Расчет надежности оснований фундаментов по критерию прочности при ограниченной информации о нагрузке

Д.т.н., профессор В.С. Уткин;
инженер Е.А. Шепелина;*
ФГБОУ ВПО Вологодский государственный технический университет

Ключевые слова: основания фундаментов; давление; грунт; надежность; информация; случайная величина

01.07.2010 вступил в силу Закон РФ №384 «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений», в котором содержатся требования по обеспечению механической (конструкционной) безопасности сооружений с ее обоснованным расчетом.

Основания и фундаменты – важнейшие несущие элементы зданий и сооружений. Кроме того, они являются сложными техническими системами, определяющими надежность конструкций в целом. Разрушение или значительные деформации оснований и фундаментов чаще всего приводят к отказу всего здания. Трещины в стенах нижних или верхних этажей образуются из-за неравномерной нагрузки на грунт основания и неоднородности грунта и свидетельствуют о неравномерной осадке фундамента.

Одной из мер безопасности зданий и сооружений является обеспечение надежности сооружения. В стандарте ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» под надежностью понимается способность конструкций и оснований выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. Надежность механических систем (зданий и сооружений) определяется, прежде всего, надежностью отдельных несущих элементов систем и их структурой (последовательной, параллельной, смешанной) в понятиях теории надежности. Основание фундамента является одним из элементов здания или сооружения, и в то же время это последовательная система (в понятиях теории надежности), состоящая из условных элементов в виде критериев надежности по прочности и осадке фундамента.

Расчет надежности (обеспеченности безотказной работы) оснований в ряде случаев является непростой задачей. Для оценки надежности любой конструкции необходима статистическая информация о случайных параметрах в математических моделях предельных состояний. Информация о случайной величине считается полной, если по ней можно выявить законы распределения вероятностей случайных величин, зависимость и независимость между ними и с достаточной точностью оценить параметры распределений. В этом случае расчет надежности проводят по рекомендациям ГОСТ Р 54257-2010 вероятностно-статистическими методами. К сожалению, на практике информация часто оказывается объективно неполной. В такой ситуации применение методов определения надежности, построенных на теории вероятностей, стандартом ГОСТ Р 54257-2010 не рекомендовано, и каких-либо рекомендаций или предписаний не приводится.

Вероятностно-статистические методы расчетов надежности, в том числе оснований и фундаментов, получили определенное теоретическое обоснование и применение в инженерных расчетах надежности [1,2,3,4 и др.]. Суть этих методов для оснований фундаментов изложена в работе [1], а для других несущих элементов – в работах [2,3,4 и др.] Применительно, в частности, к основаниям фундаментов в этих методах определяется вероятность безотказной работы по расчетным математическим моделям предельных состояний. Например, по критерию прочности определяется вероятность события:

$$X \le Y, \tag{1}$$

где X – обобщенная нагрузка на грунт основания; Y – обобщенная прочность грунта основания. X и Y являются случайными величинами.

При неполной информации о случайных величинах X и Y используются другие методы расчетов надежности с более осторожным подходом, например, метод интервальных средних [5,6,7,8], возможностные методы [9,10], метод на основе распределений, полученных из неравенства Чебышева [11,12] и др.

Рядом авторов, включая авторов статьи, разработаны комбинированные методы [13,14,15,16,17,18], где в расчетной модели содержатся случайные величины (с полной информацией) и возможностные величины (с ограниченной статистической информацией). Не останавливаясь на этих методах, рассмотрим новый подход к расчетам надежности грунтового основания по критерию прочности грунта, используя распределение, названное нами усеченным интервальным распределением. Такая задача представляет практический интерес при рассмотрении различных воздействий на здание и, соответственно, на его основание при изменении функционального назначения всего здания или его части, при сравнительной оценке безопасности эксплуатации нескольких зданий одновременно, при ограниченном времени на расчет надежности основания и т.д. Особую значимость проблема оценки надежности оснований фундаментов имеет для многоэтажных зданий после некоторого времени их эксплуатации, когда заметно меняются нагрузка и давление на грунт основания и сами свойства грунта.

