

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ANALYSIS AND DESIGN OF BUILDING STRUCTURES

DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-4-243-249
УДК 624.046.5

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Моделирование случайной статической нагрузки на покрытия сооружений при неполной статистической информации

С.А. Соловьев

Вологодский государственный университет, Российская Федерация, 160000, Вологда, ул. Ленина, 15
solovevsa@vogu35.ru

История статьи:

Поступила в редакцию: 3 июня 2020 г.
Доработана: 4 июля 2020 г.
Принята к публикации: 15 июля 2020 г.

Аннотация

Актуальность. Нагрузки на сооружения представляют собой сложные стохастические структуры, включающие в себя несколько типов неопределенностей одновременно. В статье разработан подход к вероятностному моделированию нагрузки на покрытие сооружений с учетом неполной статистической информации, когда параметры функций распределения представлены в интервальной форме. **Цель исследования** – разработка подхода к моделированию вероятностного распределения случайной нагрузки на покрытие сооружений в условиях ограниченной (неполной) статистической информации о нагрузке. **Методы.** Распределение вероятностей отдельного вида нагружения представлено в виде p -блоков (probability boxes). На численном примере показан алгоритм определения p -блока, состоящего из суммы p -блоков, характеризующих различные нагружения с различными граничными функциями распределения. **Результаты.** На основе предложенного подхода можно определить интервалы нормативной и расчетной нагрузки с заданной обеспеченностью, рассчитать вероятность безотказной работы элемента сооружений, произвести оценку риска аварии рассматриваемого элемента сооружений, а также подбор сечения элемента по заданному уровню надежности.

Ключевые слова: проектирование, случайная величина, покрытие, теория свидетельств, p -блоки, интервал значений, расчетная нагрузка, ферма, балка покрытия

Для цитирования

Соловьев С.А. Моделирование случайной статической нагрузки на покрытия сооружений при неполной статистической информации // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16. № 4. С. 243–249. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-4-243-249>

Введение

В соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» рекомендуется применять вероятностно-статистические методы для обоснования нормативных и расчетных характери-

стик нагрузок и коэффициентов сочетаний. Применение таких методов допускается при наличии эффективных вероятностных методик учета случайной изменчивости основных параметров. При моделировании нагрузки на сооружение на основе вероятностно-статистических методов необходимо учитывать два типа неопределенности: aleatorную, обусловленную естественной природой изменчивости климатических нагрузок и неоднородностью физико-механических свойств, и эпистемологическую, связанную с использованием ограниченной по объему статистической выборки и принятием отдельных статистических гипотез.

Соловьев Сергей Александрович, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, кандидат технических наук, eLIBRARY SPIN-код: 4738-8927; Scopus ID: 57191529586; Web of Science ResearcherID: AAJ-1708-2020.

© Соловьев С.А., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

В исследовании [1] отмечается, что фактическая надежность конструкций покрытия в ряде случаев получается ниже расчетного уровня надежности вследствие изменчивости снеговой нагрузки. В работе [2] приведены различные подходы к описанию снеговой нагрузки на конструкции покрытий сооружений. В [3] также отмечается многообразие подходов к вероятностно-статистическому моделированию снеговой нагрузки на покрытие.

Проблема выбора конкретных вероятностно-статистических распределений для снеговой нагрузки может быть решена путем использования математических методов моделирования при неполной статистической информации. Широкое распространение получили методы вероятностного проектирования и расчета надежности в условиях неопределенности на основе p -блоков [4]. В работе [5] рассматривается перспективное направление использования топологической оптимизации с учетом неопределенности в параметрах нагрузки.

1. Цель исследования

Множество различных подходов к моделированию эксплуатационной нагрузки как случайной величины формирует эпистемологическую неопределенность в рамках анализа надежности элементов покрытия сооружения. В данной работе предлагается рассмотреть подход к моделированию случайной статической нагрузки на конструкции покрытий сооружений с учетом неопределенности в виде неточных (интервальных) оценок статистических параметров в математической модели нагрузки.

2. Материалы и методы

В общем виде условие прочности изгибаемой конструкции покрытия можно записать в виде:

$$\tilde{M}(\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \dots, \tilde{q}_n) \leq \tilde{M}_{\text{ult}}, \quad (1)$$

где $\tilde{M}(\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \dots, \tilde{q}_n)$ – функция изгибающего момента, зависящая от случайных (по значению) нагрузок на конструкцию покрытия $\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \dots, \tilde{q}_n$; \tilde{M}_{ult} – предельный допустимый изгибающий момент.

