Лоренца диаметром свай 320мм и диаметром сферического уширения 1000мм (Луга А. А. , 1922г.)



Общий вид буронабивной свай с уширением в форме полусферы, образованным разбуhrиванием грунта расширителем (1964г.)



Микросвая с выгравированными уширениями из сухой цементно-песчаной смеси (Мальшкин А. П., Есипов А. В., (2002г.): 1 – конусное уширение, 2 – сферическое уширение



Контролируемое уширение свай системы Soilflex из тонкого стального листа, (1980г.)



Рис. 3. Практический опыт раскопок свай с уширениями

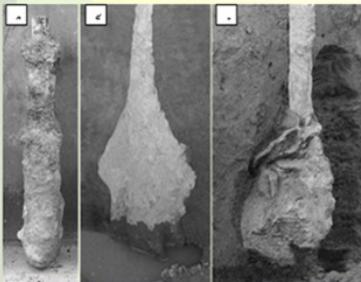
ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ УСТРОЙСТВА УШИРЕНИЙ



Свая Franki с уширением образованным впрессовыванием бетона цилиндром-поршнем в скважину (1960г.)



Свая с уширением образованным впрессовыванием бетона цилиндром-поршнем в скважину (Черношей Н.В., Черношей К.Н., Стрельченко А.Н., Черношей Я.Н., 2010г.)



Уширение на конце свай в форме вытянутого эллипсоида по вертикали (Пронозин Я. И., Самохвалов М. А., Бартоломей Л. А., Караулов А. М.)



Микросвая в лотке с красящими изоляциями и сферическим уширением из силиката натрия (Купчикова Н. В., 2014г.)



Свая с применением электроразрядной технологии (Джантимиров Х. А., Рыгов С. А., 2009г.)

Готовая свая с несколькими уширениями (Bekbasarov, Ategov, 2020г.)

Рис. 4. Практический опыт раскопок свай с уширениями

Рассмотрим основные аналитические условия надёжности оснований и свайных фундаментов. Соблюдение условий предельных состояний равновесия системы «основание – сооружение» выражается аналитическими условиями надёжности [30]:

$$N \leq \Phi, S \leq S_{np}, \quad (1.1)$$

где Φ – несущая способность основания;

N – нагрузка на основание;

S – величина совместной деформации системы «основание – сооружение»;

S_{np} – предельно допустимая величина совместной деформации системы с учётом жёсткости составляющих.

Главная трудность количественной оценки состояния для обеспечения надёжности системы «основание – сооружение» состоит в правильности и точности определения значений формул (1) [30].

Условие надёжности грунтов основания, слагающих застраиваемую территорию, записывается в виде [30]:

$$E_{oc} \geq E_{kn}, \quad (2)$$

где E_{kn} – контрольный по надёжности модуль деформации грунта основания для возводимого здания, МПа;

E_{oc} – осреднённый по площади и в пределах деформируемой зоны модуль деформации, МПа.

В пределах площади проектируемого здания величину контрольного модуля деформации можно вычислить с применением метода эквивалентного слоя в соответствии с работой [15]:

$$E_{kn} = A\omega\beta\epsilon \frac{P_{дон}}{S_{np}}, \quad (3)$$

где $A\omega$ – коэффициент эквивалентного слоя, зависящий от формы, жёсткости фундамента и коэффициента бокового расширения грунта;

β – коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения грунта;

ϵ – ширина фундамента, принятая по конструктивным соображениям в зависимости от расчётного сопротивления подстилающего основания, согласно (1);

$P_{дон}$ – дополнительное давление, которое принимают по треугольной эпюре с вершиной, на глубине H_A и основанием под подошвой фундамента:

$$P_{дон} = q - P_{бит}, \quad (4)$$

где S_{np} – предельно допустимая величина совместной деформации основания и здания, принятая исходя из эксплуатационной пригодности для наиболее распространённых типовых, определяется согласно СП.