Рассмотрим расчет надежности оснований по критерию прочности грунта (по несущей способности), используя расчетную модель вида:

$$\widetilde{R} \le \widetilde{R}_{пр}, \qquad (2)$$

где $\widetilde{R}$ – давление от фундамента на грунт основания, которое в силу ограниченности информации (показано ниже) будем описывать усеченным интервальным распределением [19];

$\widetilde{R}_{пр}$ – предельное сопротивление грунта основания, определяемое по формуле, известной из работы [20]:

$$R = \frac{\gamma_{C1}\gamma_{C2}}{k}\left[M_\gamma k_z b\widetilde{\gamma}_{II} + M_q d_1\gamma_{II}^{'} + (M_q - 1)d_b\widetilde{\gamma}_{II}^{'} + M_C\widetilde{c}_{II}\right], \qquad (3)$$

где $\gamma_{C1}, \gamma_{C2}, k, M_\gamma, M_q, M_c, k_z, b, d_1, d_b$ – детерминированные величины;

$\widetilde{\gamma}_{II}$ – удельные веса грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента (при наличии подземных вод определяется с учетом взвешивающего действия воды);

$\widetilde{\gamma}_{II}^{'}$ – удельные веса грунтов, залегающих выше подошвы фундамента;

$\widetilde{\gamma}_{II}$ и $\widetilde{\gamma}_{II}^{'}$ являются случайными величинами;

$\widetilde{c}_{II}$ – удельное сцепление грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента (случайная величина).

На сегодняшний день главная методологическая и практическая проблема заключается в определении давления на грунт под фундаментом эксплуатируемого здания $\widetilde{R}$ с учетом его изменчивости.

Как правило, определение давления на грунт основания осуществляется подсчетом весов элементов конструкций и нормативными значениями эксплуатационной нагрузки (мебель, оборудование, люди и т.д.). Этот метод для жилых зданий на стадии многолетней эксплуатации сопряжен с большими трудностями, затратами времени и денежных средств.

В связи с этим нами предлагается новый подход к определению давления R фундамента на грунт основания с учетом его изменчивости для зданий с проемами нижнего этажа без элементов их усиления. При этом выявляются два значения давления: наименьшее $q_{\min}$ и наибольшее $q_{\max}$. Наименьшее значение $q_{\min}$ принимается на стадии проектирования по результатам сбора нагрузок, содержащихся в проектной и другой документации здания или сооружения. Наибольшее значение $q_{\max}$ определяется косвенным путем по формуле:

$$q_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sigma_{Bi}A_i}{A_ф} + q_0, \qquad (4)$$

где σ_{Bi} – предел прочности материала простенков первого этажа с учетом их деградации (наличие трещин и т.п. на момент обследования);

A_i – площадь поперечного сечения *i*-го простенка на всем периметре здания или на некоторой его части (представляющей опасность);

$A_ф$ – площадь подошвы фундамента соответственно по периметру здания или его части, т.е. в пределах всех учтенных A_i;

q_0 – нагрузка (полезная) на всем первом этаже или его части.

Нагрузки $q_{\min}$ и $q_{\max}$ примем точными крайними значениями случайной величины $\widetilde{R}$. Среднее значение нагрузки $q_{cp} = \overline{q}$ примем в виде $\overline{q} = (q_{\max} + q_{\min})/2$. Случайную величину – нагрузку $\widetilde{R}$ – при имеющейся статистике о ней предлагается характеризовать (описывать) усеченным интервальным распределением [19]. Сущность этого распределения рассмотрим в общем виде при описании «ограниченной» случайной величины, для общности обозначенной *X*, с известными значениями среднего m_x и точных границ (ограничений) изменчивости *a* и *b*. Хотя такая ограниченная информация не позволяет выявить точное распределение случайной величины в виде функции распределения $F_X(x)$, она дает возможность построить граничные функции распределения (нижнюю $\underline{F}_X(x)$ и верхнюю $\overline{F}_X(x)$) множества {*x*}. Эти граничные функции можно вывести с использованием теории продолжения В.П. Кузнецова [5] путем решения простых задач линейного программирования. В результате такого подхода были получены граничные функции распределения случайной величины X вида:

$$\underline{F}_X(x) = \begin{cases} 0, & если\ x \le m_X \\ \dfrac{x - m_X}{x - a}, & если\ m_X \le x \le b; \\ 1, & если\ x \ge b \end{cases}$$

(5)

$$\overline{F}_X(x) = \begin{cases} 0, & если\ x \le a \\ \dfrac{b - m_X}{b - x}, & если\ a \le x \le m_X. \\ 1, & если\ x \ge m_X \end{cases}$$

В графическом виде усеченное интервальное распределение имеет вид, показанный на рис. 1.