В общем виде нагрузки на покрытие можно классифицировать на нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия, климатические нагрузки и технологические нагрузки. Нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия могут быть описаны нормальным законом распределения. Так, в приложении С Eurocode 0 «Basis of structural design» отмечено, что нормальное рас-

пределение допустимо использовать для описания распределения собственного веса конструкций. Для моделирования снеговой нагрузки чаще используется закон распределения Гумбеля (или двойной экспоненциальный) [6]:

$$F_X(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha-x}{\beta}\right)\right], \quad (2)$$

где $\beta \approx \frac{S_X \sqrt{6}}{\pi}$ – мера рассеяния распределения Гумбеля, S_X – среднеквадратическое отклонение случайной величины X ; $\alpha = m_X - \gamma \cdot \beta \approx m_X - 0,45 \cdot S_X$ – мера центра распределения Гумбеля, γ – постоянная Эйлера – Маскерони.

В случае ограниченной по объему выборки возможно ввести поправки для оценки коэффициентов β и α в виде $\alpha = m_X - (0,45 + 0,34n^{-0,69}) \cdot S_X$ и $\beta = (0,78 + 1,54n^{-0,75}) S_X$.

Числовые параметры математического ожидания и стандартного отклонения для снеговой нагрузки содержатся в работе [6]. Эти параметры представляют собой некоторую неопределенность, одним из способов оценки которой является представление данных параметров в виде интервалов значений $[\underline{m}_X; \bar{m}_X]$ и $[\underline{S}_X; \bar{S}_X]$. Предположим, что по результатам статистического анализа данных о снеговой нагрузке получены следующие доверительные интервалы: $[\underline{m}_X; \bar{m}_X] \in [140; 150]$ кгс/м² и $[\underline{S}_X; \bar{S}_X] \in [20; 30]$ кгс/м². Различные возможные функции распределения (2) по граничным значениям параметров приведены на рис. 1.

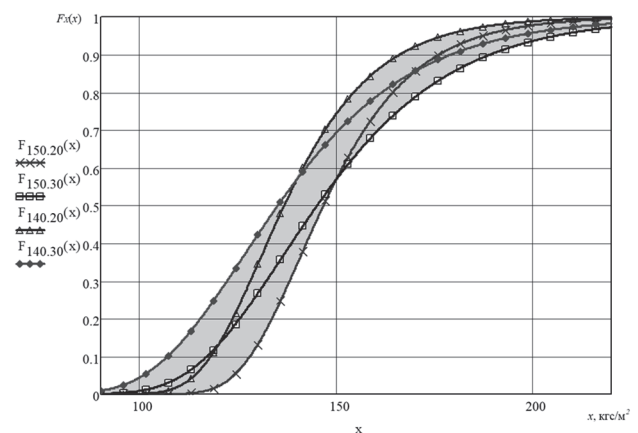


Рис. 1. Граничные функции распределения, формирующие p -блок для снеговой нагрузки
[Figure 1. Boundary distribution functions as a p -box for snow load]

Подмножество возможных функций распределения формируют область, которая называется *p*-box (probability box), или *p*-блоки. Предполагается, что действительная функция распределения снеговой нагрузки будет проходить внутри данной области. Таким образом, для снеговой нагрузки можно сформировать две граничные функции распределения:

$$F_X(x) = \begin{cases} \exp \left[-\exp \left(\frac{[\underline{m}_X - 0,45 \cdot \bar{S}_X] - x}{0,78 \cdot \bar{S}_X} \right) \right], & \text{если } x < \underline{m}_X \\ \exp \left[-\exp \left(\frac{[\underline{m}_X - 0,45 \cdot \underline{S}_X] - x}{0,78 \cdot \underline{S}_X} \right) \right], & \text{если } x \geq \underline{m}_X \end{cases},$$

$$\bar{F}_X(x) = \begin{cases} \exp \left[-\exp \left(\frac{[\bar{m}_X - 0,45 \cdot \underline{S}_X] - x}{0,78 \cdot \underline{S}_X} \right) \right], & \text{если } x < \bar{m}_X \\ \exp \left[-\exp \left(\frac{[\bar{m}_X - 0,45 \cdot \bar{S}_X] - x}{0,78 \cdot \bar{S}_X} \right) \right], & \text{если } x \geq \bar{m}_X \end{cases}.$$