Мощность активной зоны равна $H_A = 2h_3$ согласно [16] расчётной схеме, где h_3 – мощность эквивалентного слоя, под которым по-

нимается слой, осадка которого при сплошной нагрузке в точности равна осадке фундамента на упругом полупространстве:

$$h_3 = A\omega\epsilon. \quad (5)$$

Оценку надёжности грунта в пределах сжимаемой толщи осуществляют путём сравнения E_{kn} и осреднённого модуля деформации E_{oc} , определённого по данным инженерно-геологических изысканий с учётом характера напластования грунтов, их прочностных и деформационных свойств, ориентировочных размеров фундаментов, глубины заложения и действующих напряжений в пределах активной зоны.

Для определения E_{oc} находят приведённый модуль деформации:

$$E_{пред} = \frac{\sum \omega_{ni}}{\sum \frac{\omega_{ni}}{E_i}}, \quad (6)$$

где ω_{ni} – площадь эпюры дополнительных давлений на грунт по оси фундамента, действующих в пределах i слоя с модулем деформации, полученного путём наложения расчётной схемы на существующее инженерно-геологическое напластование. Осреднённое значение модуля общей деформации грунтов основания определяется в соответствии с СП как отношение суммы приведённых значений модулей деформации отдельных характеристик по геологическому строению участков, умноженных на их площадь, к суммарной площади, занимаемой зданием или сооружением:

$$E_{oc} = \frac{\sum E_{np,i}^{cp} \cdot S_i}{\sum S_i}, \quad (7)$$

где $E_{np,i}^{cp}$ – среднее значение приведённых модулей деформации на отдельных характерных по геологическому строению площадях застраиваемой зданием территории;

S_i – территория, занимаемая зданием, состоящая из однородных по геологическому строению участков, м²;

S – площадь однородного по геологическому строению участка, м.

Условие надёжности основания в пределах сжимаемой толщи и площади застройки небольших по площади зданий ($F < 500$ м²) или их отдельных частей при $F < 500$ м²:

$$E_{oc} \geq E_{kn}, E_{oc} < E_{kn}. \quad (8)$$

Если $E_{oc} \geq E_{kn}$ грунт считается надёжным и может быть использован в качестве естественного основания без дополнительных инженерных мероприятий. При этом условии необходимо учитывать мероприятия по исключению воздействия на фундамент и здание структурно-неустойчивых

свойств грунтов, например, таких как просадочных, набухающих, пучинистых и т. д.

В случае $E_{ос} < E_{кн}$ – основание считается слабым и необходимо искусственно закрепить или снизить удельное давление по подошве фундамента.

С точки зрения прогноза возможных деформаций сооружения, по мнению В. Г. Тишина [14], интерес представляют не любые неоднородности основания, а только наиболее крупные из них.

Оценка неоднородности основания в плане проектируемого или эксплуатируемого здания (сооружения) по глубине простираения согласно [14, 16] может проводиться с использованием двух подходов:

- замены реального неоднородного массива грунтов фиктивной однородной средой, которая взаимодействует с сооружением как реальный неоднородный массив;

- построения структурной модели основания, так или иначе учитывающей его неоднородность, которая вводится в расчёты или общую имитационную модель системы основание – сооружение.

«Из приведённых соображений можно заключить, что замена реального неоднородного массива фиктивной однородной средой из-за недостаточной, как правило, подробной базы знаний об основании в пределах пятна застройки и трудностей как теоретического, так и вычислительного характера, большинство зданий (сооружений) и до настоящего времени рассчитывается путём введения моделей основания в виде фиктивной среды. Нами применяется эта фиктивная среда для качественной оценки основания с точки зрения надёжности для определённой категории зданий. Этот подход с выбором количественного критерия надёжности позволяет осуществить локальное категорирование территории застройки, для оценки качества основания применительно к определённой категории зданий и сооружений, а также позволяет более обоснованно выбрать тип фундаментов или вид инженерной подготовки основания с целью обеспечения его надёжности в условиях недостаточной информации об основании» [14].

