



## Расчет надежности щелевого фундамента по критерию несущей способности грунта основания на стадии эксплуатации

В.С. Уткин<sup>1\*</sup>, О.Л. Борисова<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Вологодский государственный университет, 160000, Вологда, ул. Ленина, 15

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	История	Ключевые слова
УДК 624.151.5:642.046.5 doi: 10.18720/CUBS.57.1	Подана в редакцию 10.03.2017	щелевой фундамент; несущая способность; основание; фундамент; надежность; сцепление грунта; органическая информация;

### АННОТАЦИЯ

Приведена краткая информация о щелевых фундаментах, их преимуществах по сравнению с традиционными фундаментами. Основное внимание в работе уделено щелевым фундаментам для уникальных зданий и сооружений. К этим зданиям и сооружениям предъявляются повышенные требования по безопасности эксплуатации, содержащиеся в последних правительственных документах Российской Федерации и стандартах. Представлен метод расчета надежности щелевого фундамента по несущей способности основания фундамента, так как он представляет собой один из главных несущих элементов здания, определяющего надежность всей системы. Расчет надежности фундамента проведен по критерию несущей способности основания для индивидуального здания или сооружения при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах в расчетной математической модели предельного состояния на стадии эксплуатации. При такой статистической информации вероятностно-статистические методы расчетов надежности, рекомендованные существующим стандартом некорректны. В связи с этим предложены методы расчетов надежности и прогнозирования остаточного временного ресурса щелевых фундамента на стадии эксплуатации на основе теории возможностей, получившей в последнее время существенное развитие.

### Содержание

1.	Введение	8
2.	Состояние вопроса	9
3.	Постановка проблемы	9
4.	Предлагаемое решение проблемы	10
5.	Результаты и обсуждение	12

#### Контакты авторов:

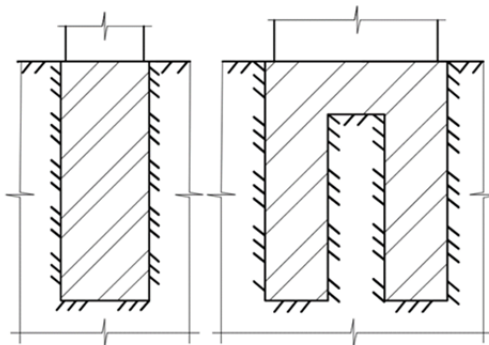
- 1\* +7(8172)518396, UtkinVoGTU@mail.ru (Уткин Владимир Сергеевич, д.т.н., профессор)  
2 +7(953)5197542, olga.borisova94@mail.ru (Борисова Ольга Леонидовна, студент)

## 1. Введение

Здания и сооружения, как механические системы в понятиях теории надежности, состоят из трех основных элементов – основания, фундамента и надфундаментной конструкции. Совместная работа этих элементов, как отмечает Б.А. Гарагаш в [1], охватывает широкий спектр проблем, в том числе оценку надежности и остаточного ресурса отдельных элементов и системы в целом. В процессе эксплуатации зданий и сооружения эти количественные показатели безопасности эксплуатации снижаются и для их оценки в работе [1] применяется подход на основе теории вероятностей с использованием нормального (гауссовского) распределения для описания статистических характеристик используемых параметров в математических моделях предельных состояний.

В свете поставленных проблем в [1], а также целого ряда правительственных документов по безопасности строительной продукции нами рассматриваются методы расчетов надежности и остаточного временного ресурса сравнительно новых видов щелевых фундаментов на стадии эксплуатации в условиях ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах в математических моделях предельного состояния, при которых применение вероятностных методов расчетов надежности некорректно.

Щелевой фундамент представляет из себя одну или несколько сравнительно узкие бетонные или железобетонные стены с глубиной заложения, зависящей от значения эксплуатационной нагрузки, несущих свойств грунта, глубины промерзания, наличия грунтовой воды и от значения сил трения и сцепления грунта с бетонной поверхностью вертикальных граней фундамента на естественном основании.



**Рисунок 1. Схемы одно- и двухщелевых фундаментов**

На рис. 1 показаны два примера конструкций щелевых фундаментов, из большого числа применяемых для зданий и сооружений. В современном строительстве применяются различные типы щелевых фундаментов и различные технологии их устройства. Недостатками традиционных фундаментов на естественном основании являются передача нагрузки на основание только через подошву фундамента, что приводит к увеличению размеров фундамента, к перерасходу арматуры и бетона, необходимости устройства опалубки и т.д. По результатам исследований в 80-х годах прошлого столетия была предложена идея применения метода «стена в грунте» для возведения фундаментов как мелкого, так и глубокого заложения, после чего возникло понятие «щелевые фундаменты». Преимущества щелевых фундаментов заключаются в снижении их трудоемкости изготовления, отсутствия опалубки, механизации всех процессов возведения, включения в работу на восприятие нагрузки от надфундаментной конструкции не только подошвой фундамента, но и боковыми поверхностями фундамента за счет сил трения-сцепления в отличие от ленточных, столбчатых и других видов фундаментов, и в конечном счете к снижению стоимости строительства. На практике глубина заложения щелевого фундамента достигает от одного до нескольких десятков метров при ширине фундаментной стены, равной ширине опирающейся стены здания или более. Особая эффективность достигается при применении щелевых фундаментов при больших нагрузках, например, для высотных зданий, мачт, транспортных эстакад и т.д., которые относятся к уникальным сооружениям. Учитывая малый опыт эксплуатации щелевых фундаментов, в частности для высотных зданий, рассчитанных на длительный срок эксплуатации (более 100 лет), чрезвычайно важным является разработка методов определения оперативной надежности (безотказности эксплуатации) фундаментов по всем критериям их работоспособности по первой и второй группам предельных состояний, предусмотренных Межгосударственным стандартом ГОСТ 31 937 – 2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», вступившим в силу 01.01.2014 и Межгосударственным стандартом ГОСТ 27751 – 2014 «Надежность строительных конструкций и оснований».