Нагрузка от собственного веса конструкций, как было отмечено выше, зачастую описывается нормальным законом распределения, для которого в условиях интервальных оценок его параметров также может быть построена модель *p*-box. Так как нагрузка от собственного веса представлена суммой нагрузок от собственных весов элементов конструкции покрытия со своими доверительными оценками, то параметры для нормального распределения вычисляются по общеизвестным формулам: $m_X = \sum_{i=1}^n m_{x_i}$ и $S_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_{x_i}^2}$. В интервальной форме значения параметров суммируются по правилам интервальной арифметики [7]:

$$[\underline{m}_X; \bar{m}_X] = \sum_{i=1}^n [\underline{m}_{x_i}; \bar{m}_{x_i}]$$

и

$$[\underline{S}_X; \bar{S}_X] = \sqrt{\sum_{i=1}^n [\underline{S}_{x_i}^2; \bar{S}_{x_i}^2]}.$$

С учетом вышеизложенного математическую модель предельного состояния (1) запишем в виде

$$\tilde{M}(\tilde{q}^{\text{snow}} + \tilde{q}^w) \leq \tilde{M}_{\text{ult}}, \quad (3)$$

где \tilde{q}^{snow} – снеговая нагрузка; \tilde{q}^w – нагрузка от веса конструкций.

Случайные статические нагрузки в модели (3) представлены *p*-блоками. Для суммирования *p*-блоков необходимо их преобразовать в структуру типа Демпстера – Шефера [8]. Непрерывные граничные функции распределения в *p*-блоках дискретизируются на определенное число блоков (рис. 2).

Распределения при дискретизации ограничиваются 0,05 и 99,5 перцентилями [9].

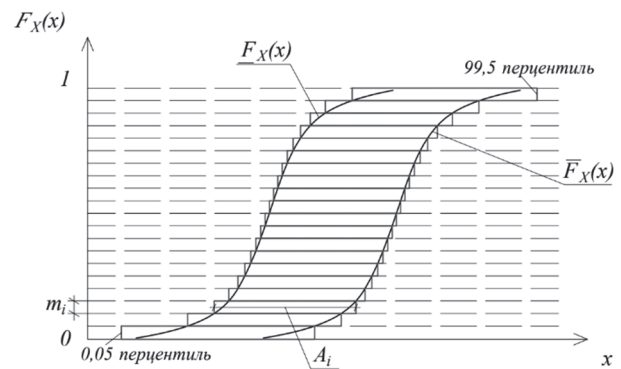


Рис. 2. Дискретизация *p*-блока на фокальные элементы A_i с базовыми вероятностями m_i
 [Figure 2. *P*-box discretization to focal elements A_i with basic probabilities m_i]

Шаг дискретизации m_i обычно принимают 0,01 с учетом $\sum_{i=1}^n m_i = 1$. В данном случае мы получаем

100 интервальных оценок A_i случайной величины X . Следовательно, дискретизируя *p*-блоки для снеговой нагрузки, получим 100 интервалов: $[\underline{q}_1^{\text{snow}}; \bar{q}_1^{\text{snow}}]$, $[\underline{q}_2^{\text{snow}}; \bar{q}_2^{\text{snow}}]$, ..., $[\underline{q}_{100}^{\text{snow}}; \bar{q}_{100}^{\text{snow}}]$. Аналогично можно получить 100 интервалов для нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия $[\underline{q}_1^w; \bar{q}_1^w]$, $[\underline{q}_2^w; \bar{q}_2^w]$, ..., $[\underline{q}_{100}^w; \bar{q}_{100}^w]$.

Для построения *p*-блока суммарной статической нагрузки необходимо каждый интервал снеговой нагрузки сложить с каждым интервалом нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия. Табличная форма решения продемонстрирована в табл. 1.

