ISSN 1993-3517 online
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS
2017, ТОМ 23, НОМЕР 1, 15–23
УДК 624.014.2:624.042.42

(17)-0356-1

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА ИЗГИБАЕМОГО СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ

В. Ф. Мущанов, И. М. Гаранжа, А. Н. Оржеховский
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: aorzhehovskiy@bk.ru

Получена 02 марта 2017; принята 05 мая 2017.

Анотация. В данной статье рассмотрены три различных метода вычисления вероятности отказа (метод двух моментов, статистических испытаний и Монте-Карло) стержневого элемента. В качестве примера приведен расчет для статически определимой однопролетной балки, загруженной снеговой нагрузкой. В качестве исходных стохастических величин рассматривались площадь сечения, снеговая нагрузка и предел текучести материала конструкции. Выполнен анализ полученных результатов вероятности отказа и даны рекомендации о применимости рассмотренных методов.

Ключевые слова: вероятность отказа, статистические испытания, метод двух моментов, метод Монте-Карло, случайная величина.

ЧИСЕЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ ЗГИНАНОГО СТАЛЕВОГО СТРИЖНЯ

В. П. Мущанов, І. М. Гаранжа, А. М. Оржеховський
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», 2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: aorzhehovskiy@bk.ru

Отримана 02 березня 2017; прийнята 05 травня 2017.

Аннотація. У даній статті розглянуто три різні способи обчислення ймовірності відмови (метод двох моментів, статистичних випробувань і Монте-Карло) стрижневого елемента. Як приклад наводиться розрахунок для статично визначної однопрогонової балки, завантаженої сніговим навантаженням. За вихідні стохастичні величини розглядалися площа перерізу, снігове навантаження і бокова межа текучості матеріалу конструкції. Виконано аналіз отриманих результатів ймовірності відмови і надані рекомендації про застосування розглянутих методів.

Ключові слова: ймовірність відмови, статистичні випробування, метод двох моментів, метод Монте-Карло, випадкова величина.

NUMERICAL DETERMINATION OF THE PROBABILITY OF FAILURE OF A BENT STEEL ROD

Volodymyr Mushchanov, Igor Garanzha, Anatoliy Orzhekovskiy
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.
E-mail: aorzhehovskiy@bk.ru

Received 02 March 2017; accepted 05 May 2017.

Abstract. In this paper, we consider three different methods for calculating the probability of failure (the method of two moments, statistical tests and Monte Carlo) of the rod element. As an example, a calculation is made for a statically determinate single-span beam loaded with snow load. As initial stochastic values, the cross-sectional area, snow load and the yield point of the construction material were considered. The analysis of the obtained results of failure probability is made and recommendations are made on the applicability of the methods considered.

Keywords: probability of failure, statistical tests, two-point method, Monte Carlo method, random variable.

Введение

Большинство нормативной документации в области строительства в ряде стран (ДБН – Украина, СП – Россия, EUROCODE – Евросоюз) [1, 2, 3], основывается на методе предельных состояний. Эти нормы, помимо классических условий прочности и жесткости, требуют обеспечить определенный уровень надежности. Для большинства конструкций этот уровень обеспечивается путем учета в расчете частных коэффициентов запаса. Для ряда конструкций метод не обеспечивает требуемого уровня надежности (уникальные конструкции, конструкции повышенной ответственности...) и возникает потребность определения численных показателей надежности в виде вероятности отказа. В качестве примера таких конструкций можно привести системы стационарных покрытий над трибунами стадионов. В частности для рамно-консольных покрытий в качестве ниже рассмотренного изгибаемого элемента могут выступать кровельные прогоны либо опорные стойки консольных рам. Разные авторы приводят различные способы вычисления данной стохастической характеристики сооружения [5, 6, 7, 11]. Выбор какого-либо метода зависит от сложности расчетной схемы конструкции, к тому же предложенные методы позволяют вычислять вероятность отказа с различной степенью точности.

