

Строительные конструкции, здания и сооружения

Structural units, buildings, structures

Научная статья
УДК 624.042.42
DOI: 10.14529/build240205

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК

О.В. Емельянов¹, oleg_emelianov58@mail.ru
Т.Б. Мухамбетов¹, mukhambetov_2001@mail.ru
А.Н. Шувалов², edic@mgsu.ru

¹ *Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия*

² *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

Аннотация. При расчетах надежности строительных конструкций необходимо иметь сведения об изменчивости прочностных и упругих свойств строительных материалов, действующих на конструкции нагрузок, геометрических размеров пролетов и сечений и т. д. Действующие нагрузки, в том числе снеговые, имеют наибольший статистический разброс и с учетом климатических условий нашей страны оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние строительных конструкций. Статистические характеристики снеговых нагрузок являются результатом обработки многолетних метеорологических наблюдений за величиной снежного покрова по районам страны. Отсутствие информации о статистических характеристиках снеговых нагрузок является препятствием к практическим расчетам строительных конструкций на надежность. В нормах нагрузок СП 20.13330.2011 и СП 20.13330.2016 за расчетное значение снеговой нагрузки принят превышаемый в среднем один раз в 25 и 50 лет соответственно ежегодный максимум веса снегового покрова. В статье приведены соотношения между расчетными значениями снеговой нагрузки в СП 20.13330.2011 и СП 20.13330.2016 и её вероятностными характеристиками. Показана возможность использования закона распределения Гумбеля для вероятностного моделирования снеговой нагрузки с определением характеристик, необходимых для расчета надежности и срока службы строительных конструкций (с обеспеченностью 0,96 и 0,98) в зависимости от снегового района.

Ключевые слова: снеговая нагрузка, годовые максимумы, индекс надежности, математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение, параметры закона распределения

Для цитирования. Емельянов О.В., Мухамбетов Т.Б., Шувалов А.Н. Статистические характеристики снеговых нагрузок // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 2. С. 35–41. DOI: 10.14529/build240205

Original article
DOI: 10.14529/build240205

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF SNOW LOADS

O. V. Emelyanov¹, oleg_emelianov58@mail.ru
T. B. Mukhambetov¹, mukhambetov_2001@mail.ru
A. N. Shuvalov², edic@mgsu.ru

¹ *Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia*

² *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia*

Abstract. When calculating the building structure reliability, it is necessary to have information about the variability of the strength and elastic properties of building materials, the loads acting on the structure, the geometric dimensions of spans and sections, etc. The current loads, including snow loads, have the greatest statistical dispersion and, taking into account the our country climatic conditions, have a significant impact on the stress-strain state of building structures. Snow load statistical characteristics are the result of processing long-term meteorological observations

for the snow cover amount in the regions of the country. The lack of information on the snow load statistical characteristics is an objection to practical reliability calculations of building structures. In the load norms SP20.13330.2011 and SP 20.13330.2016, the snow load calculated value is taken as the annual maximum weight of the snow cover, which is exceeded on average once every 25 and 50 years, respectively. The article presents the relationship between the calculated values of snow load in SP 20.13330.2011 and SP 20.13330.2016 and its probabilistic characteristics. It shows the possibility of using Humbel's distribution law for snow load probabilistic modeling with the determination of the characteristics necessary for calculating the reliability and service life of building structures (with a probability of 0.96 and 0.98) depending on the snow area.

Keywords: snow load, annual maximums, reliability index, mathematical value, variance, standard excursion, distribution law parameters

For citation. Emelyanov O.V., Mukhambetov T.B., Shuvalov A.N. Statistical characteristics of snow loads. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture.* 2024;24(2):35–41. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240205

Введение

Возрастающие требования к экономичности и качеству строительных конструкций сделали проблему расчета их надежности актуальной. Надежность – самый важный аспект достижения качества сооружения. Одно из основных правил обеспечения требуемой надежности – учет случайной изменчивости факторов.

В связи с тем, что продолжительность зимнего периода во многих районах нашей страны занимает от 6 до 9 месяцев, влияние снеговой нагрузки на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций оказывается существенным, тем более что количество обрушений кровельных конструкций от снеговой нагрузки остается значительным [1]. Поэтому обоснованный учет изменения снеговой нагрузки в процессе эксплуатации конструкций необходим при выполнении вероятностных расчетов строительных конструкций, оценки их надежности и срока службы.

Для расчетов строительных конструкций на надежность нужно иметь данные об изменчивости исходных данных – законы распределения или статистические характеристики. Статистические характеристики снеговых нагрузок, действующих на конструкции, можно получить, используя данные норм проектирования и результаты исследований [2–6].