Объединение двух структур (комбинация) Демпстера – Шефера [8]
 [Table 1. Combination of two Dempster – Shafer structures]

$\left[\underline{q}_1^{\text{snow}} ; \bar{q}_1^{\text{snow}} \right], 0,01$	$\left[\underline{q}_2^{\text{snow}} ; \bar{q}_2^{\text{snow}} \right], 0,01$...	$\left[\underline{q}_{100}^{\text{snow}} ; \bar{q}_{100}^{\text{snow}} \right], 0,01$
$\left[\underline{q}_1^w ; \bar{q}_1^w \right], 0,01$	$\left[\underline{q}_1^{\text{snow}} + \underline{q}_1^w ; \bar{q}_1^{\text{snow}} + \bar{q}_1^w \right], 0,0001$	$\left[\underline{q}_2^{\text{snow}} + \underline{q}_2^w ; \bar{q}_2^{\text{snow}} + \bar{q}_2^w \right], 0,0001$...
$\left[\underline{q}_2^w ; \bar{q}_2^w \right], 0,01$	$\left[\underline{q}_1^{\text{snow}} + \underline{q}_2^w ; \bar{q}_1^{\text{snow}} + \bar{q}_2^w \right], 0,0001$	$\left[\underline{q}_2^{\text{snow}} + \underline{q}_2^w ; \bar{q}_2^{\text{snow}} + \bar{q}_2^w \right], 0,0001$...
....
$\left[\underline{q}_{100}^w ; \bar{q}_{100}^w \right], 0,01$	$\left[\underline{q}_1^{\text{snow}} + \underline{q}_{100}^w ; \bar{q}_1^{\text{snow}} + \bar{q}_{100}^w \right], 0,0001$	$\left[\underline{q}_2^{\text{snow}} + \underline{q}_{100}^w ; \bar{q}_2^{\text{snow}} + \bar{q}_{100}^w \right], 0,0001$...
			$\left[\underline{q}_{100}^{\text{snow}} + \underline{q}_{100}^w ; \bar{q}_{100}^{\text{snow}} + \bar{q}_{100}^w \right], 0,0001$

Элементы в табл. 1 записаны по принципу $A_i \in \left[\underline{q}_i ; \bar{q}_i \right]$, m_i , где $\underline{q}_i ; \bar{q}_i$ – нижняя и верхняя границы интервала фокального элемента A_i ; m_i – базовая вероятность для фокального элемента A_i .

В итоге получим $100 \times 100 = 10\,000$ интервалов. По этим интервалам можно построить нижнюю и верхнюю граничные функции распределения на основе положений теории свидетельств Демпстера – Шефера [10]. Данные граничные функции распределения будут создавать p -блок суммарной нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия и снеговой нагрузки.

3. Результаты

Пусть для стального прогона покрытия даны статистические характеристики нагрузок:

1. Собственный вес χ_1 : математическое ожидание [0,14; 0,15] кН/м; среднее квадратическое отклонение [0,005; 0,010] кН/м.

2. Панель покрытия χ_2 : математическое ожидание [0,50; 0,55] кН/м; среднее квадратическое отклонение [0,02; 0,04] кН/м.

3. Снеговая нагрузка χ_3 : математическое ожидание [2,20; 2,50] кН/м; среднее квадратическое отклонение [0,10; 0,30] кН/м.

Математическое ожидание нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия: $m_{q,w} = [0,14; 0,15] + [0,50; 0,55] = [0,64; 0,70]$ кН/м.

Среднее квадратическое отклонение нагрузки от собственного веса элементов конструкции покрытия: $S_{q,w} = \sqrt{[0,005^2; 0,010^2] + [0,020^2; 0,040^2]} = [0,021; 0,041]$ кН/м.

В общем виде граничные функции для нормального распределения нагрузки от собственного веса элементов покрытия можно записать в виде

$$F_{q,w}(q^w) = \begin{cases} F^{\text{norm}}(\underline{m}_{q,w}, \bar{S}_{q,w}), & \text{если } q^w < \underline{m}_{q,w} \\ F^{\text{norm}}(\underline{m}_{q,w}, \underline{S}_{q,w}), & \text{если } q^w \geq \underline{m}_{q,w} \end{cases},$$

$$\bar{F}_{q,w}(q^w) = \begin{cases} F^{\text{norm}}(\bar{m}_{q,w}, \underline{S}_{q,w}), & \text{если } q^w < \bar{m}_{q,w} \\ F^{\text{norm}}(\underline{m}_{q,w}, \bar{S}_{q,w}), & \text{если } q^w \geq \bar{m}_{q,w} \end{cases},$$

где F^{norm} – функция закона нормального распределения.

В примере рассмотрим дискретизацию p -блоков нагрузок на 10 элементов (рис. 3).