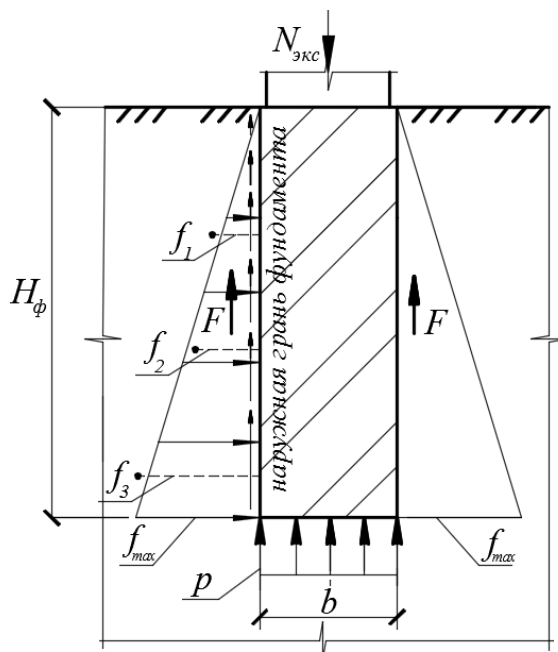
## 2. Состояние вопроса

В последнее время появилось много отечественных и зарубежных работ по методам расчета надежности строительных конструкций. К ним можно отнести работы Б.А. Гарагаш [1], В.Д. Райзера [2], одна из ранних работ А.Р. Ржаницына [3], известные работы Т. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати [4], А.Г. Тамразяна [5], Г. Шпете [6], А.А. Иванова [7], работы последних лет [8-15] и др. Все эти труды посвящены проблемам оценки несущей способности и расчетам надежности строительных конструкций, выполняемых вероятностно-статистическим методом. Этот метод рекомендован стандартом ГОСТ 27756 – 2014, но при условии, если имеется достаточно данных об изменчивости параметров в расчетных моделях предельных состояний. При ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах применение этих методов некорректно. В связи с этим появились работы по проблемам расчетов надежности в различных отраслях при ограниченной информации о контролируемых параметрах. К ним можно отнести работы В.П. Кузнецова [16], В.С. Уткина [17,18], Б.Д. Кауфмана [19]. По данной проблеме в последнее время защищен ряд диссертаций [20-24], появились основополагающие математические работы Д. Дюбуа и А. Прада [25], Уткина Л.В. [26], L.A. Zaden [27], А.Р. Dempster [28] и др. Методы расчетов надежности ленточного фундамента по всем критериям его работоспособности при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах приведены в работе [29]. Однако в приведенных работах проблема расчетов надежности щелевых фундаментов в представленной постановке не рассматривалась.

## 3. Постановка проблемы

Известно, что уникальные здания и сооружения в основном относятся по ГОСТ 27751-2014 к группам ответственности 1а и 1б, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по безопасности их эксплуатации. В связи с этим на стадии эксплуатации уникальных зданий и сооружения предусматривается периодическое их обследование и оценка надежности (безопасности) несущих элементов по всем критериям работоспособности в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ 31937 – 2011 и ГОСТ 27751-2014. Одной из ответственных несущих элементов уникальных зданий и сооружения является их фундамент. Несущая способность и надежность фундамента определяется по критериям первой и второй групп предельных состояний.

Основными критериями работоспособности щелевых фундаментов являются несущая способность грунтов основания и прочность материала фундамента [30]. В [30] предложен метод расчета несущей способности основания щелевого фундамента, а в [7] этой проблеме посвящена научная работа.



**Рисунок 2. Расчетная схема однощелевого фундамента,  $F = f_{\max} H_{\phi} / 2$ , Н/м – погонная равнодействующая сила трения-сцепления на одной стороне фундамента,  $f_i$  – измеряемые усилия сдвига грунта по поверхности бетонного фундамента, определяемые опытным путем**

#### 4. Предлагаемое решение проблемы

Ниже рассматривается метод расчета надежности щелевых фундаментов на примере однощелевого фундамента по расчетной схеме, представленной на рис. 2, возможным методом. Будет рассмотрена проблема расчета надежности щелевого фундамента при центральном сжатии по критерию несущей способности грунта основания фундамента. Расчет производится из условия не превышения внешней эксплуатационной нагрузкой  $N_{экс}$  предельного по прочности грунта давления под подошвой фундамента  $p$  и суммарных сил  $F$  трения-сцепления по боковым поверхностям бетонного (при необходимости железобетонного) фундамента с учетом исследований в [30] по расчетной схеме, приведенной на рис. 2. Это условие можно представить (для участка фундамента длиной  $l = l_m$ ) в виде:

$$N_{экс} \leq N_A + 2F, \quad (1)$$

где:  $N_{экс}$  – внешняя эксплуатационная нагрузка с учетом веса одного погонного метра фундамента,

$N_A$  – сила предельного сопротивления грунта по подошве фундамента площадью

$A = l \cdot b$ ,  $b$  – ширина фундамента;

$F$  – суммарная сила трения-сцепления на одной боковой поверхности фундамента. Из-за невозможности измерить  $F$  на второй грани фундамента предлагается принять её равной измеренному значению  $F$ .

Вертикальную составляющую силу  $N_A$  предельного сопротивления грунта по СП 22.13330.2011 определяют для фундамента с плоской подошвой и для однородного грунта до глубины не менее ширины фундамента по формуле:

$$N_A = b \cdot l \cdot (N_\gamma \xi_\gamma b \gamma_1 + N_c \xi_c c_1), \quad (2)$$

где:  $N_\gamma$  и  $N_c$  – безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по таблице СП 22.13330.2011 в зависимости от угла внутреннего трения  $\varphi_1$  (при угле наклона к вертикали  $\delta = 0$ );

$\xi_\gamma$  и  $\xi_c$  – коэффициенты формы фундамента,  $\xi_\gamma = 1 - 0.25/(l/b)$ ,  $\xi_c = 1 + 0.3/(l/b)$ ,

$\gamma_1$  – значение удельного веса грунта ниже фундамента, кН/м<sup>3</sup>;  $c_1$  – значение удельного сцепления грунта, кПа.

Значения  $\gamma_1$  и  $c_1$  определяются известными лабораторными методами [31] и ГОСТ 12248-2010 с учетом ГОСТ 20522-2012 и описываются нормальным законом распределения или возможностными методами. Внешнюю нагрузку  $N_{экс}$  в (1) можно определять различными методами. Значение  $N_{экс}$  можно определять различными способами, например, методом, описанным в патенте на изобретение [32]. Основная проблема в (1) заключается в определении суммарной силы  $F$  трения-сцепления между грунтом и неровной боковой поверхностью фундамента. Неровность поверхности фундамента является следствием уплотнения бетона и внедрением в грунт траншеи (без опалубки) щебня и других составляющих бетона.

Надежность щелевого фундамента будем определять из условия (1) с учетом изменчивости контролируемых параметров (отмечаемых волнистой линией над буквами). Математическую расчетную модель предельного состояния по (1) с учетом (2) можно представить в виде:

$$\tilde{N}_{экс} \leq b \cdot (N_\gamma \xi_\gamma b \tilde{\gamma}_1 + N_c \xi_c \tilde{c}_1) + 2\tilde{F}, \quad (3)$$

Под надежностью по ГОСТ 27751-2014 понимается требования выполнения строительным объектом его функций в течение расчетного срока эксплуатации (фундамента) по различным критериям его работоспособности. В предлагаемой статье рассматривается метод расчета надежности однощелевого фундамента по критерию (1) на стадии эксплуатации индивидуального строительного объекта.

Боковая поверхность бетонного фундамента неровная, часть щебня бетона внедрена в грунт стены траншеи во время укладки и уплотнения бетона при возведении фундамента, а часть грунта заполняет пустоты в бетонной поверхности фундамента. Оценить силу сопротивления грунта только силой трения или только силой сцепления грунта и бетона нельзя. Для измерения суммарной силы трения-сцепления используются различные устройства. [31,33]. Суммарная сила трения-сцепления определяется на различных участках поверхности фундамента по высоте с экстраполяцией графика на всю высоту фундамента, как показано на рис. 2 и на длине фундамента на трех или более участках

фундамента. В результате будем иметь для статистики несколько ( $n \geq 3$ ) значений  $F_i$  на фундамент с наружной его стороны.

На практике обследования щелевого фундамента индивидуального здания, как правило, информация, получаемая измерениями параметров в (3) ограниченная, не позволяющая выявить функции распределения случайных величин и достоверно определить значения параметров функций распределения для вероятностных методов расчета. В связи с этим для расчета надежности щелевого фундамента используется подход на основе теории возможностей [25]. По этой теории случайная величина, называемая нечеткой переменной, характеризуется функцией распределения возможностей  $\pi_x(x)$ . На практике для нечеткой переменной  $X$  нашла наибольшее применение [34] функция распределения возможностей, представленная на рис. 3 и в аналитическом выражении в виде:

$$\pi_x(x) = \exp\left[-\left((x - a_x)/b_x\right)^2\right] \quad (4)$$

В (4)  $x$  – возможное значение нечеткой переменной;  $a_x = 0,5 \cdot (X_{\max} + X_{\min})$ ;  $b_x = 0,5 \cdot (X_{\max} - X_{\min}) / \sqrt{-\ln \alpha}$ ; уровень среза  $\alpha \in [0; 1]$ . Значением  $\alpha$  задаются [35].

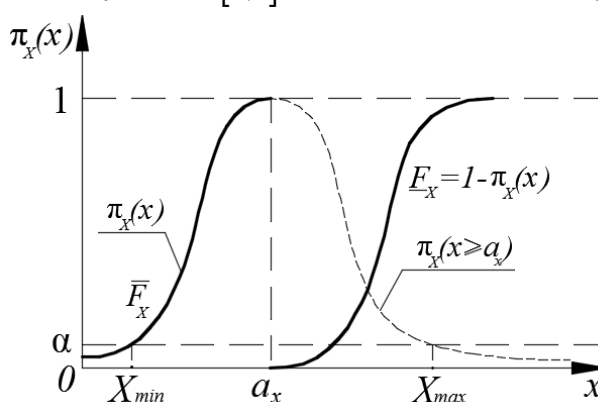


Рисунок 3. Интерпретация функции  $\pi_x(x)$

Теоретическое обоснование и методы использования выбранного подхода к расчетам надежности механических систем можно найти в работах [17,18 и др]. Используем их для расчета надежности щелевого фундамента.