Постановка задачи

В описании к Еврокоду 0 [4] в общем случае вероятность разрушения P_f может быть определена следующими методами:

- точного аналитического интегрирования приведенного выражения;
- численными методами интегрирования;
- приближенными аналитическими методами;
- методом оценки надежности 1-го порядка (FORM);
- методом оценки надежности 2-го порядка (SORM);
- методами моментов;
- методами моделирования;
- посредством комбинации перечисленных выше методов.

Из перечисленных наиболее часто применяемыми являются методы «двух моментов», статистических испытаний и метод Монте-Карло. Рассмотрим их на примере статически определимой однопролетной балки, загруженной равномерно распределенной снеговой нагрузкой, и сравним полученные результаты (рис. 1).

Как известно из работ А. Р. Ржаницына, Г. Шпете, В. Д. Райзера [5, 6, 7], основное уравнение безотказности работы конструкции имеет вид:

$$\hat{Y}(t) = \check{R}(t) - \hat{S}(t) > 0\,, \tag{1}$$

где $\check{R}(t)$ – обобщенная несущая способность конструкции или элемента;

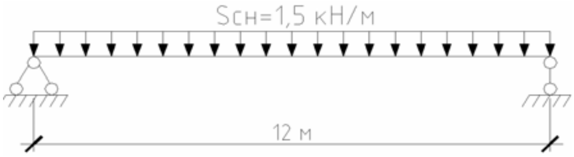


Рисунок 1. Расчетная схема конструкции.

$\hat{S}(t)$ – обобщенная нагрузка на конструкцию (напряжения в элементе);

$\hat{Y}(t)$ – характеристика резерва прочности или резерва несущей способности.

Вероятность отказа может быть представлена в виде интеграла:

$$P(t) = \int_0^{\infty} R(t) p_s(t) dt, \qquad (2)$$

где $R(t)$ – функция распределения вероятности случайной величины R;

$p_s(t)$ – плотность распределения вероятностей случайной величины S.

В качестве стохастических величин, рассмотренных при вычислении вероятности отказа, примем значение снеговой нагрузки, площадь поперечного сечения и характеристику сопротивления материала (предел текучести) балки.

Формирование стохастических величин

Снеговая нагрузка

По результатам многочисленных исследований среди всех известных моделей, формализующих вероятностный подход к формированию снеговой нагрузки, выявлен наиболее предпочтительный. Он заключается в представлении выборочной последовательности годичных максимумов S_m, в виде непрерывной случайной величины, распределенной по закону Гумбеля [9]. Плотность ее вероятности определяется, как:

$$f(S_m) = \frac{1}{\beta} \exp\left[\frac{\alpha - S_m}{\beta} - \exp\left(\frac{\alpha - S_m}{\beta}\right)\right], \qquad (3)$$

а соответствующая функция распределения:

$$F(S_m) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha - S_m}{\beta}\right)\right]. \qquad (4)$$

Используя метод инверсии, выведем формулу генератора псевдослучайных чисел с законом распределения Гумбеля.

$$\int_{200}^{S} \frac{\exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha - S_m}{\beta}\right)\right]}{\beta} = R,$$

$$\text{где } \alpha = m_{S_m} - k_\alpha \sigma_{S_m}, \qquad (5)$$

$$\beta = k_\beta \sigma_{S_m}, \qquad (6)$$

σ_{S_m}, m_{S_m} – математическое ожидание и стандарт выборочной совокупности данных метеорологических наблюдений;

k_α, k_β – коэффициенты Гумбеля, которые могут быть аппроксимированы формулами 7, 8.

$$k_\alpha = 0,45 + 0,34 N^{-0,69}, \qquad (7)$$

$$k_\beta = 0,78 + 1,54 N^{-0,75}. \qquad (8)$$

Таким образом, получается выражение 9.

$$S = 521,48 - 270,413 \cdot \ln\left(-1,0 \cdot \ln\left(R + 0,0375\right)\right), \qquad (9)$$

где R – генератор равномерной случайной величины в пределах [0,000...0,935].

Необходимые параметры распределения Гумбеля получены путем анализа статистики снеговых максимумов за год в течение 40 лет [8]. Анализируя выражение «5» видно, что должно выполнятся условие: $\ln\left(R + 0,0375\right) < 0$, чтобы значение снеговой нагрузки не перешло в область комплексных чисел. При использовании максимального значения $R = 0,935$ этого не произойдет. Данное выражение насчитывает снеговую нагрузку в пределах от 200 до 1 500 Па, что соответствует характеру нагрузки для рассматриваемого региона. Используя формулу 5 в «Mathcad 15», генерируем выборку снеговой нагрузки в объёме 10 000 значений (рис. 2) .

Площадь поперечного сечения

Анализируя литературные источники [5, 6, 7], можно сказать, что наиболее подходящим законом распределения, описывающим случайные величины, связанные с площадью поперечного сечения металлопроката, является распределение Гаусса. Оно имеет плотность вероятности вида:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \qquad (10)$$

где μ – математическое ожидание (среднее значение), медиана и мода распределения;

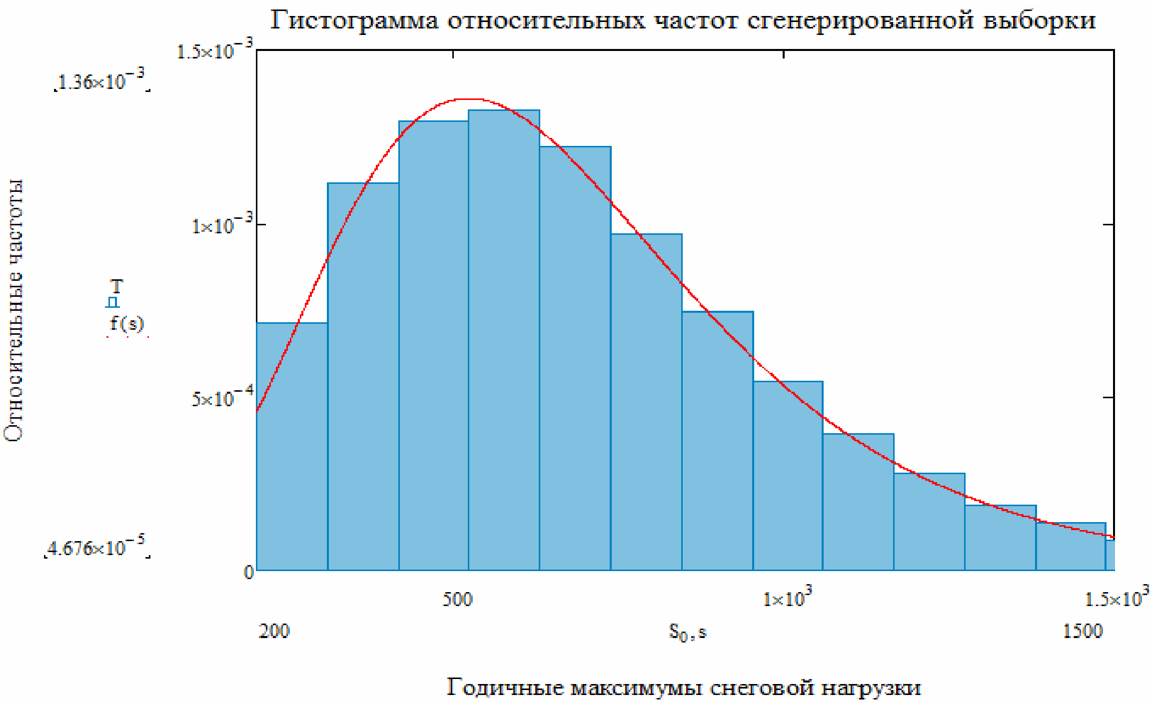


Рисунок 2. Гистограмма относительных частот сгенерированной выборки снеговой нагрузки.