В рамках дискретизации на 10 элементов получим следующие интервалы: [0,535 (0,05 перцентиль); 0,673]; [0,588; 0,682]; [0,606; 0,689]; [0,619; 0,695]; [0,630; 0,700]; [0,640; 0,710]; [0,646; 0,722]; [0,651; 0,735]; [0,658; 0,752]; [0,668; 0,805 (99,5 перцентиль)] кН/м.

При дискретизации распределения снеговой нагрузки на 10 элементов получим следующие интервалы: [1,680 (0,05 перцентиль); 2,390]; [1,870; 2,418]; [1,954; 2,440]; [2,022; 2,462]; [2,084; 2,484]; [2,150; 2,522]; [2,208; 2,607]; [2,236; 2,716]; [2,272; 2,891]; [2,330; 3,600 (99,5 перцентиль)] кН/м.

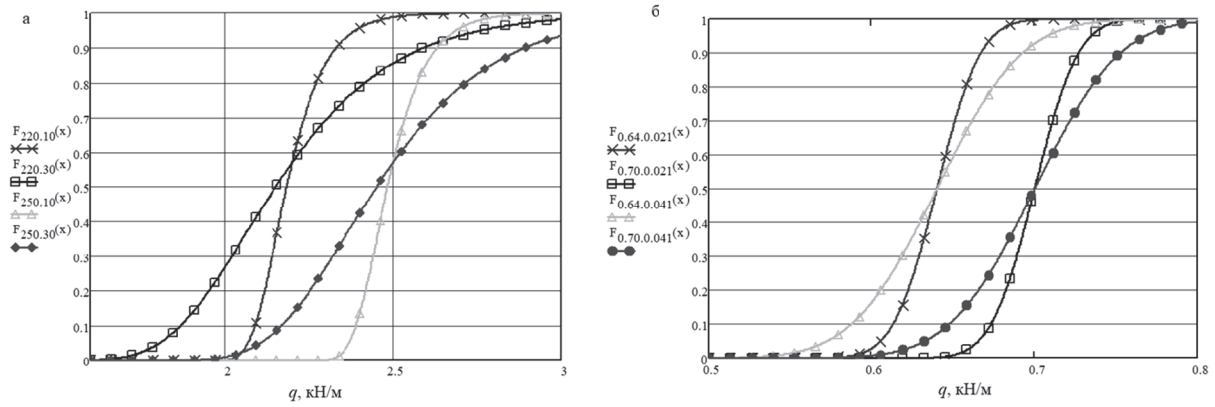


Рис. 3. Дискретизация p -блоков снеговой нагрузки (а) и нагрузки от собственного веса конструкций (б), кН/м
 [Figure 3. The snow load (a) and self-weight load (б) p -boxes discretization, kN/m]

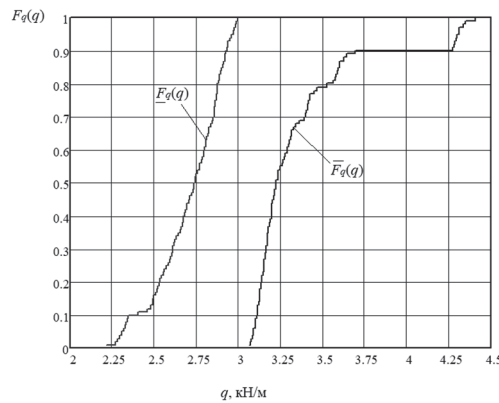


Рис. 4. Граничные функции распределения $\underline{F}_q(q)$ и $\overline{F}_q(q)$, формирующие p -блок суммарной нагрузки на покрытие
 [Figure 4. Boundary distribution functions $\underline{F}_q(q)$ and $\overline{F}_q(q)$ as p -box of common load on structural surface]

Таблица 2

Объединение двух нагрузок в общую структуру
 [Table 2. Combinations of two types of loads in common structure]