Рассмотрим (3) с числом измерений  $F_i$  равным  $n=3$  (на длине фундамента) и с результатами измерений других нечетких параметров. Для согласования с терминологией и обозначениями, принятыми в теории возможностей [25], введем обозначения нечетких переменных в виде  $\tilde{N}_{экс} = X$ ,  $b^2 N_{\gamma} \xi_{\gamma} \tilde{\gamma}_1 = Y$ ,  $b N_c \xi_c \tilde{c}_1 = Z$ ,  $2\tilde{F} = T$ , определяемых на длине фундамента 1 п.м. и измеряемых в Н/м. Условие (3) примет вид:

$$X \leq Y + Z + T \quad (5)$$

Все нечеткие переменные в (5) будем описывать функциями вида (4). При одинаковых значениях  $\alpha$  по правилу сложения нечетких переменных по [25] найдем суммарную функцию распределения правой части  $\pi_{\Phi}(\varphi)$ , где  $\Phi = Y + Z + T$ , для которой  $a_{\Phi} = a_y + a_z + a_t$ ,  $b_{\Phi} = b_y + b_z + b_t$ . Графический вид функции  $\pi_{\Phi}(\varphi)$  будет похож на вид функции  $\pi_x(x)$ , содержащий аналогичные параметры, примерный вид функции  $\pi_{\Phi}(\varphi)$  приведен на рис. 4.

При  $a_x \leq a_{\Phi}$ , что соответствует фундаменту в рабочем (эксплуатируемом) состоянии по (5), значение возможности безотказной работы  $R$  фундамента по условию (3) или (5) будет  $R=1$ . Возможность отказа  $Q$  найдем из  $\pi_x(x)$  или  $\pi_{\Phi}(\varphi)$  при значении  $x_*$  (или  $\varphi_*$ ), которые найдем из корней уравнения  $\pi_x(x) = \pi_{\Phi}(\varphi)$  при  $x_* = \varphi_*$  и при соблюдении условия  $a_x \leq x_* \leq a_{\Phi}$ , (см. рис. 4). Подставляя вместо  $\pi_x(x)$  и  $\pi_{\Phi}(\varphi)$  их выражения вида (4), получим, после преобразований,

$\left| (x_* - a_x) / b_x \right| = \left| (x_* - a_\varphi) / b_\varphi \right|$ . Отсюда найдем значение  $x_*$  и по  $\pi_x(x_*)$  или  $\pi_\varphi(x_*)$  вида (4) найдем  $Q$ , в виде  $Q = \exp\left[-((x_* - a_x) / b_x)^2\right]$  или  $Q = \exp\left[-((\varphi_* - a_\varphi) / b_\varphi)^2\right]$ , значение которого показано на рис. 4.

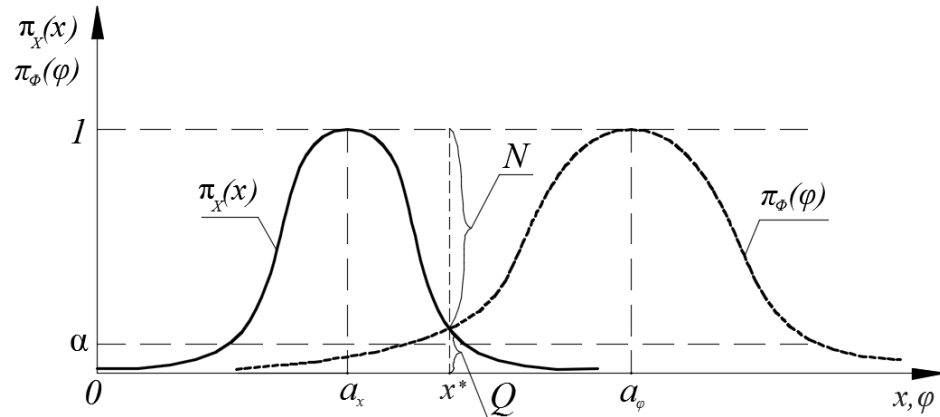


Рисунок 4. Функции распределения возможностей  $\pi_x(x)$  и  $\pi_\varphi(\varphi)$

Значение необходимости безотказной работы фундамента по критерию несущей способности (3) будет  $N = 1 - Q$ , как показано на рис. 4, надежность фундамента характеризуется интервалом  $[N, R]$ .

Отметим, что надежность (вероятность события (3)) в вероятностно-статистических методах расчета определялась бы значением вероятности  $P$ , которая полностью определяет и вероятность противоположного события (отказа  $Q = 1 - P$ ). В возможностных методах [25] и в расчетах надежности [34], требуются два числа значений  $(N, R)$  и надежность характеризуется интервалом значений  $[N, R]$  или  $[P, \bar{P}]$  с учетом двух граничных функций  $\underline{F}(x)$  и  $\bar{F}(x)$  как для  $x$ , так и для  $\varphi$  (см. рис.3).

При расчете фундамента по всем «n» критериям его работоспособности и с результатами расчетов надежности в виде  $Q_i$  и  $R_i$ , по каждому критерию работоспособности, надежность фундамента в целом в возможностном методе будет определяться по [36] значениями  $Q = \max Q_i$  и  $R = \min R_i$ , где  $i = 1 \dots n$ , n – число всех критериев работоспособности фундамента.

**Пример.** Пусть условно известны значения:  $H_\varphi = 2\text{м}$ ;  $l = 10\text{м}$ ;  $\gamma_1 = \{14; 18; 20\}\text{кН/м}^2$ ;  $N_\gamma = 2,18$ ;  $N_c = 12,53$ ;  $\xi_\gamma = 0,915$ ;  $\xi_c = 1,03$ ;  $F = \{380; 400; 420\}\text{кН/м}^2$ ;  $X = N_{\text{экс}}$ ;  $N_{\text{экс}} = \{1100; 1180; 1260\}\text{кН/м}$ ;  $\alpha = 0,05$ .