σ – среднеквадратическое отклонение распределения.

Исходя из условия прочности, примем двутавровое сечение № 40. В качестве математического ожидания примем значение площади из сортамента ($F = 72{,}6$ см^2). Среднеквадратическое отклонение примем в 7 % от нормативной площади ($\sigma = 5{,}08$ см^2). Используя «Mathcad 15», генерируем выборку значений площади в объёме 10 000 значений и насчитываем по ней совокупность моментов сопротивления в таком же объеме.

Предел текучести

Как правило, при работе с прочностными характеристиками материалов в виде стохастических величин используют закон распределения Гаусса (6) [10]. Базируясь на ранее проведенном анализе прочностных характеристик металлопроката [10], примем математическое ожидание предела текучести $\mu_R = 225{,}23$ МПа, а среднеквадратическое отклонение в размере 10 % от предела математического ожидания $\sigma = 22{,}523$ МПа. Используя «Mathcad 15», генерируем выборку значений в объёме 10 000 значений.

Численный эксперимент

Метод двух моментов

Если случайные величины, используемые при вычислении вероятности отказа, распределены по закону распределения Гаусса или экспоненциальному закону, то вероятность отказа может быть вычислена по формуле:

$$P_f = P(g<0) = \frac{1}{\hat{g}\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{g_i-\bar{g}}{\hat{g}}\right)^2} dg = \\ = \frac{1}{2} - \underbrace{\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{0}^{\beta} e^{-\frac{g^2}{2}} dg}_{\Phi(\beta)} = \frac{1}{2} - \Phi(\beta), \qquad (11)$$

где $\Phi(\beta)$ – интеграл вероятности Гаусса;

g – число стандартов, укладывающееся в диапазоне от $g = 0$ до $g = \bar{g}$;

β – характеристика безопасности:

$$\beta = \frac{\bar{g}}{\hat{g}} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}}, \qquad (12)$$

где $\bar{g} = \bar{R} - \bar{S}$;

$\hat{g} = \sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}$;

$-$, $\frown$ – математическое ожидание, стандарт случайных величин.

Используя сформированные выборки моментов сопротивления и значений снеговой нагрузки, насчитываем совокупность напряжений в наиболее напряженном сечении балки. Вычисляем характеристики этой совокупности исходя из гипотезы, что применим закон распределения Гаусса, так как исходные распределения были аналогичными. Для проверки гипотезы о распределении был проведён $\chi 2$-анализ по критерию Пирсона в *Microsoft Excel 2010,* который подтвердил применимость данной гипотезы с вероятностью ошибки, не превышающей 5 %. Таким образом, получаем математическое ожидание и стандарт отклонения двух случайных величин $\check{R}(t)$ и $\hat{S}(t)$. Тогда:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\check{R}^2 + \hat{S}^2}} = \frac{225,23 - 78,386}{\sqrt{22,38^2 - 35,71^2}} = 3,484\,,$$

$$P_f = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \int_0^{3,484} e^{-\frac{g^2}{2}} dg = 1,707 \cdot 10^{-4}\,.$$

Метод статистических испытаний

Если осуществляется оценка вероятности отказа по частоте ($S > R$), то производится достаточно большое количество испытаний по схеме Бернулли, т. е. на каждом испытании генерируются случайные реализации всех исходных величин. Выполняется расчет значений S и R и как функций этих реализаций и проверяется условие $S > R$. Если условие выполняется, исходом испытания считается отказ. Частота ν появления отказа рассматривается как оценка его вероятности P_f:

$$\nu = \frac{k}{m} \approx P_f\,, \qquad (13)$$

где k – число отказов;

m – общее число испытаний.

Метод крайне прост и универсален, однако он требует обязательного анализа близости оценки ν к искомой вероятности P_f, которая зависит от числа испытаний m.

Известные методы такого анализа основываются на предельных теоремах:

- Бернулли, утверждающая, что при $m \to \infty$, $\nu \to P_f$ и что имеет асимптотически нормальное распределение ;
- Хинчина (закон больших чисел), утверждающая, что средняя частота ν при $m \to \infty$ стремится к ее математическому ожиданию;
- Линдеберга–Леви (центральная предельная теорема), утверждающая, что среднее значение частоты ν имеет асимптотически нормальное распределение.

Тогда граница доверительного интервала может быть вычислена как $\eta \cdot \nu_i$, где $\nu_i = k/(m+1)$ и η – доверительный коэффициент [4].

В нашем расчетном случае было проведено $m = 10\,000$ испытаний (побъёму сформированных выборок), число отказов составило $k = 18$. Следовательно, вероятность отказа составила: $\nu = 1,8 \cdot 10^{-3}$. Учитывая границу доверительного интервала, можно записать:

$$P_f \le 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,48288 = 2,669 \cdot 10^{-3}\,.$$

Метод Монте-Карло

Интеграл (2) по определению есть не что иное, как математическое ожидание функции *R(t)*, а несмещенной эффективной оценкой математического ожидания является среднее выборочное значение, поэтому:

$$P(t) = \int_0^{\infty} R(t) p_s(t) dt = F_R(S) \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} F_R(S_i)\,. \qquad (14)$$

На каждом испытании по плотности вероятностей величины моделируется ее реализация t_i и определяется значение функции распределения величины R при аргументе t. Затем определяется среднее из этих значений по всем проведенным испытаниям.

В нашем случае величина *S(t)* (напряжение в конструкции) есть функция нескольких переменных (площади сечения балки и снеговой нагрузки), поэтому на каждом испытании по плотностям вероятностей этих величин моделируется их реализация и вычисляется *S(t)*. То есть, имея насчитанные выборки площади сечения и снеговой нагрузки, вычисляются реализации напряжений в конструкции, которые составляют выборку *S(t)* в объёме 10 000 значений. Методами математической статистики определяется закон распределения, который с должной точностью аппроксимирует рассматриваемую непрерывную случайную величину напряжения в сечении балки. В вышерассмотренных методах таким законом был принят закон распределения Гаусса, с точностью не менее 95 %. Предел текучести также подчиняется нормальному распределению с приведенной точностью. Следовательно, подставляем значения напряжений в функцию распределения предела текучести и вычисляем среднее значение полученной совокупности. Далее, в соответствии с формулой 14, делим полученное число на количество испытаний (15). Описанные операции производим в «Mathcad 15».

$$P(t) = \frac{1}{10000}\sum_{i=1}^{10000}\frac{1}{23\cdot\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(S_i-225,23)^2}{2\cdot 23^2}} = \\ =1,587\cdot 10^{-4}. \qquad (15)$$

Таким образом, получаем среднее значение выборки. И вычисляем доверительный интервал (16), где t –критерий Стьюдента для доверительной вероятности 0,95.

$$v = \pm t\cdot\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}P(S_i)^2 - m\cdot P(t)^2}{m\cdot(m-1)}} = \pm 1,96\times \\ \times\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10000}P(S_i)^2 - 10000\cdot(1,587\cdot 10^{-4})^2}{10000\cdot(10000-1)}} = \\ = \pm 2,388\cdot 10^{-5}. \qquad (16)$$

Следовательно, вероятность отказа лежит в интервале P_f=$P(t)\pm v$:

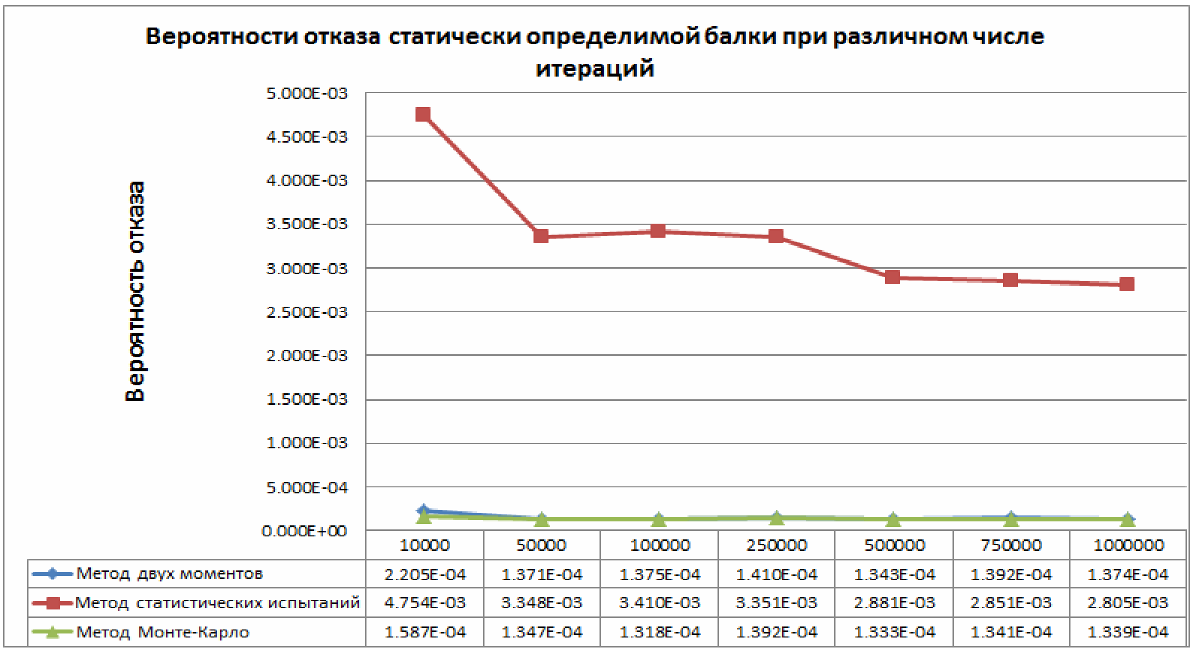
$$1,826\cdot 10^{-4} < P_f < 1,349\cdot 10^{-4}.$$

Анализ результатов

Вышеприведенный расчет был проведен для различного объёма выборок стохастических величин. Данные приведены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, метод статистических испытаний дает существенно завышенную вероятность отказа конструкции. Это объясняется тем, что в силу своей простоты реализации при оценке малых вероятностей P_f с приемлемой достоверностью (т. е. требуемых малых значений доверительного коэффициента, а следовательно достаточного большого числа отказов) требуется большое число испытаний. И если на каждом испытании выполняется сложный детерминированный расчет, то общая потребность машинного времени значительно увеличивается и метод становится не эффективным.

Метод двух моментов и Монте-Карло дают приблизительно результаты одного порядка, что свидетельствует об их большей продуктивности, относительно метода статистических испытаний. После превышения объема выборок в 10 000



	10000	50000	100000	250000	500000	750000	1000000
Метод двух моментов	2.205E-04	1.371E-04	1.375E-04	1.410E-04	1.343E-04	1.392E-04	1.374E-04
Метод статистических испытаний	4.754E-03	3.348E-03	3.410E-03	3.351E-03	2.881E-03	2.851E-03	2.805E-03
Метод Монте-Карло	1.587E-04	1.347E-04	1.318E-04	1.392E-04	1.333E-04	1.341E-04	1.339E-04

Рисунок 3. График зависимостей вероятности отказа от объема выборки случайных величин.

числа практически сходятся. Следовательно, приемлемое количество испытаний для получения стабильного значения вероятности отказа рекомендуется принимать не менее 10 000.

Метод двух моментов значительно проще Монте-Карло в реализации, но он применим исключительно в случае распределения случайных величин по нормальному и экспоненциальному законам распределения. Это накладывает определенные ограничения на его использование.