Расчёт надёжности одиночной сваи в составе фундамента по несущей способности грунтов основания определяется из условия согласно СП 50-102-2003:

$$N = \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (9)$$

где N – продольное усилие в свае от расчетных нагрузок;

F_d – расчетная несущая способность грунта основания одиночной сваи (несущая способность сваи), определяемая по результатам испытаний свай или образцов грунта;

γ_k – коэффициент надёжности, принимаемый в зависимости от способов определения F_d и в ряде случаев от числа свай в фундаменте, равен:

- 1,2 – если несущая способность сваи определена по результатам полевых испытаний статической нагрузкой;

- 1,25 – по результатам статического зондирования грунта, динамических испытаний сваи, выполненных с учетом упругих деформаций грунта, а также полевых испытаний грунтов эталонной сваей или сваей-зондом;

- 1,4 – если несущая способность сваи определена расчетом, в том числе по результатам динамических испытаний сваи, выполненных без учета упругих деформаций грунта;

- 1,4 (1,25) – для фундаментов опор мостов при низком ростверке, на висячих сваях и сваях-стойках, а при высоком ростверке – только при сваях-стойках, воспринимающих сжимающую нагрузку независимо от числа свай в фундаменте.

По мнению автора [19], «редакция текста нормативных документов такова, что непонятно, относится ли положение об учете числа свай к проектированию фундаментов любых сооружений или это касается только мостов. Если речь идет только о мостах (этот вывод можно сделать из анализа прежних и некоторых региональных редакций нормативных документов), тогда почему данное положение не распространяется на фундаменты зданий или других сооружений. Понимание этого момента важно для эффективности принимаемого решения, так как приходится делать выбор между значениями коэффициента от 1,25 до 1,75. К примеру, в фундаментах опор башенных (мачтовых) сооружений, рассчитываемых на сжатие и (или) выдергивание, требуется ограниченное число свай и необоснованное увеличение коэффициента при проектировании вызывает значительное удорожание строительства, а необоснованное уменьшение γ_k может снизить надёжность сооружения».

Расчет оснований фундаментов рекомендуется выполнять по методу предельных состояний (ГОСТ 27751–88), в котором все коэффициенты надёжности распределены на основные группы по: материалу, нагрузке, условиям работы и ответственности. Переход от нормативных значений сопротивлений материалов к расчетным осуществляется через коэффициент надёжности по материалу γ_m по формуле:

$$R = \frac{R_m}{\gamma_m}. \quad (10)$$

При нормальном законе распределения случайных величин сопротивлений справедлива вероятностная интерпретация сопротивлений материалов по формулам

$$\begin{aligned} R_n &= \bar{R}(1 - \mu_R \nu_R) \\ R &= \bar{R}(1 - \beta_R \nu_R) \end{aligned} \quad (11)$$

и коэффициентов надежности по материалу в виде:

$$\gamma_m = \frac{R_n}{R} = \frac{1 - \mu_R v_R}{1 - \beta_R v_R}, \quad (12)$$

где μ_R и β_R – коэффициенты, характеризующие степень обеспеченности нормативных и расчетных значений сопротивлений; v_R – коэффициент вариации сопротивления. Коэффициент вариации для различных свойств грунта, в том числе коэффициента вариации несущей способности грунта основания сваи, определяются согласно ГОСТ 20522-96.

Нормативные значения характеристик находят как среднестатистические, то есть $F_{dn} = \bar{F}_d$, а расчетные значения получают делением нормативного значения на коэффициент надежности по грунту γ_g , $F_d = \frac{F_{dn}}{\gamma_g}$. Таким обра-

зом, подтверждается аналогия между коэффициентами надежности по грунту и материалу.

Грунт крайне неоднородный материал, коэффициент вариации сопротивления песчаных и глинистых грунтов колеблется в широких пределах $v_R = 0,05-0,5$ [19]. Статистикой механические свойства грунта сложно оценить из-за чувствительности образцов к способам изготовления, хранения, испытания и систематических ошибок эксперимента. Поэтому изменчивость механических характеристик в природе, в отличие от других материалов, меньше, чем в опытных образцах. Особенно это касается изысканий на площадках небольших размеров. Наиболее просто и точно можно получить характеристики изменчивости грунта методом статического зондирования. В процессе изысканий, согласно нормам, требуется статистическая обработка результатов измерений несущей способности свай не менее чем в шести точках зондирования.