Пусть  $X = N_{\text{экс}}$ ;  $Y = b^2 N_\gamma \xi_\gamma \tilde{\gamma}_1$ ;  $Z = b N_c \xi_c \tilde{c}_1$ ;  $T = 2\tilde{F}$ ; тогда  $a_x = 1180\text{кН/м}$ ;  $b_x = 47\text{кН/м}$ ;  $a_\varphi = 1354\text{кН/м}$ ;  $b_\varphi = 29,41\text{кН/м}$ ; так как  $a_x = 1180\text{кН/м} < a_\varphi = 1354\text{кН/м}$ , то  $R = 1$ . Из  $\left| (x^* - 1180) / 47 \right| = \left| (x^* - 1354) / 29,4 \right|$  найдем корень, который удовлетворяет условию  $1180 < 1288 < 1354$ . Тогда  $Q = e^{-((1288-1180)/47)^2} = e^{-5,46} = 0,0042$ ,  $N = 1 - Q = 0,9942$ . Надежность фундамента по критерию несущей способности грунта характеризуется интервалом  $[0,9942; 1]$ .

Если эксплуатационная нагрузка  $N_{\text{экс}}$  повысится, например надстройкой, на 8,5% до значений  $a_x = 1280\text{кН/м}$  и  $b_x = 38,5\text{кН/м}$ , то возможность отказа будет  $Q = 0,278$ , а  $N = 0,722$ . Надежность фундамента по несущей способности грунта понизится и будет  $[0,722; 1]$ , что недопустимо.

Нормативное значение вероятности безотказной работы зависит от значимости здания по условию безопасности. В ГОСТ 31937-2011, например, принимают в качестве нормативного значения вероятности отказа  $Q = 5 \cdot 10^{-6}$ .

## 5. Результаты и обсуждение

Предложен метод расчета надежности однощелевого фундамента. Этот метод расчета может быть использован для других видов щелевых фундаментов. Информация о значении надежности, как количественной меры безопасности фундамента по несущей способности основания позволит принять

объективное решение о продолжении его эксплуатации, а в необходимых случаях принять оптимальное решение по его усилению. Если удастся в течение некоторого срока эксплуатации зданий или сооружений определить оперативную надежность фундамента в виде нижних значений вероятностей  $\underline{P}_i$  более 3-х раз, то по этим результатам  $\underline{P}_i$  можно оценить остаточный временной ресурс  $t_{ост}$  фундамента, как показано на рис. 5, где  $P_{пред}$  – нормативное значение вероятности безотказной работы фундамента.

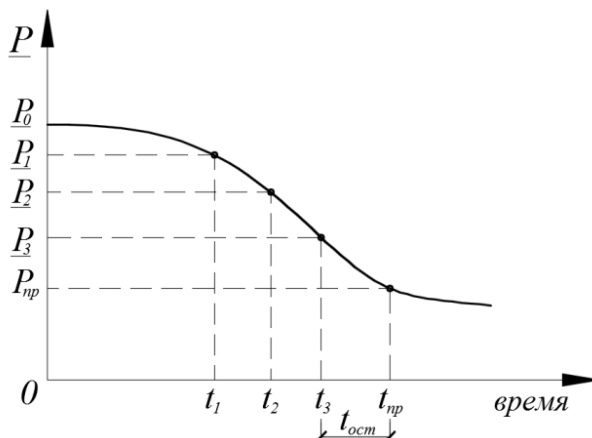


Рисунок 5. Временной остаточный ресурс  $t_{ост}$

Периодическое определение оперативной надежности позволит построить график зависимости значения надежности  $\underline{P}_i$  (нижнего значения вероятности) от времени эксплуатации фундамента и спрогнозировать остаточный временной ресурс фундамента при известном значении нормативной надежности, что имеет большое значение на стадии эксплуатации уникальных, а также других зданий и сооружений.

#### Литература

- [1] Гарагаш Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем "Основание-сооружение" при неравномерных деформациях основания в двух томах. М.: Издательство АСВ, 2012. 416 с.
- [2] Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании: монография. М.: изд-во АСВ, 1998. 304 с.
- [3] Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
- [4] Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании, пер. с англ. Ю.Д. Сухова. М.: Стройиздат, 1988. 584 с.
- [5] Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности конструкций и ключевых элементов - необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений». 2009. № 1. С. 160-171.
- [6] Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций, пер. с нем. О.О. Андреева. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
- [7] Иванов А.А. Оценка несущей способности оснований щелевых фундаментов на основе анализа напряженного состояния грунтового массива и экспериментальных данных: автореф. дис. к.т.н. Волгоград, 2013. 28 с.
- [8] Sorochan E.A., Shishkin V.Y., Kovalev V.A. Use of shallow slotted foundations // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2011. Vol. 48. Pp. 1.
- [9] Pu C.Z., Ping C.A. Failure characteristics and its influencing factors of rock-like material with multi-fissures under uniaxial compression // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2012. Jan 31; 22 (1). Pp. 185-191.
- [10] Duncan J.M., Sleep M. The need for judgement in geotechnical reliability studies // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2016. Aug 3. Pp. 1-5.
- [11] Zhang L., Liu Y.R., Yang Q. Evaluation of Reinforcement and Analysis of Stability of a High-Arch Dam Based on Geomechanical Model Testing // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2015. Mar 1;48(2). Pp. 803-818.
- [12] Li G., Lu Z., Xu J. A fuzzy reliability approach for structures based on the probability perspective // Structural Safety. 2015. Vol. 54. Pp. 10-18.