Введением Общесоюзного стандарта (ОСТ ВКС) 7626/6 в СССР было положено начало нор-

мирования снеговых нагрузок. Дальнейшее развитие вопросы нормирования снеговых нагрузок получили в ОСТ 90058–40 (1940 г.), где впервые территория СССР была районирована на пять снеговых районов по высоте снежного покрова. Величину снеговой нагрузки на грунт определяли по дифференцированному значению плотности снега. Отдельно предполагалось определять снеговую нагрузку для гористых местностей и малоизученных районов. Накопление метеоданных по снеговым нагрузкам в последующих редакциях нормативных документов сопровождалось увеличением числа снеговых районов, уточнением границ их территории и значений снеговой нагрузки. В табл. 1 приведены действующие в разное время на территории СССР/России документы, определяющие значения нормативной и расчетной снеговой нагрузок в зависимости от снегового района.

До 2003 г. в нормах в качестве нормативного значения снеговой нагрузки принимали среднее из максимальных ежегодных значений за многолетний период (не менее чем за 10 лет).

В нормах СП 20.13330.2011 и СП 20.13330.2016 расчетное значение снеговой нагрузки назначается как превышаемый в среднем один раз в 25 и 50 лет соответственно ежегодный максимум веса снегового покрова. Расчетное значение снеговой нагрузки определяется как произведение нормативной нагрузки на коэффициент надежности по снеговой нагрузке. Коэффициент надежности по сне-

Таблица 1

Нормативные и расчетные значения снеговой нагрузки на грунт (кН/м²)

Нормативный документ	Снеговая нагрузка	Снеговой район							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
[7, 8]	Нормативная	0,5	0,7	1	1,5	2,0	–	–	–
	Расчетная $\gamma_f = 1,4$	0,7	0,98	1,4	2,1	2,8	–	–	–
[9, 10]	Нормативная	0,5	0,7	1	1,5	2,0	2,5	–	–
	Расчетная $\gamma_f = 1,4$	0,7	0,98	1,4	2,1	2,8	3,5	–	–
	Расчетная $\gamma_f = 1,6$	0,8	1,12	1,6	2,4	3,2	4,0	–	–
[11, 12]	Нормативная	0,56	0,84	1,26	1,68	2,24	2,8	3,36	3,92
	Расчетная	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6
[13]	Нормативная	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Расчетная $\gamma_f = 1,4$	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6

говой нагрузке в нормах [8–13] принят равным 1,4. При расчете конструкций покрытия в нормах [9, 10] значения коэффициента надежности (перегрузки) для снеговой нагрузки назначали в зависимости от отношения нормативного собственного веса покрытия q (включая вес подвесного стационарного оборудования) к нормативному весу снегового покрова S_0 . Значения коэффициента надежности (перегрузки) для снеговой нагрузки приведены в табл. 2.

Методика исследования

В умеренно теплых районах снегопады в течение более или менее продолжительных периодов образуют последовательность, которая характеризуется отсутствием накопления снега (рис. 1а), поскольку в промежутках между снегопадами снег успевает растаять. Районы со стабильным снежным покровом характеризуются накоплением его в течение зимы и таянием весной (рис. 1б). В этих районах в ряде случаев опасна нагрузка сразу после обильных снегопадов, а не от накопленного за зиму снега [5]. Идеализация других вариантов процесса накопления снега показана на рис. 1в. По опытным данным [4], плотность снега может меняться в широких пределах: от $20 \div 150 \text{ кг/м}^3$ (рыхлый свежесвыпавший снег) до $300 \div 400 \text{ кг/м}^3$ и выше (мокрый снег в период снеготаяния).

Для вероятностного моделирования снеговой нагрузки применяется двойное экспоненциальное распределение Гумбеля [4, 15, 16]. Интегральный закон Гумбеля записывается в виде:

$$P(S) = \exp\left(-\exp\left(\frac{\alpha - S}{\beta}\right)\right). \quad (1)$$

Определим соотношение между расчетным значением снеговой нагрузки в [12] и [13] и её вероятностными характеристиками.