При этом получают значения v_F , коэффициент надежности $\gamma_g = \frac{1}{1 - \mu_F v_F}$ и соответственно

$\gamma_k = \frac{1 - \mu_F v_F}{1 - \beta_F v_F}$, где $\mu_F = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}}$ – коэффициент, характеризующий степень обеспеченности нормативных значений несущей способности сваи по грунту в зависимости от числа определений n ; α t – коэффициент Стьюдента (например, $\mu_F = 0,792$ при $n = 6$).

Расчетные предельные значения коэффициента вариации $-v_{Fu} = \frac{\gamma_k - 1}{\beta_F \gamma_k - \mu_F}$, доверительную вероятность при вычислении расчетных значений которого принимают в соответствии с нормами проектирования различных видов сооружений: при расчете по несущей способности до-

верительная вероятность не менее $\alpha = 0,95$, а для мостов – не менее $\alpha = 0,98$ [20].

В свайном кусте коэффициент вариации такой системы зависит от числа свай m в кусте и равен:

$$v_F = \sqrt{v_{F1}^2 + v_{F2}^2 / m}. \quad (13)$$

Расчетное значение несущей способности системы – куста свай определяется по формуле:

$$F_n = \bar{F}_d n \left(1 - \beta_F \sqrt{v_{F1}^2 + v_{F2}^2 / m} \right). \quad (14)$$

Из анализа формулы (14) видно, что при увеличении числа свай m несущая способность куста приближается к сумме расчетных значений несущей способности одиночных свай, определяемых по формуле $F_1 = \bar{F}_d (1 - \beta_F v_F)$.

Такой подход к учету числа свай в фундаменте пользуется нормами применительно к сплошным свайным полям жестких сооружений (при числе свай более 100), если несущая способность свай определена по результатам статических испытаний. При этом принимается коэффициент надежности $\gamma_f = 1$. Коэффициент надежности для куста свай с жестким ростверком в общем случае можно получить из совместного учета:

$$\gamma_k = \frac{F_1 n}{F_n} = \frac{1 - \mu_F v_{F1}}{1 - \beta_F \sqrt{v_{F1}^2 + v_{F2}^2 / m}}. \quad (15)$$

По данным примеров расчёта автора [19] подтверждается вероятностная основа коэффициента надежности γ_f и зависимость расчетных значений несущей способности свай по грунту от изменчивости свойств грунта и числа свай в фундаменте, когда по результатам статического зондирования в шести точках для фундамента в виде куста из четырёх свай с жестким железобетонным ростверком получено $v_{F1} = 0,2 \mu v_{F2} = 0,1$. Обеспеченность (надежность) расчетного значения несущей способности куста при коэффициентах $\gamma_f = 1,25$ и $\gamma_f = 1,6$ по нормальному закону распределения соответствует вероятности (надежности) фундамента $P_F = 0,944 < 0,98$ и $P_F = 0,989 > 0,98$.

Таким образом, надёжность системы «свайные фундаменты с уширениями – основание» зависит от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, физико-механических свойств материала уширения, грунтовых условий и базируется на основе теории надежности вероятностного подхода. Факторы, отрицательно влияющие на надежность системы вероятностного подхода, условно можно разделить на три группы в зависимости от жизненных циклов: проектирование; строительство и эксплуатацию. По результатам раскопок, аналитических и экспери-

ментальных исследований к факторам, отрицательно влияющим на надежность системы вероятностного подхода, следует относить:

- ошибки при инженерно-геологических изысканиях;
- влияние внешних воздействий в измененных режимах;
- слабая технологическая дисциплина в построечный период (заложение дефектов);
- недоброкачественные используемые материалы;

- ошибки в проектировании оснований и фундаментов;
- отсутствие или недостаточный геотехнический мониторинг строительства;
- недостаточная техническая квалификация служб эксплуатации и ремонтного персонала.

На рисунке 5 представлена классификация факторов, отрицательно влияющих на надежность системы «свайные фундаменты с уширениями – основание».



Рис. 5. Классификация факторов, отрицательно влияющих на надежность системы

В дальнейших исследованиях рассмотрим влияние изменчивости контролируемых параметров концевых и поверхностных уширений свай при расчете надежности свайного куста по критерию несущей способности грунта многослойного основания и основания на стадии

эксплуатации, что позволит установить степень влияния на надежность – изменчивость значений вероятностных характеристик расчетных контролируемых параметров свайных фундаментов с уширениями.