- [13] Kaufman B.D., Shulman S.G. Methods of the uncertain factors account in a reliability assessment of a "construction-foundation" system at seismic impacts. Proc. of 4th Annual International Conference on Civil Engineering. Athens, Greece. 2014. May.
- [14] Eryilmaz S., Tütüncü G.Y. Stress strength reliability in the presence of fuzziness // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2015. Vol. 282. Pp. 262-267.
- [15] Gao P., Yan S. Fuzzy dynamic reliability model of dependent series mechanical systems // Advances in Mechanical Engineering. 2013. Vol. 5. Pp. 685-721.
- [16] Кузнецов В.П. Интервальные статистические модели. Радио и связь, 1991. 544 с.
- [17] Уткин В.С. Расчет надежности оснований и фундаментов при различной информации. LAG LAMDERT Academic Publishing. Германия. 2014. 100 с.
- [18] Уткин В.С. Расчет надежности грунтовых оснований фундаментов зданий и сооружений по критерию деформации при ограниченной информации о нагрузках и грунтах // Инженерно-строительный журнал. 2016. №1. С. 4-13.
- [19] Кауфман Б.Д., Андрианова Е.А. Вероятностная и интервальная оценка динамического взаимодействия сооружений, расположенных на общем основании // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2013. т. 269. С.3-10.
- [20] Кауфман Б.Д. Оценка надёжности гидротехнических сооружений при динамических воздействиях в условиях неполноты исходной информации. Автореферат диссертации д.т.н. С-Петербург. 2015. 35 с.
- [21] Кошелева Ж.В. Оценка несущей способности, надежности и остаточного ресурса элементов железобетонных конструкций при ограниченной информации о контролируемых параметрах. Автореферат диссертации к.т.н., Вологда. 2004. 18 с.
- [22] Плотникова О.С. Определение надежности металлических конструкций в составе зданий и сооружений при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах. Автореферат диссертации к.т.н., Санкт-Петербург. 2008. 20 с.
- [23] Галаева Н.Л. Расчет надежности несущих элементов при ограниченной информации о параметрах модели предельных состояний. Автореферат диссертации к.т.н., Вологда. 2010. 23 с.
- [24] Ярыгина О.В. Методы расчета надежности железобетонных конструкций в составе зданий и сооружений при ограниченной статистической информации. Автореферат диссертации к.т.н., Санкт-Петербург. 2013. 23 с.
- [25] Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. М.: Радио и связь. 1990. 288 с.
- [26] Уткин Л.В. Анализ риска и принятия решений при неполной информации. СПб: Наука, 2007. 404 с.
- [27] Zaden L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility // Fuzzy sets and systems. 1978. Vol. 1. Pp. 3-28.
- [28] Dempster A.P. Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping // Annals of Mathematical Statistics. 1967. Vol. 38. No. 2. Pp. 325-329.
- [29] Уткин, В.С., Борисова О.Л. Расчет надежности ленточного фундамента под продольной стеной здания на стадии эксплуатации // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. №5. С. 50-58.
- [30] Павлов, В.В. Аверьянова Л.А., Алексеев Б.Г. Щелевые фундаменты зданий. Стройиздат, Красноярский отдел. 1992. 141 с.
- [31] Цытович Н. А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит, вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк. 1983. 288 с.
- [32] Способ измерения и мониторинга давления на бетонные и кирпичные несущие стены и фундаменты зданий и сооружений на заданном уровне на стадии их эксплуатации: пат. 2582495 Рос. Федерация: МПК СО1L1/18, СО1N3/08 Уткин В.С., Тропина Д.А., Горева Н.В.; заявитель и патентообладатель «Вологодский государственный университет»; опубл. 27.04.2016.
- [33] Устройство для определения суммарной силы трения и сцепления по боковой поверхности подземной части монолитного фундамента: пат. 126332, Рос. Федерация: МПК Е 02, D 1/00 Богомоллов А. Н., Богомоллова О. А., Иванов А. А.; заявитель и патентообладатель «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»; опубл. 27.03.2013.
- [34] Уткин В.С., Уткин Л.В. Расчет механических систем при ограниченной статистической информации: монография / Вологда: ВоГТУ. 2008. 188 с.
- [35] Уткин В.С., Соловьев С.А., Каберова А.А. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов возможным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. №6. С. 63-67.
- [36] Гуров С.В., Уткин Л.В. Надежность систем при неполной информации. СПб. 1999. 160 с.



## Calculation of the reliability of the slit foundation by the criterion of the bearing capacity of the foundation soil at the stage of operation

V.S. Utkin<sup>1\*</sup>, O.L. Borisova<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Vologda State University, 15, Lenina St., Vologda, Russia, 160000

---

### ARTICLE INFO

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.57.1

### Article history

Received 10.03.2017

### Keywords

the crevice base;  
the bearing capability;  
the basis;  
the foundation;  
reliability;  
clutching with soil;  
limited information;

---

### ABSTRACT

There is brief information about crevice foundations, their advantages over traditional foundations. The main attention in this work is paid to crevice foundations for unique buildings and constructions. Special demands on safety of operation are presented to these buildings and constructions, that are contained in recent governmental documents and in standards. The method of foundation reliability calculations as it is one of the main carrier of the building. The calculation of foundation reliability was carried out on the criterion of load bearing capacity of the foundation for individual building or construction with limited statistic information about controlled options in calculated mathematic model of limit state on operational stage. With this statistic information probabilistic-statistical of reliability calculations, recommended with the existing standard can't be applied. Due this foundation reliability calculations and crevice foundation residual time resource on operation stage predictions are offered.

---

#### Contact information:

1\* +7(8172)518396, UtkinVoGTU@mail.ru (Vladimir Utkin, Ph.D., Prof.)  
2 +7(953)5197542, olga.borisova94@mail.ru (Olga Borisova, Student)

## References

- [1] Garagash B.A. Nadezhnost' prostranstvennykh reguliruemyykh sistem "Osnovanie-sooruzhenie" pri neravnomernyykh deformatsiyakh osnovaniya v dvuh tomah. [Reliability of the space-regulated construction systems "Foundation-construction" at uneven deformations of the basis in two volumes]. Moscow: publishing house Association of Construction Universities, 2012. 416 p. (rus)
- [2] Rayzer V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii: monografiya [The reliability theory in construction design: monograph], Moscow: publishing house Association of Construction Universities, 1998. 304 p. (rus)
- [3] Rzhantsyn A.R. Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruksiy na nadezhnost'. [The theory of calculation of building constructions on reliability]. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (rus)
- [4] Augusti G., Baratta A., Kashiati F. Veroyatnostnye metody v stroitel'nom proyektirovanii, per. s angl. Yu.D. Sukhova. [Opportunities methods in building design]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 584 p.
- [5] Tamrazyan A.G. Otsenka riska i nadezhnosti konstruksiy i klyuchevykh elementov - neobkhodimoe uslovie bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy. [Risk assessment and reliability of designs and crucial elements - a necessary condition of safety of buildings and constructions]. // Herald TsNIISK of the name of V.A. Kucherenko «Research on the theory of structures». 2009. Vol. 1. Pp. 160-171. (rus)
- [6] Shpete G. Nadezhnost' nesushchikh stroitel'nykh konstruksiy, per. s nem. O.O. Andreeva. [Reliability of the bearing building constructions, translation from German by O.O. Andreeva]. Moscow: Stroyizdat. 1994. 288 p.
- [7] Ivanov A.A. Otsenka nesushchey sposobnosti osnovaniy shchelevykh fundamentov na osnove analiza napryazhennogo sostoyaniya gruntovogo massiva i eksperimental'nykh dannykh [Assessment of the bearing capability of foundations of the slot-hole bases on the basis of the analysis of tension of a soil array and experimental data]: The abstract to the thesis. Volgograd, 2013. 28 p. (rus)
- [8] Sorochan E.A., Shishkin V.Y., Kovalev V.A. Use of shallow slotted foundations // Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2011. Vol. 48, Pp. 1.
- [9] Pu C.Z., Ping C.A. Failure characteristics and its influencing factors of rock-like material with multi-fissures under uniaxial compression // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2012. Jan 31; 22 (1), Pp. 185-191.
- [10] Duncan J.M., Sleep M. The need for judgement in geotechnical reliability studies // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2016. Aug 3, Pp. 1-5.
- [11] Zhang L., Liu Y.R., Yang Q. Evaluation of Reinforcement and Analysis of Stability of a High-Arch Dam Based on Geomechanical Model Testing // Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015. Mar 1; 48(2). Pp. 803-818.
- [12] Li G., Lu Z., Xu J. A fuzzy reliability approach for structures based on the probability perspective // Structural Safety. 2015. Vol. 54. Pp. 10-18.
- [13] Kaufman B.D., Shulman S.G. Methods of the uncertain factors account in a reliability assessment of a "construction-foundation" system at seismic impacts. Proc. of 4th Annual International Conference on Civil Engineering. Athens, Greece. 2014. May.
- [14] Erylimaz S., Tütüncü G.Y. Stress-strength reliability in the presence of fuzziness // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2015. Vol. 282. Pp. 262-267.
- [15] Gao P., Yan S. Fuzzy dynamic reliability model of dependent series mechanical systems // Advances in Mechanical Engineering. 2013. Vol. 5. Pp. 685-721.
- [16] Kuznetsov V.P. Interval'nye statisticheskie modeli. [Interval statistical models]. Radio i svyaz', 1991. 544 p. (rus)
- [17] Utkin V.S. Raschet nadezhnosti osnovaniy i fundamentov pri razlichnoy informatsii. [The calculation of the reliability bases and foundations with various information] LAG LAMDERT Academic Publishing. Germany. 2014. 100 p. (rus)
- [18] Utkin V.S. Raschet nadezhnosti gruntovykh osnovaniy fundamentov zdaniy i sooruzheniy po kriteriyu deformatsii pri ogranichennoy informatsii o nagruzkakh i gruntakh [Calculation of reliability of the soil foundations of the bases of buildings and constructions for criterion of deformation at limited information on loadings and soil] // Magazine of Civil Engineering. 2016. Vol. 1. Pp. 4-13. (rus)
- [19] Kaufman B.D., Andrianova E.A. Veroyatnostnaya i interval'naya otsenka dinamicheskogo vzaimodeystviya sooruzheniy, raspolozhennykh na obshchem osnovanii [Probabilistic and interval assessment of dynamic interaction of the constructions located on the general basis] // Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 2013. t. 269. Pp. 3-10. (rus)
- [20] Kaufman B.D. Otsenka nadezhnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy pri dinamicheskikh vozdeystviyakh v usloviyakh nepolnoty iskhodnoy informatsii [Assessment of reliability of hydraulic engineering constructions at

dynamic influences in the conditions of incompleteness of initial information]. The abstract to the thesis. S-Peterburg. 2015. 35 p. (rus)