Число стандартных отклонений σ_s , укладывающихся в интервале от среднего значения снеговой нагрузки \bar{S} до расчетного значения S_g , – индекс надежности:

$$\mu = \frac{S_g - \bar{S}}{\sigma_s}. \quad (2)$$

Переменные S_g , \bar{S} , σ_s в формуле (2) через параметры закона Гумбеля можно выразить в следующем виде:

– расчетная нагрузка

$$S_g = \alpha - \beta \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right), \quad (3)$$

– математическое ожидание

$$\bar{S} = \alpha + 0,577216\beta, \quad (4)$$

– стандартное отклонение

$$\sigma_s = 1,28255\beta. \quad (5)$$

Откуда

$$\mu = \frac{\alpha - \beta \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) - (\alpha + 0,577216\beta)}{1,28255\beta} = \frac{-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) - 0,577216}{1,28255}, \quad (6)$$

где T – период повторяемости максимумов снеговой нагрузки, α и β – параметры распределения Гумбеля.

Следовательно,

$$S_g = \bar{S} + \mu\sigma_s = \bar{S}(1 + \mu\theta_s). \quad (7)$$

Число стандартных отклонений, укладывающихся в интервале $[\bar{S}, S_g]$, в СП 20.13330.2011 соответствует 2,0483, в СП 20.13330.2016 – 2,5923.

Таблица 2

Соотношение нормативных значений веса покрытий и снегового покрова

Нормативный документ	[9]	Отношение q/S_0	≥ 1	0,8	0,6	$\leq 0,4$
		$\gamma_f = 1,6$	1,4	1,5	1,55	1,6
	[10]	Отношение q/S_0		$< 0,8$		
		$\gamma_f = 1,6$		1,6		

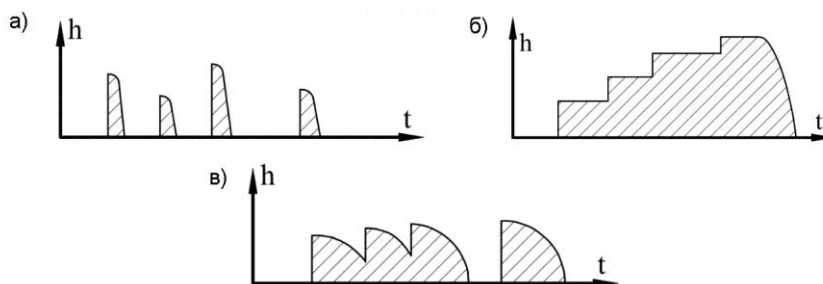


Рис. 1. Идеализация процесса накопления снега

Таким образом, для вычисления статистических параметров снеговой нагрузки и параметров закона Гумбеля достаточно знать ее расчетные и нормативные значения, приведенные в [10, 12, 13], индексы надежности и коэффициенты вариации.

Значения коэффициентов вариации снеговых нагрузок для снеговых районов, которые могут быть приняты при вычислении статистических характеристик снеговой нагрузки и параметров закона Гумбеля, приведены в работах [1] и [17] (табл. 3).

В районах VI–VII, со стабильным снежным покровом, коэффициент вариации снеговой нагрузки может быть принят равным $\approx 0,3$. Получен-

ные характеристики являются исходными данными при проведении расчетов надежности конструкций и их срока службы [18–20].

Результаты и обсуждения

В табл. 4 для снеговых районов норм [9, 10, 12, 13] приведены результаты расчетов статистических характеристик снеговой нагрузки, параметров закона Гумбеля и обеспеченности расчетных значений снеговой нагрузки.

Расчеты показывают, что в нормах [9, 10], в отличие от норм [12, 13], обеспеченность расчетных значений снеговой нагрузки с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,6$ для снеговых районов I–III раз-

Таблица 3

Коэффициенты вариации снеговых нагрузок

Литературный источник	Снеговой район							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
[1]								0,2979
[17]	0,45	0,4	0,35	0,3	0,3	–	–	–

Таблица 4

Расчетные и статистические характеристики снеговой нагрузки

Нормативный документ	Статистические характеристики годовых максимумов и параметры закона Гумбеля	Снеговой район								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
[9, 10]	Расчетная нагрузка (кПа)	0,8	1,12	1,6	2,4	3,2	4			
	Коэффициент вариации	0,45	0,4	0,35	0,3	0,3	0,3			
	Математическое ожидание (кПа)	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5			
	Стандартное отклонение (кПа)	0,225	0,28	0,35	0,45	0,6	0,75			
	α (кПа)	0,175	0,218	0,273	0,351	0,468	0,585			
	β (кПа)	0,399	0,574	0,842	1,297	1,730	2,162			
	Обеспеченность	0,90	0,92	0,94	0,96	0,96	0,96			
[12]	Расчетная нагрузка (кПа)	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4	4,8	5,6	
	Коэффициент вариации	0,45	0,4	0,35	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	
	Математическое ожидание (кПа)	0,417	0,66	1,049	1,5	2	2,5	3,0	3,5	
	Стандартное отклонение (кПа)	0,188	0,264	0,367	0,440	0,587	0,734	0,881	1,027	
	α (кПа)	0,332	0,541	0,884	1,302	1,736	2,170	2,604	3,038	
	β (кПа)	0,146	0,206	0,286	0,343	0,458	0,572	0,687	0,801	
	Обеспеченность	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[13]	Расчетная нагрузка (кПа)	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6
	Математическое ожидание (кПа)	0,323	0,687	1,101	1,575	1,969	2,363	2,756	3,150
	Стандартное отклонение (кПа)	0,145	0,275	0,385	0,473	0,591	0,709	0,827	0,945
	Коэффициент вариации	0,45	0,4	0,35	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	α (кПа)	0,258	0,564	0,928	1,362	1,703	2,044	2,384	2,725
	β (кПа)	0,113	0,214	0,300	0,368	0,461	0,553	0,645	0,737
	Обеспеченность	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98