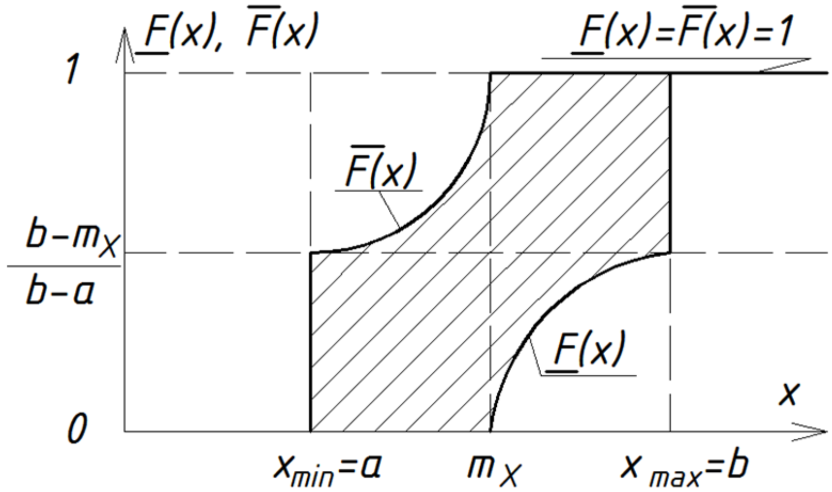

Рисунок 1. Множество функций распределения *F(x)*, ограниченное функциями $\overline{F}_X(x)$ и $\underline{F}_X(x)$. m_x – среднее значение случайной величины *X*

Истинная, но неизвестная функция распределения $F_X(x)$ находится в границах интервала $\underline{F}_X(x) \le F_X(x) \le \overline{F}_X(x)$ в заштрихованной области рис. 1. Ордината точки пересечения кривой $\underline{F}_X(x) = \dfrac{x - m_X}{x - a}$ и прямой $x = b$ равна $\dfrac{b - m_X}{b - a}$ (см. рис. 1). Ордината точки пересечения кривой $\overline{F}_X(x) = \dfrac{b - m_X}{b - x}$ и прямой $x = a$ будет $\dfrac{b - m_X}{b - a}$ (см. рис. 1). Эти значения ординат показаны на рис. 1.

Соответствующие условные функции плотностей граничных функций распределения находятся как производные от функций $\overline{F}_X(x)$ и $\underline{F}_X(x)$ по аргументу *x*, которые принимают вид:

$$\underline{\rho}_X(x) = \begin{cases} 0, & если\ x < m_X \\ \dfrac{m_X - a}{(a - x)^2}, & если\ m_X \le x \le b \\ \dfrac{m_X - x}{b - a}\delta(x - b), & если\ x = b \\ 0, & если\ x > b \end{cases};$$

$$\overline{\rho}_X(x) = \begin{cases} 0, & если\ x < a \\ \dfrac{b - m_X}{b - a}\delta(x - a), & если\ x = a \\ \dfrac{b - m_X}{(b - x)^2}, & если\ a \le x \le m_X \\ 0, & если\ x < m_X \end{cases}, \tag{6}$$

где $\delta(x - b)$ и $\delta(x - a)$ – функции Дирака или импульсные функции, сконцентрированные в точке $x = b$ и точке $x = a$.

Представим, что в результате анализа удается определить давление на грунт основания в $q_{\min}$ и $q_{\max}$, а также установить (испытаниями и расчетами по формуле (3)) прочностные характеристики грунта в виде множества сопротивлений грунта $\{R_{пр}\}$ в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Используя эти данные, рассмотрим методику расчета надежности основания фундамента по критерию прочности грунта по условию (2) с ограниченной статистической информацией о нагрузке на грунт основания $X = \tilde{R}$ и, как один из вариантов, с полной информацией о предельном сопротивлении грунта основания $Y = \tilde{R}_{пр}$.

Случайные величины $\tilde{\gamma}_{II}$, $\tilde{\gamma}'_{II}$ и $\tilde{c}_{II}$ в (3) будем описывать, как и в работе [1], нормальным (гауссовским) законом распределения [1,2,3,4] с функцией плотности вероятности, например, для случайной величины *Y*:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S_y}} e^{-\frac{(y - m_y)^2}{2S_y^2}}. \tag{7}$$

Следовательно, и $\widetilde{R}_{np}$, как сумма (композиция) случайных величин $\widetilde{\gamma}_{II}$, $\widetilde{\gamma}'_{II}$ и $\widetilde{c}_{II}$, будет по [2,3,4] характеризоваться нормальным распределением с плотностью вероятностей:

$$f(R_{np}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_R} e^{-\frac{(\widetilde{R}_{np} - m_R)^2}{2S_R^2}}, \tag{8}$$

где по методу линеаризации принято

$$m_R = \frac{\gamma_{C1}\gamma_{C2}}{k}\left[M_\gamma k_z b m_{\gamma_{II}} + M_q d_1 m_{\gamma'_{II}} + (M_q - 1) d_b m_{\widetilde{\gamma}'_{II}} + M_C m_{c_{II}}\right],$$

где $m_{\gamma_{II}}$, $m_{\gamma'_{II}}$, $m_{c_{II}}$ – статистические математические ожидания случайных величин $\widetilde{\gamma}_{II}$, $\widetilde{\gamma}'_{II}$ и $\widetilde{c}_{II}$.

Среднее квадратическое отклонение $S_{R_{np}}$ случайной величины $\widetilde{R}_{np}$, опираясь на исследования [2,3], представим в краткой форме:

$$S_{R_{np}} = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial \gamma_{II}}\right)_m^2 S_{\lambda_{II}}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \gamma_{II}}\right)_m^2 S_{\gamma_{II}}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial c_{II}}\right)_m^2 S_{c_{II}}^2}, \tag{9}$$

где индекс *m* у скобок указывает на то, что выражения в скобках производных случайных величин заменяются их математическими ожиданиями.

Из классической теории надежности [2,3] известно, что для независимых случайных величин $\widetilde{R}$ и $\widetilde{R}_{np}$ в (1) при обозначениях $X = \widetilde{R}$ и $Y = \widetilde{R}_{np}$ вероятность отказа Q (события $X > Y$) определяется по формуле:

$$Q = \iint_V f_X(x) \cdot f_Y(y) dx dy,$$

а вероятность безотказной работы (события $X \le Y$) по формуле:

$$P = \iint_S f_X(x) \cdot f_Y(y) dx dy, \tag{10}$$

где V – область отказа; S – область безотказной работы; $f_1(x)$ и $f_2(y)$ – функции плотностей распределения вероятностей соответственно для X (нагрузки) и Y (прочности).

При описании случайной величины (давления на грунт основания) $\widetilde{R} = X$ усеченным интервальным распределением [20] с функциями границ распределений $\underline{F}_X(x)$ и $\overline{F}_X(x)$ по (4) и соответствующими функциями плотностей вероятностей $\underline{f}_X(x)$ и $\overline{f}_X(x)$ при обозначении $y = x$ [3], как величин одной физической природы, будем иметь:

$$\begin{aligned} \underline{P} &= \iint_S f_Y(y) \cdot \underline{f}_X(x) dx dy = \int_0^\infty f_Y(x) \cdot \underline{F}_X(x) dx; \\ \overline{P} &= \iint_S f_Y(y) \cdot \overline{f}_X(x) dx dy = \int_0^\infty f_Y(x) \cdot \overline{F}_X(x) dx. \end{aligned} \tag{11}$$

Для случайной величины $X = \tilde{R}$, как отмечено ранее, имеем $R_{\min} = q_{\min}$, $R_{\max} = q_{\max}$, а среднее значение примем в виде $\bar{R} = \bar{q} = \dfrac{q_{\min} + q_{\max}}{2}$.

Соответственно, по усеченному интервальному распределению для $\tilde{R}$ и случайной величине $\tilde{R}_{np}$ с функцией плотности распределения $f_Y(y)$ получим значения вероятностей $\underline{P}$, $\overline{P}$ (нижнее и верхнее) безотказной работы основания.

При обозначении *y=x* и подстановке в развернутом виде функций распределения $\underline{F}_X(x)$ и $\overline{F}_X(x)$ по (5) получим:

$$\begin{aligned}\underline{P} &= \int_0^\infty f_Y(x)\cdot \underline{F}_X(x)dx = \int_{m_X}^{b_x} f_Y(x)\frac{x-m_X}{x-a_x}dx + \int_{b_x}^\infty f_Y(x)dx;\\ \overline{P} &= \int_0^\infty f_Y(x)\cdot \overline{F}_X(x)dx = \int_{a_x}^{m_X} f_Y(x)\frac{b_x-m_X}{b_x-x}dx + \int_{m_X}^\infty f_Y(x)dx;\end{aligned} \qquad (12)$$

где для $\overline{P}$ принято $\overline{F}_X(x)$, так как с ростом *X* область безотказной работы убывает. Для $\underline{P}$ принята функция $\underline{F}_X(x)$.