	[0,535; 0,673]	[0,588; 0,682]	[0,606; 0,689]	[0,619; 0,695]	[0,630; 0,700]	[0,640; 0,710]	[0,646; 0,722]	[0,651; 0,735]	[0,658; 0,752]	[0,668; 0,805]
[1,680; 2,390]	[2,215; 3,063]	[2,268; 3,072]	[2,286; 3,079]	[2,299; 3,085]	[2,310; 3,090]	[2,320; 3,100]	[2,326; 3,100]	[2,331; 3,125]	[2,338; 3,142]	[2,348; 3,195]
[1,870; 2,418]	[2,405; 3,091]	[2,458; 3,100]	[2,476; 3,107]	[2,489; 3,113]	[2,500; 3,118]	[2,510; 3,128]	[2,516; 3,128]	[2,521; 3,153]	[2,528; 3,170]	[2,538; 3,223]
[1,954; 2,440]	[2,489; 3,113]	[2,542; 3,112]	[2,560; 3,219]	[2,573; 3,135]	[2,584; 3,140]	[2,594; 3,150]	[2,600; 3,150]	[2,605; 3,175]	[2,612; 3,192]	[2,622; 3,245]
[2,022; 2,462]	[2,557; 3,135]	[2,610; 3,144]	[2,628; 3,151]	[2,641; 3,157]	[2,652; 3,162]	[2,662; 3,172]	[2,668; 3,172]	[2,673; 3,197]	[2,680; 3,214]	[2,690; 3,267]
[2,084; 2,484]	[2,619; 3,157]	[2,672; 3,166]	[2,690; 3,173]	[2,703; 3,179]	[2,714; 3,184]	[2,724; 3,194]	[2,730; 3,194]	[2,735; 3,219]	[2,742; 3,236]	[2,752; 3,289]
[2,150; 2,522]	[2,685; 3,195]	[2,738; 3,204]	[2,756; 3,211]	[2,769; 3,217]	[2,780; 3,222]	[2,790; 3,232]	[2,796; 3,232]	[2,801; 3,257]	[2,808; 3,274]	[2,818; 3,327]
[2,208; 2,607]	[2,743; 3,280]	[2,796; 3,289]	[2,814; 3,296]	[2,827; 3,302]	[2,838; 3,416]	[2,848; 3,317]	[2,854; 3,317]	[2,859; 3,342]	[2,866; 3,359]	[2,876; 3,412]
[2,236; 2,716]	[2,771; 3,389]	[2,824; 3,398]	[2,842; 3,405]	[2,855; 3,411]	[2,866; 3,416]	[2,876; 3,426]	[2,882; 3,426]	[2,887; 3,451]	[2,894; 3,468]	[2,904; 3,521]
[2,272; 2,891]	[2,807; 3,564]	[2,860; 3,573]	[2,878; 3,580]	[2,891; 3,586]	[2,902; 3,591]	[2,912; 3,601]	[2,918; 3,601]	[2,923; 3,626]	[2,930; 3,643]	[2,940; 3,696]
[2,330; 3,600]	[2,865; 4,273]	[2,918; 4,282]	[2,936; 4,289]	[2,949; 4,295]	[2,960; 4,300]	[2,970; 4,310]	[2,976; 4,310]	[2,981; 4,335]	[2,988; 4,352]	[2,998; 4,405]

Пример объединения нагрузки от собственного веса и снеговой нагрузки в единую структуру типа Демпстера – Шефера для заданных значений приведен в табл. 4

На рис. 4 представлен p -блок, который характеризует граничные функции распределения суммарной случайной нагрузки на покрытие.

4. Обсуждение

Полученные граничные функции распределения могут быть использованы при анализе надежности элементов покрытия [1; 11; 12]. Если несущая способность элемента покрытия может быть представлена в виде плотностей распределения с граничными функциями $\bar{f}_{q,ult}$ и $\underline{f}_{q,ult}$, то верхняя и нижняя границы вероятностей безотказной работы вычисляются по формулам

$$\underline{P} = \int_0^{+\infty} \bar{F}_q(q) \underline{f}_{q,ult}(q) dx,$$

$$\bar{P} = \int_0^{+\infty} \underline{F}_q(q) \bar{f}_{q,ult}(q) dx,$$

где $\bar{F}_q(q)$ и $\underline{F}_q(q)$ – граничные функции распределения случайной нагрузки на элемент; $\bar{f}_{q,ult}(q)$ и $\underline{f}_{q,ult}(q)$ – функции плотности граничных распределений несущей способности элемента.

Информацию о допустимых значениях вероятностей безотказной работы и вероятностей отказа можно найти в работах [13; 14].

Заключение

В статье описан подход к моделированию случайной нагрузки на конструкции покрытий сооружений при ограниченной статистической информации о нагрузках.