лична и отличается от обеспеченности расчетных значений нагрузки снеговых районов IV – VI.

Вычисленные параметры закона Гумбеля для III снегового района находятся в хорошем соответствии с данными В.А. Отставного и Л.С. Розенберга для района Москвы ($\alpha = 931$ Па, $\beta = 365$ Па) и метеостанции Озерки Ленинградской области ($\alpha = 836,4$ Па, $\beta = 279$ Па), находящейся в III снеговом районе [20]. В пределах одного снегового района в отдельных географических пунктах различие параметров снеговой нагрузки, в том числе и от полученных расчетом, связано: с унификацией [21], накоплением метеоданных, детализацией карты районирования. При этом погрешность параметров

снеговой нагрузки, которые будут использованы в задачах расчета надежности конструкций, будет соответствовать погрешности унификации параметров снеговой нагрузки в пределах территории снегового района.

Заключение

Показана возможность использования закона распределения Гумбеля для вероятностного моделирования снеговой нагрузки с определением характеристик, необходимых для расчета надежности и срока службы строительных конструкций (с обеспеченностью 0,96 [12], 0,98 [13]) в зависимости от снегового района.

Список литературы

1. Лобкина В.А., Музыченко А.А. Результаты испытаний системы мониторинга снеговой нагрузки зимой 2020/21 г // Лед и Снег. 2022. Т. 62, № 2. С. 241–250. DOI: 10.31857/S2076673422020129
2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. С. 31–34.
3. Raizer V.D. Theory of Reliability in Structural Desing // Journal of Applied Mechanics Reviews. 2004. Vol. 57. No. 1. P. 1–21. DOI: 10.1115/1.1584065
4. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2010. 382 с.
5. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 285 с.
6. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций / пер. с нем. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
7. СНиП II-Б.1. Нормы строительного проектирования. нормативно-технический материал. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. 48 с.
8. СНиП II-А.11-62. Нагрузки и воздействия: нормативно-технический материал. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 26 с.
9. СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия: нормативно-технический материал. М.: Стройиздат, 1976. 13 с.
10. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия: нормативно-технический материал. М.: ГОССТРОЙ СССР, 1988. 33 с.
11. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия: нормативно-технический материал. М.: ГОССТРОЙ СССР, 2005. 44 с.
12. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. М.: Минрегион России, 2011. 98 с.
13. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. М.: Минрегион России, 2016. 95 с.
14. Пилюгин Л.П. Оценка надежности строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1983. 122 с.
15. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Ляшенко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; под общ. ред. А.В. Перельмутера. М.: Изд-во АСВ, 2007. 482 с.
16. ISO 4355:1998, Bases for design of structures. Determination of snow loads on roofs. International Organisation for Standardisation, TC 98/SC 3.

17. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 149 с.
18. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1971. С. 158–161
19. Краснощеков Ю.В., Заполева М.Ю. Основы проектирования конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. М.: Инфа-Инженерия, 2018. 296 с.
20. Raizer V.D. Reliability of Structures. Analysis and Applications. New York: Backbone Publishing Company, 2009. 146 p. ISBN 978-0974201979
21. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1986. 189 с.