Таким образом, надежность основания фундамента будет характеризоваться интервалом вероятностей $[\underline{P}, \overline{P}]$. На рис.2. условно представлены усеченная интервальная функция распределения для $X = \tilde{R}$ (в виде границ $\underline{F}_X(x)$ и $\overline{F}_X(x)$) и функция плотности (7) для $Y = \tilde{R}_{np}$.

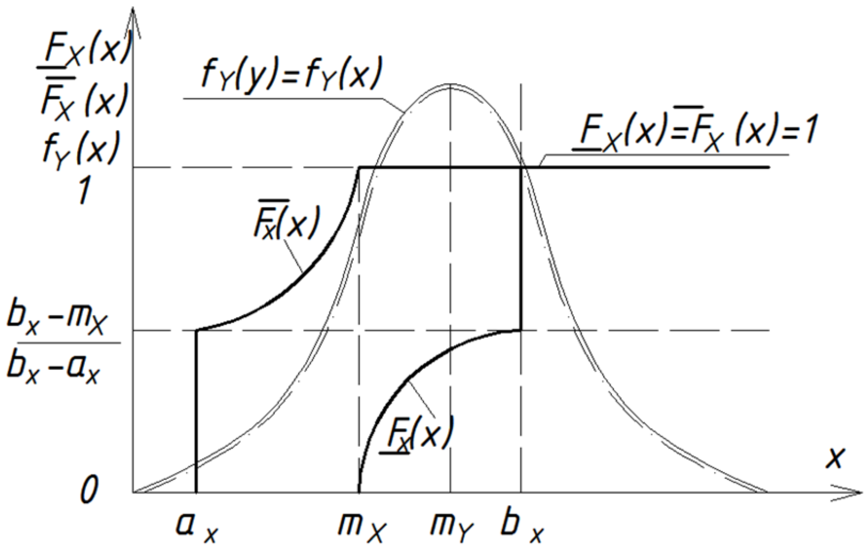

Рисунок 2. Функции $\underline{F}_X(x)$, $\overline{F}_X(x)$, $f_Y(x)$

Из рис. 2 видно, что условные плотности распределения вероятностей $\underline{f}_X(x)$ и $\overline{f}_X(x)$ на участке $x < a_x$ и $x > b_x$ равны нулю, так как $\underline{F}_X(x)$ и $\overline{F}_X(x)$ равны единице.

Пример. Пусть известны значения $a = q_{\min} = 20H/см^2$, $b = q_{\max} = 30H/см^2$, $m_X = 25H/см^2$, $m_Y = 29H/см^2$, $S_Y = 3H/см^2$. Функции распределения для нагрузки $X = \tilde{R}$

примем по усеченному интервальному закону с границами $\underline{F}_X(x)$ и $\overline{F}_X(x)$, а для прочности грунта основания $Y = \widetilde{R}_{np}$ примем по нормальному распределению, как в работе [1].

По формуле (11) найдем:

$$\underline{P} = \int_{20}^{25} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} \cdot \frac{30-25}{30-x} dx + \int_{25}^{\infty} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} dx = 0{,}982;$$

$$\overline{P} = \int_{25}^{30} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} \cdot \frac{x-25}{x-20} dx + \int_{30}^{\infty} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} dx = 0{,}552.$$

Надежность основания будет характеризоваться интервалом [0,552;0,982].

В качестве оперативной надежности принимается значение вероятности из интервала $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$ в зависимости от ответственности конструкции, а также исходя из опыта специалиста. В пессимистическом варианте значение надежности принимают равным $\underline{P}$.

Известно, что истинное значение надежности находится внутри расчетного интервала надежности $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$. Следовательно, интервал надежности $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$ содержит элемент неопределенности, в связи с чем приходится принимать ответственное решение о значении надежности, исходя из расчетного интервала надежности. Решение будет более осторожным, если принять надежность равной или меньшей $\underline{P}$. Однако при $P_{np} > \underline{P}$ потребуется повышение фактической надежности, что приведет к необоснованным экономическим потерям, связанным с проведением мероприятий по усилению основания фундамента. В связи с этим специалист может пойти на риск и принять решение о надежности конструкции из интервала $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$, равной предельной допустимой P_{np}. Возникает вопрос: к какому значению риска приведет такое решение? Предлагаем следующую методику расчета значения риска в случае принятия решения о надежности основания фундамента или любого другого несущего элемента по расчетному интервалу надежности $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$. По сути, интервал $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$ характеризует случайную величину $\widetilde{P}$, которая ограничена значениями $\underline{P}$ и $\overline{P}$, т.е. $\underline{P} \le \widetilde{P} \le \overline{P}$. Для описания такой случайной величины $\widetilde{P}$ с крайне ограниченной информацией о ней предлагается использовать усеченное интервальное распределение [19], показанное для поставленной задачи на рис. 3, с учетом того, что среднее значение вероятности $m_p = 0{,}5(\underline{P} + \overline{P})$.