Список литературы

1. Daiva A. Seavey. Effects of construction methods on the axial capacity of drilled shafts / Daiva A. Seavey, Scott A. Ashford. – Department of Structural Engineering University of California, 2004.
2. Murthy V. N. S. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering / V. N. S. Murthy. – Marcel Dekker, Inc. 2002. – С. 741–751.
3. Тер-Мартirosян А. З. Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов : автореф. дис. ... д-ра тех. наук / А. З. Тер-Мартirosян. – МОСКВА, 2016. – 22 с.
4. Купчикова Н. В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями / Н. В. Купчикова // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, вып. 12 (111). – С. 1361–1368.
5. Купчикова Н. В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчёта / Н. В. Купчикова // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1 (48). – С. 88–96.
6. Купчикова Н. В. Методика расчёта свай с уширениями, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций / Н. В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 24–26.
7. Мангушев Р. А. Современные свайные технологии : уч. пос. / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин. – Москва : АСВ, 2010. – 239 с.
8. Штоль Т. М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений : уч. пос. / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – Москва : Стройиздат, 1990. – 288 с.
9. Федоров В. С. Конструктивные решения свайных фундаментов с поверхностными и концевыми уширениями для структурно-неустойчивых оснований / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1. – С. 88–91.
10. Луга А. А. Свайные работы : уч. пос. / А. А. Луга. – Москва : Трансжелдориздат, 1947. – С. 42–51.
11. Есипов А. В. Взаимодействие микросвай с грунтовым основанием при усилении фундаментов : автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Тюмень, 2002. – 168 с.
12. Бондаренко В. М. Модели при решении технических задач / В. С. Федоров, В. М. Бондаренко // Перспективы развития строительного комплекса : материалы VIII Международной научно-практической конференции / под ред. В. А. Гутмана, Д. П. Ануфриева. – Астрахань : АИСИ, 2014. – С. 262–267.

13. Rytov S. A. New geotechnical technologies / S. A. Rytov // Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. – Dublin, Ireland, 11–14 September 2002. – С. 311–315.
14. Тишин В. Г. О критерии надёжности грунта как естественного основания / В. Г. Тишин // Вестник УлГТУ. – 2005. – № 1. – С. 69–72.
15. Цытович А. А. Механика грунтов / А. А. Цытович. – Москва : Высшая школа, 1973. – С. 446.
16. Осипов В. И. Уплотнение и армирование слабых грунтов методом «геокомпозит» / В. И. Осипов, С. Д. Филимонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2002. – № 5. – С. 15–21.
17. Шитова И. В. Об оценке надёжности расчёта деформаций оснований / И. В. Шитова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. – № 2. – С. 17–20.
18. Михеев В. В. О применении теории надёжности в нормах проектирования оснований и фундаментов / В. В. Михеев, И. В. Шишова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1983. – № 2. – С. 10–12.
19. Краснощеков Ю. В. О надёжности свайных фундаментов / Ю. В. Краснощеков // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2008. – № 1 (7). – С. 18–22.
20. Шпете Г. Надёжность несущих строительных конструкций / Г. Шпете. – Москва : Стройиздат, 1994. – 288 с.
21. Кятов Н. Х. Расчет надёжности свайного фундамента по критерию несущей способности грунта основания / Н. Х. Кятов // Известия Северо-Кавказской государственной академии. – 2019. – № 4 (22). – С. 58–65.
22. Уткин В. С. Расчет надёжности щелевого фундамента по критерию несущей способности грунта основания на стадии эксплуатации / В. С. Уткин, О. Л. Борисова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 6 (57). – С. 7–17.
23. Уткин В. С. Расчет механических систем при ограниченной статистической информации : мон. / В. С. Уткин, Л. В. Уткин. – Вологда : ВоГТУ, 2008. – 188 с.

© Н. В. Купчикова

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В. О факторах, влияющих на надёжность свайных фундаментов с уширениями // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (37). С. 54–61.