References

1. Lobkina V.A., Muzychenko A.A. Results of snow load monitoring system tests in winter 2020/21. *Ice and Snow*. 2022;62(2):241–250 (in Russ.) DOI: 10.31857/S2076673422020129
2. Bolotin V.V. *Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij*. [Predicting resource of machines and structures]. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1984. Pp. 31–34 (in Russ.)
3. Raizer V.D. Theory of Reliability in Structural Desing. *Journal of Applied Mechanics Reviews*. 2004;57(1):1–21. DOI: 10.1115/1.1584065
4. Rayzer V.D. *Teoriya nadezhnosti sooruzheniy*. [Reliability theory structures]. Moscow: ASV Publ.; 2010. 382 p. (in Russ.)
5. Rzhantsyn A.R. *Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruksiy na nadezhnost'* [Theory of design of structures for reliability]. Moscow, Stroyizdat Publ.; 1978. 285 p. (in Russ.)
6. Spaethe G. Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. Berlin: VEBVerlag fur Bauwesen; 1987.
7. *SNiP II-B.1 Normy stroitel'nogo proektirovaniya: normativno-tehnicheskij material*. [SNiP II-B.1 Loads and effects: legal and technical material]. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction and Architecture; 1954. 48 p. (in Russ.)
8. *SNiP II-A.11-62 Nagruzki i vozdeystviya: normativno-tehnicheskij material*. [SNiP II-A.11-62 Loads and effects: legal and technical material] Moscow: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture and Building Materials; 1962. 26 p. (in Russ.)
9. *SNiP II-6-74 Nagruzki i vozdeystviya: normativno-tehnicheskij material*. [SNiP II-6-74 Loads and effects: legal and technical material]. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1976. 13 p. (in Russ.)
10. *SNiP 2.01.07-85* Nagruzki i vozdeystviya: normativno-tehnicheskij material*. [SNiP 2.01.07-85* Loads and effects: legal and technical material] Moscow: State. builds. com. USSR; 1988. 33 p. (in Russ.)
11. *SNiP 2.01.07-85* Nagruzki i vozdeystviya: normativno-tehnicheskij material*. [SNiP 2.01.07-85* Loads and effects: legal and technical material] Moscow: State. builds. com. USSR; 2005. 44 p. (in Russ.)
12. *SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya*. [Set of Rules 20.13330.2016. Loads and impacts]. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2011. 98 p. (in Russ.)
13. *SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya*. [Set of Rules 20.13330.2016. Loads and impacts]. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2016. 95 p. (in Russ.)
14. Pilyugin L.P. *Otsenka nadezhnosti stroitel'nykh konstruksiy* [Assessment of the reliability of building structures]. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1983. 122 p. (in Russ.)
15. Gordeev V.N., Lantukh-Lyashchenko A.I., Pashinskiy V.A., Perel'muter A.V., Pichugin S.F. *Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya* [Loads and effects on buildings and structures] ed. by A.V. Perel'muter. Moscow: ASV Publ.; 2007. 482 p. (in Russ.)
16. ISO 4355:1998 Bases for design of structures. Determination of snow loads on roofs. International Organisation for Standardisation, TC 98/SC 3.
17. *Posobie po proektirovaniyu stal'nykh konstruksiy (k SNiP II-23-81*)*. [Manual for the design of steel structures (to SNiP II-23-81*)]. Moscow: CITPGosstroja SSSR; 1989. 149 p. (in Russ.)
18. Bolotin V.V. *Primenenie metodov teorii veroyatnostey i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy* [Application of probability theory and the theory of reliability analysis of structures]. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1971. Pp. 158–161 (in Russ.)
19. Krasnoschekov Yu.V., Zapoleva M.Yu. *Osnovy proektirovaniya konstruksiy zdaniy i sooruzheniy: uchebnoe posobie* [Fundamentals of Designing Structures of Buildings and Structures: Textbook]. Moscow: Infa-Inzheneriya Publ.; 2018. 296 p. (in Russ.)
20. Raizer V.D. Reliability of Structures. Analysis and Applications. New York: Backbone Publishing Company; 2009. 146 p.
21. Rayzer V.D. *Metody teorii nadezhnosti v zadachakh normirovaniya raschetnykh parametrov stroitel'nykh konstruksiy* [Methods of reliability theory in the problems of normalization of design parameters of building structures]. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1986. 189 p. (in Russ.)

Информация об авторах:

Емельянов Олег Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и строительство зданий», Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия; oleg_emelianov58@mail.ru

Мухамбетов Тимур Булатович, студент, Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия; mukhambetov_2001@mail.ru

Шувалов Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Испытание сооружений», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия; edic@mgsu.ru

Information about the authors:

Oleg V. Emelianov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of “Design and Buildings’ Construction”, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia; oleg_emelianov58@mail.ru.

Timur B. Mukhambetov, Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia; mukhambetov_2001@mail.ru.

Alexander N. Shuvalov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of “Testing of Structures”, National Research Moscow State Construction University, Moscow, Russia; edic@mgsu.ru.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024, принята к публикации 28.02.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 28.02.2024.