Из рис. 3 видно, что при $P_{np} > \overline{P}$ вероятность отказа равна 1, что недопустимо по условию безопасности. При $P_{np} < \underline{P}$ вероятность отказа равна нулю. При $P_{np} = m_p$ обеспеченность безопасности характеризуется интервалом [0;1] или средней вероятностью, равной 0,5, что также недопустимо. При $P^* = P_{np}$, как показано на рис. 3 (где P^* – принятое значение надежности из интервала $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$), значение риска будет определяться длиной отрезка cd.

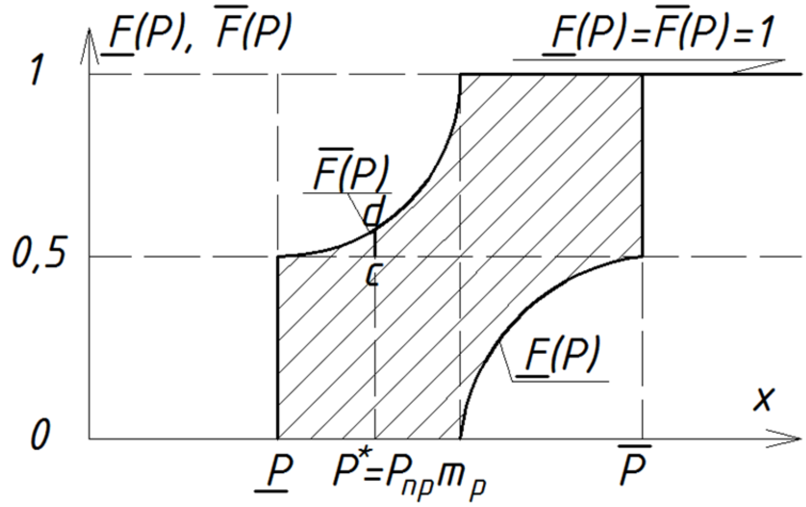

Рисунок 3. Функции распределения $\underline{F}(P)$, $\overline{F}(P)$. m_p – среднее значение

Такой подход к оценке риска принятия решения о надежности основания фундамента из интервала $\left[\underline{P}, \overline{P}\right]$ вносит обоснованную уверенность в действия специалиста и обеспечивает экономическую выгоду.

Значение отрезка (риска) cd определяется с учетом (5) и (6) по формуле

$$P = \frac{\overline{P} - m_p}{\overline{P} - P^*} - 0{,}5. \tag{13}$$

Пример. По условию предыдущего примера требуется найти значение риска принятия решения о надежности основания фундамента равной $P_{пр} = 0{,}65$. Из примера известны $\underline{P} = 0{,}552$, $\overline{P} = 0{,}982$ и $m_p = 0{,}5 \cdot (0{,}552 + 0{,}982) = 0{,}767$. По условию $\underline{P} = 0{,}552 < P_{пр} = 0{,}65$ видно, что надежность основания фундамента недостаточна для безопасного функционирования. Найдем значение риска принятия надежности $P^* = 0{,}65$.

Решение.

$$P = \frac{\overline{P} - m_p}{\overline{P} - P^*} - 0{,}5 = \frac{0.982 - 0{,}767}{0{,}982 - 0{,}65} - 0{,}5 = \frac{0{,}215}{0{,}332} - 0{,}5 = 0{,}148.$$

Если такой риск недопустим по безопасности, то придется усиливать основание фундамента. Понятия допустимости и недопустимости риска в предложенном примере зависят от целого ряда условий и требуют специального исследования, выходящего за пределы данной статьи. Рассмотренный риск не связан с известным понятием риска аварии конструкции [21,22].

Выводы

1. Предложена новая методика расчета надежности основания фундамента P_1 по критерию прочности грунта основания при крайне ограниченной информации о давлении на грунт основания в расчетной модели.
2. Аналогичный подход может быть использован для оценки надежности основания P_2 по критерию осадки фундамента. В целом надежность основания, как последовательной системы, $P_C = P_1 \cdot P_2$.
3. Предложенная методика расчета надежности основания фундамента применима на стадиях проектирования и эксплуатации зданий и сооружений и может быть использована для расчетов надежности других несущих конструкций и их элементов.

Литература

1. Ермолаев Н.Н., Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. Л.: Стройиздат, 1976. 152 с.
2. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций / Пер. с нем. О.О. Андреева. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
3. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
4. Райдер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании: монография. М.: АСВ, 1998. 304 с.
5. Кузнецов В.П. Интервальные статические модели: монография. М.: Радио и связь, 1991. 544 с.
6. Tonon F., Bernardini A., Mammino A. Determination of parameters range in rock engineering by means of Random Set Theory // Reliability Engineering and System Safety. 2000. №70(3). Pp. 241-261.
7. Tonon F., Bernardini A., Mammino A. Reliability analysis of rock mass response by means of Random Set Theory // Reliability Engineering and System Safety. 2000. Vol. 70(3). Pp. 263-282.
8. Walley P. Measures of uncertainty in expert systems // Artificial Intelligence. 1996. №83. Pp. 1-58.
9. Уткин В.С. Определение надежности строительных конструкций: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2010. 155 с.
10. Baudrit C., Dubois D. Practical representations of incomplete probabilistic knowledge // Computational Statistics and Data Analysis. 2006. 51. Pp. 86-108.
11. Уткин В.С. Расчет надежности деталей машин с использованием неравенств // Вестник машиностроения. 2012. №1. С. 7-10.
12. Уткин Л.В., Жук Ю.А., Селиховкин И.А. Модель классификации на основе неполной информации о признаках в виде их средних значений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. №2. С. 95-105.
13. Уткин В.С. Новые методы расчетов надежности строительных конструкций: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2011. 79 с.
14. Уткин Л.В., Ярыгина О.В. Расчет надежности железобетонных элементов на продавливание при ограниченной информации о параметрах // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. Вып. 235. №2. С. 63 – 68.
15. Kozine I., Utkin L.V. An approach to combining unreliable pieces of evidence and their propagation in a system response analysis // Reliability Engineering and System Safety. 2004. №85(1-3). Pp. 103-112.
16. Utkin L.V., Kozine I. On new cautious structural reliability models in the framework of imprecise probabilities // Structural Safety. 2010. №32(6). Pp. 411-416.
17. Utkin L.V. An uncertainty model of the stress-strength reliability with imprecise parameters of probability distributions // Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (Applied Mathematics and Mechanics). 2004. №84(10-11). Pp. 688-699.
18. Utkin L.V. A method for processing the unreliable expert judgments about parameters of probability distribution // European Journal of Operational Research. 2006. №175(1). Pp. 385-398.
19. Utkin V.S., Utkin L.V. ISSN 1068-798X. Russian Engineering Research. 2012. Vol. 32. №9-10. Pp. 627-630.
20. Свод правил: СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений». Введ. 20.05.2011. М.: ФГУП ЦПП, 2011. 70 с.
21. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварий и безопасности ресурса строительных объектов (Теория, методики и инженерные приложения): учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 49 с.
22. Улицкий В.М., Лисюк М.Б. Оценка риска и обеспечения безопасности в строительстве // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2003. №5. С. 160-166.

**Елена Александровна Шепелина, г. Вологда, Россия*

Тел. раб.: (8172) 53-35-31; эл. почта: lenashepelina12@mail.ru

doi: 10.5862/MCE.36.6

Calculation of reliability of foundation beds according to the strength criterion with limited information about the load

V.S. Utkin;
E.A. Shepelina,
Vologda State Technical University, Vologda, Russia;
(8172) 53-35-31; e-mail: lenashepelina12@mail.ru

Key words

foundation bed; pressure; ground; reliability, information; random value

Abstract

This article deals with a safety problem of upkeep of buildings and structures, specifically soil reliability according to the strength criterion with absolutely limited information about pressure by building foundation on the ground.

For solving the problem of pressure of foundation on the ground the new ways for calculating reliability and for the first time truncated distribution for description of random value were used. Calculated reliability of foundation is expressed as an interval of numeric values.

Design equations for determination of upper and lower values of reliability in the interval, method of risk calculation are presented in the article. Solutions on the definite value of foundation reliability by the estimated range of reliability are applied.