- [21] Kosheleva Zh.V. Otsenka nesushchey sposobnosti, nadezhnosti i ostatochnogo resursa elementov zhelezobetonnykh konstruksiy pri ogranichennoy informatsii o kontroliruemykh parametrah. [Assessment of the bearing capability, reliability and a residual resource of elements of steel concrete designs at limited information on controlled parameters]. The abstract to the thesis, Vologda. 2004. 18 p. (rus)
- [22] Plotnikova O.S. Opredelenie nadezhnosti metallicheskih konstruksiy v sostave zdaniy i sooruzheniy pri ogranichennoy statisticheskoy informatsii o kontroliruemykh parametrah. [Determination of reliability of metal designs as a part of buildings and constructions at limited statistical information on controlled parameters]. The abstract to the thesis, St. Peterburg, 2008. 20 p. (rus)
- [23] Galaeva N.L. Raschet nadezhnosti nesushchikh elementov pri ogranichennoy informatsii o parametrah modeli predel'nykh sostoyaniy. [Calculation of reliability of the bearing elements at limited information on parameters of model of limit states]. The abstract to the thesis. Vologda, 2010. 23 p. (rus)
- [24] Yarygina O.V. Metody rascheta nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksiy v sostave zdaniy i sooruzheniy pri ogranichennoy statisticheskoy informatsii. [Methods of calculation of reliability of reinforced concrete designs as a part of buildings and constructions at limited statistical information]. The abstract to the thesis, St. Peterburg, 2013. 23 p. (rus)
- [25] Dyubua D., Prad A. Teoriya vozmozhnostey. Prilozheniya k predstavleniyu znaniy v informatike: Per. s fr. [Theory of opportunities. Annexes to representation of knowledge in informatics]. Moscow: Radio i svyaz'. 1990. 288 p. (rus)
- [26] Utkin L.V. Analiz riska i prinyatiya resheniy pri nepolnoy informatsii. [Risk analysis and decision makings at incomplete information]. St. Peterburg: Nauka, 2007. 404 p. (rus)
- [27] Zaden L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility // Fuzzy sets and systems. 1978. Vol. 1. Pp. 3-28.
- [28] Dempster A.P. Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping // Annals of Mathematical Statistics. 1967. Vol. 38. Vol. 2. Pp. 325-329.
- [29] Utkin, V.S., Borisova O.L. Raschet nadezhnosti lentochnogo fundamenta pod prodol'noy stenoy zdaniya na stadii ekspluatatsii [Calculation of reliability of the tape base under a longitudinal wall of the building at an operation stage] // Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2016. Vol. 5. Pp. 50-58. (rus)
- [30] Pavlov, V.V. Aver'yanova L.A., Alekseev B.G. Shchelevye fundamenty zdaniy. [Slot-hole bases of buildings]. Stroyizdat, Krasnoyarskiy otdel. 1992. 141 p. (rus)
- [31] Tsytovich N. A. Mekhanika gruntov: Uchebnik dlya stroit, vuzov. [Mechanics of soil: the textbook for builds, higher education institutions]. 4-e izd., pererab. i dop. Moscow: High school. 1983. 288 p. (rus)
- [32] Sposob izmereniya i monitoringa davleniya na betonnye i kirpichnye nesushchie steny i fundamenty zdaniy i sooruzheniy na zadannom urovne na stadii ikh ekspluatatsii [A method of measurement and monitoring of pressure upon concrete and brick bearing walls and bases of buildings and constructions at the set level at a stage of their operation]: patent 2582495 Russian Federation: MPK CO1L1/18, CO1N3/08 Utkin V.S., Tropina D.A., Goreva N.V.; applicant and patent holder «Vologda State University»; published 27.04.2016. (rus)
- [33] Ustroystvo dlya opredeleniya summarnoy sily treniya i stsepleniya po bokovoy poverkhnosti podzemnoy chasti monolitnogo fundamenta [The device for determination of total friction force and coupling on a lateral surface of an underground part of the monolithic base]: patent 126332, Russian Federation: MPK E 02, D 1/00 Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Ivanov A. A.; applicant and patent holder «Vologograd State University of Architecture and Civil Engineering»; published 27.03.2013. (rus)
- [34] Utkin V.S., Utkin L.V. Raschet mekhanicheskikh sistem pri ogranichennoy statisticheskoy informatsii: monografiya [Calculation of mechanical systems at limited statistical information: monograph]. Vologda: VSU. 2008. 188 p. (rus)
- [35] Utkin V.S., Solov'yev S.A., Kaberova A.A. Znachenie urovnya sreza (riska) pri raschete nadezhnosti nesushchikh elementov vozmozhnostnym metodom [Value of risk level when calculating reliability of the bearing elements by a opportunities method] // Structural mechanics and analysis of constructions. 2015. Vol. 6. Pp. 63-67. (rus)
- [36] Gurov S.B., Utkin L.V. Nadezhnost' sistem pri nepolnoy informatsii [Reliability of systems at limited information]. SPb, 1999. 160 p. (rus)

*Utkin V.S., Borisova O.L. Raschet nadezhnosti щелевого фундамента по критерию несущей способности грунта основания на стадии эксплуатации, 2017, №6 (57). С. 7-17.*

*Utkin V.S., Borisova O.L. Calculation of the reliability of the slit foundation by the criterion of the bearing capacity of the foundation soil at the stage of operation. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 6(57). Pp. 7-17. (rus)*