Интервальная оценка параметров функций распределения и формирование p -блоков позволяют более осторожно подойти к вероятностным задачам строительной механики.

Продемонстрирован способ суммирования случайных нагрузок, характеризующихся различными p -блоками, путем их дискретизации в структуры Демпстера – Шефера;

Представление нагрузки в виде p -блоков может быть использовано в задачах по расчету вероятности безотказной работы элементов сооружений, при оценке риска аварии рассматриваемого элемента сооружений, а также при подборе сечения элемента по заданному уровню надежности (индексу надежности).

Список литературы / References

1. Kozak D.L., Liel A.B. Reliability of steel roof structures under snow loads. *Structural Safety*. 2015;(54):46–56.
2. Rózsás Á., Sýkora M. Propagating snow measurement uncertainty to structural reliability by statistical and interval-based approaches. *7th International Workshop on Reliable Engineering Computing, REC2016. Computing with Polymorphic Uncertain Data*. 2016:91–110.
3. Qiang S., Zhou X., Gu M. Research on reliability of steel roof structures subjected to snow loads at representative sites in China. *Cold Regions Science and Technology*. 2018;(150):62–69.
4. Zhang H., Mullen R.L., Muhanna R.L. Structural analysis with probability-boxes. *International Journal of Reliability and Safety*. 2012;6(1–3):110–129.
5. Guest J.K., Igusa T. Structural optimization under uncertain loads and nodal locations. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2008;198(1):116–124.
6. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Modelirovanie snegovoy nagruzki na pokrytie promyshlennogo zdaniya [Modeling of the Snow Load on the Roofs of Industrial Buildings]. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2016;(8):25–33. (In Russ.)
7. Moore R.E. *Methods and applications of interval analysis*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics; 1979.
8. Ferson S., Kreinovich V., Grinzburg L., Myers D., Sentz K. *Constructing probability boxes and Dempster – Shafer structures (No. SAND-2015-4166J)*. Sandia National Lab. (SNL-NM), Albuquerque; 2003.
9. Zhang H., Mullen R.L., Muhanna R.L. Finite element structural analysis using imprecise probabilities based on p -box representation. *4th International Workshop on Reliable Engineering Computing*. Professional Activities Centre, National University of Singapore; 2010. p. 211–225.
10. Sallak M., Schön W., Aguirre F. Reliability assessment for multi-state systems under uncertainties based on the Dempster – Shafer theory. *IIE Transactions*. 2013;45(9): 995–1007.
11. Melchers R.E., Beck A.T. *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley & Sons; 2018.
12. Utkin V.S., Solovyev S.A. Reliability analysis of reinforced concrete elements with normal cracks (on RC beam example). *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2018;14(3):142–152.
13. Holicky M., Markova J., Sykora M. Target reliability levels in present standards. *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*. 2014;14(2):46–53.
14. Marano G.C., Quaranta G. A new possibilistic reliability index definition. *Acta mechanica*. 2010;210(3–4):291–303.

Modeling of random static loads on a structural cover with limited statistical data

Sergey A. Solovev

Vologda State University, 15 Lenina St, Vologda, 160000, Russian Federation
solovevsa@vogu35.ru

Article history:

Received: June 3, 2020

Revised: July 4, 2020

Accepted: July 15, 2020

Abstract

Relevance. Loads on structures are complex stochastic elements that include several types of uncertainties simultaneously. The article describes a probabilistic approach to the load modeling on structural covers taking into account limited statistical data, when the parameters of distribution functions are presented in an interval form. **The aim of the work** is development of an approach to modeling the probabilistic distribution of random load on the structural surface in conditions of limited (incomplete) statistical information about the design load. **Methods.** The probability distribution of a particular type of loading is represented as *p*-boxes (probability boxes). A numerical example shows an algorithm for determining a *p*-box consisting of a sum of *p*-boxes that characterize different loads with different boundary distribution functions. **Results.** Based on the proposed approach, it is possible to define the intervals of normative and design loads with a given confidence level, to estimate the failure probability of structural elements, to assess the risk of an accident and also to make selection for structural element cross-section at the target level of reliability.

Keywords: structural design, random variable, cover, evidence theory, *p*-boxes, interval value, design load, truss, roof beam

For citation

Solovev S.A. Modeling of random static loads on a structural cover with limited statistical data. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020;16(4): 243–249. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-4-243-249> (In Russ.)