Выводы

1. Результаты, полученные в ходе численного эксперимента, показали, что для получения достоверного значения вероятности отказа объём выборок исходных стохастических величин должен составлять не менее 10 000 значений.
2. Метод статистических испытаний крайне прост в реализации и не зависит от законов распределения исходных стохастических величин, но не рекомендован к применению, так как требует при оценке малых значений вероятностей отказа слишком большого числа испытаний.
3. Метод двух моментов дает достаточно точные результаты при относительно небольшом количестве испытаний и довольно прост в реализации, но применим исключительно в случаях распределения исходных стохастических величин по закону Гаусса или экспоненциальному закону распределения.
4. Наиболее приемлемым методом вычисления вероятности отказа строительных конструкций является метод Монте-Карло, так как дает результаты с достаточной точностью при относительно небольшом количестве расчетных операций. А также применим при любых законах распределения исходных стохастических величин.

Литература

1. ДБН В 1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4668-84) ; чинні з 2009–12–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
2. ГОСТ Р 54257-2010. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования [Текст]. – Введен впервые ; введ. 2011–09–01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 15 с.
3. Eurocode – Basis of structural design [Текст] : EN 1990:2002+A1. – Brussels : Management Centre, 2002. – 116 p. – (European Standard).
4. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990: Основы проектирования сооружений [Текст] : пер. с англ. / Х. Гульванесян, Ж.-А. Калгаро, М. Голицки ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т», науч. ред. пер. д-р техн. наук В. Д. Райзер, канд. техн. наук Н. А. Попов. – М. : МГСУ, 2011. – 264 с.
5. Райзер, В. Д. Теория надежности в строительном проектировании [Текст] / В. Д. Райзер. – М. : АСD, 1998. – 304 с.
6. Ржаницын, А. Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность [Текст] / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
7. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений [Текст] / В. В. Болотин. – М. : Стройиздат, 1981. – 351 с.

References

1. DBN V 1.2-14-2009. General principles of reliability control and structural safety of building, constructions, civil structures and foundations. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009. 49 p. (in Ukrainian)
2. GOST R 54257-2010. Reliability of constructions and foundations. Basic principles and requirements. Moscow: Standartinform, 2011. 15 p. (in Russian)
3. Eurocode – Basis of structural design: EN 1990:2002+A1. Brussels: Management Centre, 2002. 116 p. (European Standard).
4. Gulvanesian, H.; Kalgaro, Zh.-A.; Golitski, M. The management for designers to an Eurocode 1990: bases of constructions design: translated from English. Moscow: MSSEU, 2011. 264 p. (in Russian)
5. Raizer, V. D. The theory of reliability in construction design. Moscow: ASD, 1998. 304 p. (in Russian)
6. Rzhanitsyn, A. R. The theory of calculation of building constructions on reliability. Moscow: Stroiizdat, 1978. 239 p. (in Russian)
7. Bolotin, V. V. Methods of probability in calculations of constructions. Moscow: Stroiizdat, 1981. 351 p. (in Russian)
8. Kinash, R. I.; Burnaev, O. M. Snow loading in Ukraine. Monograph. Lviv: Publishing house of scientific and technical literature, 1997. 848 p. (in Ukrainian)
9. Zolina, T. V.; Sadchikov, P. N. Modeling of the snow load on the roofs of industrial buildings. In: *Vestnik MGSU*, 2016, No. 8, pp. 25–33. (in Russian)
10. Mushchanov, Volodymyr; Orzhekovskiy, Ananoliy. Experimental study of the strength and geometric characteristics of the bent-welded pipes of rectangular

