

С.А. СОЛОВЬЕВ¹, А.Э. ИНЬКОВ¹, А.А. СОЛОВЬЕВА¹

¹ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия

МЕТОД АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ИНТЕРВАЛЬНЫМ ОЦЕНКАМ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Аннотация. В исследовании представлен подход к анализу надежности элементов строительных конструкций, основанный на интервальных оценках случайных величин, которые представляют собой границы их изменчивости. На численных примерах показано, что использование такого подхода при нелинейных математических моделях предельных состояний позволяет получить более осторожную оценку вероятности безотказной работы при снижении количества используемых статистических гипотез. Предложенный в статье подход использует неравенство Высочанского-Петунина для обоснования границ изменчивости случайных величин без использования гипотез о законе распределения случайной величины, а математическое ожидание и стандартное отклонение представлены также достоверными интервалами, что повышает практическую значимость разработанного метода. Алгоритмы использования предлагаемого подхода представлены на численных примерах оценок вероятности безотказной работы элементов строительных конструкций.

Ключевые слова: надежность, неравенство Высочанского-Петунина, вероятность безотказной работы, интервал, безопасность, случайная величина, стохастический анализ.

S.A. SOLOVEV¹, A.E. INKOV¹, A.A. SOLOVEVA¹

¹Vologda State University, Vologda, Russia

METHOD OF STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS BASED ON INTERVAL ESTIMATES OF RANDOM VARIABLES

Abstract. The article presents an approach to structural reliability analysis based on interval estimates of random variables, which represent the boundaries of random variables' variability. Numerical examples show that the use of such an approach in cases with nonlinear mathematical models of limit states allow to obtain a more cautious estimate of the failure probability with a decrease in the number of statistical hypotheses used. The proposed approach uses the Vysochanskij-Petunin inequality to justify the limits of variability of random variables without using hypotheses about the distribution shape of a random variable. The mathematical expectation and standard deviation are also represented by confidence intervals which increases the practical significance of the developed method. Algorithms for using the proposed approach are presented on numerical examples of estimates of the no-failure probability of structural elements.

Keywords: reliability, Vysochanskij-Petunin inequality, failure probability, interval, safety, random variable, stochastic analysis.

© Соловьев С.А., Иньков А.Э., Соловьева А.А., 2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Du W., Ma J., Yue P., Gong Y. An Efficient Reliability Method with Multiple Shape Parameters Based on Radial Basis Function // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. No. 19. P. 9689.

2. Zhou S., Zhang J., Zhang Q., Huang Y., Wen M. Uncertainty theory-based structural reliability analysis and design optimization under epistemic uncertainty // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. No. 6. P. 2846.
3. Соловьев С.А., Соловьева А.А., Умнякова Н.П., Кочкин А.А. Анализ проблем оценки индекса надежности элементов строительных конструкций // *Жилищное строительство*. 2022. № 7. С. 32-39.
4. Li Q., Wang J., Su G. A Grasshopper Optimization Algorithm-Based Response Surface Method for Non-Probabilistic Structural Reliability Analysis with an Implicit Performance Function // *Buildings*. 2022. Vol. 12. No. 7. P. 1061.
5. Elishakoff I., Ben-Haim Y. *Convex Models of Uncertainty in Applied Mechanics* // Amsterdam: Elsevier. 1990. 240 p.
6. Sun W., Yang Z. A comprehensive model for structural non-probabilistic reliability and the key algorithms // *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2020. Vol. 123. No. 1. P. 309-332.
7. Jiang C., Li W. X., Han X., Liu L. X., Le P. H. Structural reliability analysis based on random distributions with interval parameters // *Computers & Structures*. 2011. Vol. 89. No. 23-24. P. 2292-2302.
8. Gao W., Wu D., Gao K., Chen X., Tin-Loi F. Structural reliability analysis with imprecise random and interval fields // *Applied Mathematical Modelling*. 2018. Vol. 55. P. 49-67.
9. Jiang C., Han X., Liu G.R., Li G.Y. The optimization of the variable binder force in U-shaped forming with uncertain friction coefficient // *Journal of Materials Processing Technology*. 2007. Vol. 182. No. 1-3. P. 262-267.
10. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
11. Li K., Liu H. Structural Reliability Analysis by Using Non-Probabilistic Multi-Cluster Ellipsoidal Model // *Entropy*. 2022. Vol. 24. No. 9. P. 1209.
12. Cao L., Liu J., Xie L., Jiang C., Bi R. Non-probabilistic polygonal convex set model for structural uncertainty quantification // *Applied Mathematical Modelling*. 2021. Vol. 89. P. 504-518.
13. Адишев В. В., Шмаков Д. С. Метод построения функции принадлежности с "прямой" обработкой исходных данных // *Труды НГАСУ*. 2013. Т. 16. № 2(56). С. 45-66.
14. Pradlwarter H.J. The use of kernel densities and confidence intervals to cope with insufficient data in validation experiments // *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 2008. Vol. 197. Pp. 2550-2560.
15. Уткин Л.В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации. Санкт-Петербург : Наука, 2007. 404 с. ISBN 978-5-02-025187-8.
16. Уткин В.С., Шепелина Е.А. Расчет надежности оснований фундаментов по критерию прочности при ограниченной информации о нагрузке // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 1(36). С. 48-56. doi:10.5862/MCE.36.6.
17. Соловьев С.А., Иньков А.Э., Соловьева А.А. Метод расчета надежности шарнирно-стержневых систем при интервальной оценке случайных величин // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2022. № 3(302). С. 28-34. doi:10.37538/0069-2383.2022.3.28.34.
18. Соловьев С. А., Иньков А. Э., Соловьева А. А. Анализ надежности элементов стальных ферм при интервальной оценке случайных величин // *Вестник ВоГУ. Серия: технические науки*. 2022. № 1(15). С. 53-57.