References

1. Ermolaev N.N., Mikheev V.V. *Nadezhnost osnovaniy sooruzheniy* [Reliability of the base structures]. Leningrad: Stroyizdat, 1976. 152 p. (rus)
2. Shpete G. *Nadezhnost nesushchikh stroitelnykh konstruktsiy* [Reliability of the supporting constructions. Translation from German by O.O. Andreev]. Moscow: Stroyizdat, 1994. 288 p. (rus)
3. Rzhanitsyn A.R. *Teoriya rascheta stroitelnykh konstruktsiy na nadezhnost* [Calculation theory of building structures reliability]. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (rus)
4. Rayder V.D. *Teoriya nadezhnosti v stroitelnom proyektirovanii: monografiya* [Reliability theory in construction design: monograph]. Moscow: ASV, 1998. 304 p. (rus)
5. Kuznetsov V.P. *Intervalnyye staticheskiye modeli: monografiya* [Interval static models: monograph]. Moscow: Radio and communication, 1991. 544 p. (rus)
6. Tonon F., Bernardini A., Mammino A. Determination of parameters range in rock engineering by means of Random Set Theory. *Reliability Engineering and System Safety*. 2000. No. 70(3). Pp. 241-261.
7. Tonon F., Bernardini A., Mammino A. Reliability analysis of rock mass response by means of Random Set Theory. *Reliability Engineering and System Safety*. 2000. Vol. 70(3). Pp. 263-282.
8. Walley P. Measures of uncertainty in expert systems. *Artificial Intelligence*. 1996. No. 83. Pp. 1-58.
9. Utkin V.S., Utkin L.V. *Opredeleniye nadezhnosti stroitelnykh konstruktsiy: uchebnoye posobiye* [Estimation of building's structures reliability: tutorial]. Vologda: VoGTU, 2010. 155p. (rus)
10. Baudrit C., Dubois D. Practical representations of incomplete probabilistic knowledge. *Computational Statistics and Data Analysis*. 2006. No. 51. Pp. 86-108.
11. Utkin V.S. *Vestnik mashinostroyeniya*. 2012. No. 1. Pp. 7-10. (rus)
12. Utkin L.V., Zhuk Yu.A., Selikhovkin I.A. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*. 2012. No. 2. Pp. 95-105. (rus)
13. Utkin V.S. *Novyye metody raschetov nadezhnosti stroitelnykh konstruktsiy: uchebnoye posobiye* [New calculation methods reliability of building structures: tutorial]. Vologda: VoGTU, 2011. 79 p. (rus)
14. Utkin L.V., Yarygina O.V. *Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2011. Vol. 235. No. 2. Pp. 63-68. (rus)
15. Kozine I., Utkin L.V. An approach to combining unreliable pieces of evidence and their propagation in a system response analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. 2004. No. 85(1-3). Pp. 103-112.

16. Utkin L.V., Kozine I. On new cautious structural reliability models in the framework of imprecise probabilities. *Structural Safety*. 2010. No. 32(6). Pp. 411-416.
17. Utkin L.V. An uncertainty model of the stress-strength reliability with imprecise parameters of probability distributions. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (Applied Mathematics and Mechanics)*. 2004. No. 84(10-11). Pp. 688-699.
18. Utkin L.V. A method for processing the unreliable expert judgments about parameters of probability distribution. *European Journal of Operational Research.* 2006. No. 175(1). Pp. 385-398.
19. Utkin V.S., Utkin L.V. ISSN 1068-798X. *Russian Engineering Research*. 2012. Vol. 32. No. 9-10. Pp. 627-630.
20. *SP 50-101-2004. Proyektirovaniye i ustroystvo osnovaniy i fundamentov zdaniy i sooruzheniy. Vved. 20.05.2011* [Set of rules 50-101-2004 «Engineering and arrangement of building's basements and foundations». Issued 20.05.2011]. Moscow: FGUP TsPP, 2011. 70 p. (rus)
21. Melchakov A.P. Raschet i otsenka riska avariy i bezopasnosti resursa stroitelnykh obyektov (Teoriya, metodiki i inzhenernyye prilozheniya): uchebnoye posobiye [Calculation and estimation of emergency risks and safety of building's site resource (Theory, methods and engineering applications): tutorial.] Chelyabinsk: YuUrGu, 2006. 49 p. (rus)
22. Ulitskiy V.M., Lisyuk M.B. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoye stroitelstvo*. 2003. No. 5. Pp. 160-166. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 48-56