8. Кінаш, Р. І. Снігове навантаження в Україні [Текст] : Монографія / Р. І. Кінаш, О. М. Бурнаєв. – Львів : Видавництво науково-технічної літератури, 1997. – 848 с.
9. Золина, Т. В. Моделирование снеговой нагрузки на покрытие промышленного здания [Текст] / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков // Вестник Московского государственного строительного университета. 2016. № 8. С. 25–33.
10. Мущанов, В. Ф. Экспериментальное исследование прочностных и геометрических характеристик гнуто-сварных труб прямоугольного сечения украинских производителей [Текст] / В. Ф. Мущанов, А. Н. Оржеховский // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2013. Выпуск 2013–3(101). С. 9–12.
11. Krejsa, M. Application of the DOProC Method in Solving Reliability Problems [Текст] / M. Krejsa, P. Janas, V. Krejsa // Applied Mechanics and Materials. 2016. Vol. 821. P. 717–724.
12. Structural reliability assessment using Direct Optimized Probabilistic Calculation with respect to the statistical dependence of input variables [Текст] / P. Janas, M. Krejsa, V. Krejsa, R. Bris // Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: ESREL 2015 : Proceedings of 25th European Safety and Reliability Conference / Editors: Luca Podofillini, Bruno Sudret, Bozidar Stojadinovic, Enrico Zio, Wolfgang Kröger. – London : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. – P. 4125–4132.
13. Donova, D. The comparison of the probabilistic calculation of course of temperatures in peripheral construction with actual measured data [Текст] / D. Donova, N. Zdrazilova // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1041. P. 154–157.

cross-section of the Ukrainian producers. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2013, Issue 2013–3(101), pp. 9–12. (in Russian)
11. Krejsa, M.; Janas, P.; Krejsa, V. Application of the DOProC Method in Solving Reliability Problems. In: *Applied Mechanics and Materials*, 2016, Vol. 821, pp. 717–724.
12. Janas, P.; Krejsa, M.; Krejsa, V.; Bris, R. Structural reliability assessment using Direct Optimized Probabilistic Calculation with respect to the statistical dependence of input variables. In: *Editors: Luca Podofillini, Bruno Sudret, Bozidar Stojadinovic, Enrico Zio, Wolfgang Kröger. Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: ESREL 2015: Proceedings of 25th European Safety and Reliability Conference*. London: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015, pp. 4125–4132.
13. Donova, D.; Zdrazilova, N. The comparison of the probabilistic calculation of course of temperatures in peripheral construction with actual measured data. In: *Advanced Materials Research*, 2014, Vol. 1041, pp. 154–157.

Мущанов Владимир Филиппович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», академик Академии строительства Украины и Украинской академии наук, член-корреспондент Академии архитектуры Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Гаранжа Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение действительной работы металлических решетчатых, многогранных листовых и трубобетонных опор воздушных линий электропередачи. Создание новых конструктивных решений опор ВЛ с применением прогрессивных технологий и материалов.

Оржеховский Анатолий Николаевич – магистр, ассистент кафедры теоретической и прикладной механики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование действительной работы и показателей надежности стальных стационарных рамно-консольных покрытий над трибунами стадионов.

Мущанов Володимир Пилипович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», академік Академії будівництва України і Української академії наук, член-кореспондент Академії архітектури України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Гаранжа Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих, багатогранних листових і трубобетонних опор повітряних ліній електропередавання. Створення нових конструктивних рішень опор ПЛ із застосуванням прогресивних технологій і матеріалів.

Оржеховський Анатолій Миколайович – магістр, асистент кафедри теоретичної і прикладної механіки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і показників надійності сталевих стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів.

Mushchanov Volodymyr – D.Sc. (Engineering), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer» and international organization of «Spatial Structures», academician of the Ukrainian Academy of Science and Ukrainian Building Academy, Corresponding Member of Ukrainian Academy of Architecture. Scientific interests: the reliability theory, analyses, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Garanzha Igor – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work steel lattice, multifaceted and composite supports of overhead power transmission lines. Creation new constructive decisions of OPTL supports with application progressive technologies and materials.

Orzhekhovskiy Anatoliy – Master; assistant, Theoretical and Applied Mechanics Department, National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the real work and indicators of reliability of stationary steel frame-cantilever coverings over the stands of stadiums.