REFERENCES

1. Du W., Ma J., Yue P., Gong Y. An Efficient Reliability Method with Multiple Shape Parameters Based on Radial Basis Function. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. No. 19. P. 9689.
2. Zhou S., Zhang J., Zhang Q., Huang Y., Wen M. Uncertainty theory-based structural reliability analysis and design optimization under epistemic uncertainty // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. No. 6. P. 2846.
3. Solov'yev S.A., Solov'yeva A.A., Umnyakova N.P., Kochkin A.A. Analiz problem otsenki indeksa nadezhnosti elementov stroitel'nykh konstruksiy [Analysis of the problems of assessing the reliability index of elements of building structures] // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2022. No. 7. Pp. 32-39. (rus).
4. Li Q., Wang J., Su G. A Grasshopper Optimization Algorithm-Based Response Surface Method for Non-Probabilistic Structural Reliability Analysis with an Implicit Performance Function // *Buildings*. 2022. Vol. 12. No. 7. P. 1061.
5. Elishakoff I., Ben-Haim Y. *Convex Models of Uncertainty in Applied Mechanics*. Amsterdam: Elsevier. 1990. 240 p.
6. Sun W., Yang Z. A comprehensive model for structural non-probabilistic reliability and the key algorithms // *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2020. Vol. 123. No. 1. Pp. 309-332.
7. Jiang C., Li W. X., Han X., Liu L. X., Le P. H. Structural reliability analysis based on random distributions with interval parameters // *Computers & Structures*. 2011. Vol. 89. No. 23-24. Pp. 2292-2302.
8. Gao W., Wu D., Gao K., Chen X., Tin-Loi F. Structural reliability analysis with imprecise random and interval fields // *Applied Mathematical Modelling*. 2018. Vol. 55. Pp. 49-67.
9. Jiang C., Han X., Liu G.R., Li G.Y. The optimization of the variable binder force in U-shaped forming with uncertain friction coefficient // *Journal of Materials Processing Technology*. 2007. Vol. 182. No. 1-3. Pp. 262-267.
10. Rzhantsyn A.R. *Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruksiy na nadezhnost'* [Theory of calculation of building structures for reliability]. Moscow: Stroyizdat. 1978. 239 p. (rus).

11. Li K., Liu H. Structural Reliability Analysis by Using Non-Probabilistic Multi-Cluster Ellipsoidal Mode // *Entropy*. 2022. Vol. 24. No. 9. P. 1209.
12. Cao L., Liu J., Xie L., Jiang C., Bi R. Non-probabilistic polygonal convex set model for structural uncertainty quantification // *Applied Mathematical Modelling*. 2021. Vol. 89. Pp. 504-518.
13. Adishchev V. V., Shmakov D. S. Metod postroyeniya funktsii prinadlezhnosti s "pryamoy" obrabotkoy iskhodnykh dannykh [Method of constructing a membership function with "direct" processing of initial data] // *Trudy NGASU*. 2013. Vol. 16. No. 2(56). Pp. 45-66. (rus).
14. Pradlwarter H.J. The use of kernel densities and confidence intervals to cope with insufficient data in validation experiments // *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 2008. Vol. 197. Pp. 2550–2560.
15. Utkin L.V. Analiz riska prinyatiya resheniy pri nepolnoy informatsii [Decision risk analysis with incomplete information] Sankt-Peterburg; Nauka. 2007. 404 p. ISBN 978-5-02-025187-8 (rus).
16. Utkin V.S., Shepelina E.A. Raschet nadezhnosti osnovaniy fundamentov po kriteriyu prochnosti pri ogranichennoy nagruzke na nagruzku [Calculation of the reliability of foundation beds according to the strength criterion with limited information about the load] // *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 1(36). Pp. 48-56. doi:10.5862/MCE.36.6 (rus).
17. Solov'yev S.A., In'kov A.E., Solov'yeva A.A. Metod rascheta nadezhnosti sharnirno-sterzhnevnykh sistem pri interval'noy otsenke sluchaynykh velichin [A method for structural reliability analysis of trusses with interval uncertainty of random variables] // *Stroitel'naya mekhanika i raschet nablyudeniya*. 2022. No. 3(302). Pp. 28-34. doi:10.37538/0069-2383.2022.3.28.34. (rus).
18. Solov'yev S.A., In'kov A.E., Solov'yeva A.A. Analiz nadezhnosti elementov stal'nykh ferm pri interval'noy otsenke sluchaynykh velichin [Steel trusses elements reliability analysis based on random variables interval estimation] // *Vestnik VoGU. Seriya: tekhnicheskiye nauki*. 2022. No. 1(15). Pp. 53-57. (rus).

Информация об авторах:

Соловьев Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Иньков Александр Эдуардович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,
аспирант, ассистент кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: inkovae@vogu35.ru

Соловьева Анастасия Андреевна

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,
аспирант, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: solovevaaa@vogu35.ru

Information about authors:

Solovyev Sergey Al.

Vologda State University, Vologda, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the industrial and civil construction department.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Inkov Alexander Ed.

Vologda State University, Vologda, Russia,
assistant, post-graduate student the industrial and civil construction department.
E-mail: inkovae@vogu35.ru

Solovyeva Anastasia An.

Vologda State University, Vologda, Russia,
lecturer, post-graduate student the industrial and civil construction department.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru