

А.А. СОЛОВЬЕВА¹, С.А. СОЛОВЬЕВ¹, Н.П. УМНЯКОВА², А.А. КОЧКИН¹,

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

²ФГБУ «НИИСФ РААСН», г. Москва, Россия

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПО КРИТЕРИЮ ПРОГИБА НА ОСНОВЕ Р-БЛОКОВ

Аннотация. В исследовании разработаны алгоритмы вероятностной оценки надежности стальных ферм по критерию прогиба с использованием р-блоков как моделей случайных величин. Р-блоки представляют собой область, сформированную граничными функциями распределения вероятностей, внутри которой находится действительная функция распределения вероятностей случайной величины. На основе представленных подходов можно выполнить расчет фермы на заданный индекс надежности или вероятность безотказной работы. Р-блоки в роли моделей случайных величин позволяют эффективно учитывать алеаторную и эпистемологическую неопределенности одновременно. Особую актуальность такие модели представляют для снеговой нагрузки как одного из главных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние ферм. Информация об уровне надежности стальной фермы по критерию прогиба необходима для комплексной оценки надежности фермы. Также предложен подход к оценке надежности эксплуатируемых ферм по критерию прогиба, где предельный прогиб ограничивается условием потери устойчивости выбранного стержня фермы.

Ключевые слова: надежность, вероятностное проектирование, безопасность, ферма, р-блок, индекс надежности, прогиб.

A.A. SOLOVEVA¹, S.A. SOLOVEV¹, N.P. UMNYAKOVA², A.A. KOCHKIN¹

¹Vologda State University, Vologda, Russia

²Research institute of construction physics RAASN (NIISF RAASN), Moscow, Russia

STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF STEEL TRUSSES BY DEFLECTION BASED ON P-BOXES

Abstract. The article describes algorithms for probabilistic evaluation of steel trusses' reliability by the deflection criterion using p-boxes as models of random variables. The p-boxes are an area formed by the boundary cumulative distribution functions (CDFs). There is a real probability distribution function of a random variable inside the p-box area. Based on the presented approaches, it is possible to design trusses on a given reliability index or probability of non-failure. P-boxes as random variable models take into account aleatory and epistemological uncertainties at the same time. Such models are relevance for snow loads as one of the main factors affecting the stress-strain state of trusses. Information about the reliability level of steel trusses according to the deflection criterion is necessary for a system assessment of the reliability of a truss. An approach of structural reliability analysis is also proposed for existing trusses, where the ultimate deflection is limited by the condition of buckling of the selected truss bar.

Keywords: reliability, probabilistic design, safety, truss, p-box, reliability index, deflection.

© Соловьева А.А., Соловьев С.А., Умнякова Н.П., Кочкин А.А., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М: Издательство АСВ, 2016. 908 с.
2. Faes M.G., Daub M., Marelli S., Patelli E., Beer M. Engineering analysis with probability boxes: a review on computational methods // *Structural Safety*. 2021. Vol. 93. Pp. 102092.
3. Dar M.A., Subramanian N., Dar A.R., Raju J. Rehabilitation of a distressed steel roof truss – A study // *Structural Engineering and Mechanics*. 2017. Vol. 62. No. 5. Pp. 567-576.
4. Туманов В.А., Абрашитов В.С., Туманов А.В., Абрашитов Н.В. Натурные испытания подстропильной стальной фермы пролетом 12 м // *Региональная архитектура и строительство*. 2013. № 3. С. 82-85.
5. Farkas J., Jarmai K. *Optimum Design of Steel Structures*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 265 p.
6. Соловьева А.А., Соловьев С.А. Метод оценки надежности элементов плоских ферм на основе р-блоков // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. №. 2. С. 153-167.
7. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. Пер. с нем. О.О. Андреева. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
8. Motra H.B., Hildebrand J., Dimmig-Osburg A. Assessment of strain measurement techniques to characterise mechanical properties of structural steel // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2014. Vol. 17. No. 4. Pp. 260-269.
9. Hance B.M. Practical application of the hole expansion test // *SAE International Journal of Engines*. 2017. Vol. 10. No. 2. Pp. 247-257.
10. Huang X., Li Y., Zhang Y., Zhang X. A new direct second-order reliability analysis method // *Applied Mathematical Modelling*, 2018. Vol. 55. Pp. 68-80.
11. Grandhi R.V., Wang L. Reliability-based structural optimization using improved two-point adaptive nonlinear approximations // *Finite Elements in Analysis and Design*. 1998. Vol. 29. No. 1. Pp. 35-48.
12. Schöbi R., Sudret B. Structural reliability analysis for p-boxes using multi-level meta-models // *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2017. Vol. 48. Pp. 27-38.
13. Zhang H., Mullen R.L., Muhanna R.L. Structural analysis with probability-boxes // *International Journal of Reliability and Safety*. 2012. Vol. 6. No. 1-3. Pp. 110-129.
14. Лебедева И.В. История развития отечественных норм снеговых нагрузок // *Вестник НИЦ Строительство*. 2017. №. 3. С. 144-154.
15. Hong H.P., Ye W. Analysis of extreme ground snow loads for Canada using snow depth records // *Natural hazards*. 2014. Vol. 73. No. 2. Pp. 355-371.
16. 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.
17. Соловьева А.А., Соловьев С.А. Расчет надежности элементов стальных ферм по критерию устойчивости с использованием р-блоков // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2021. №. 1. С. 45-53.
18. Keshtegar B., Meng Z. A hybrid relaxed first-order reliability method for efficient structural reliability analysis // *Structural Safety*. 2017. Vol. 66. Pp. 84-93.
19. Zhao Y.G., Ono T. Moment methods for structural reliability // *Structural safety*. 2001. Vol. 23. No. 1. Pp. 47-75.
20. XXV International Scientific conference on Advance in Civil Engineering “Construction the formation of living environment” (FORM-2022) [Электронный ресурс]. URL: <https://mgsu-conference.org/form-2022> (дата обращения: 01.06.2022)

REFERENCES

1. Mkrtychev O.V., Rajzer V.D. *Teoriya nadezhnosti v proektirovanii stroitel'nyh konstrukcij* [Reliability theory in structural design]. Moscow: ASV Publishing, 2016. 908 p. (rus)

2. Faes M.G., Daub M., Marelli S., Patelli E., Beer M. Engineering analysis with probability boxes: a review on computational methods. *Structural Safety*. 2021. Vol. 93. Pp. 102092.
3. Dar M.A., Subramanian N., Dar A.R., Raju J. Rehabilitation of a distressed steel roof truss – A study. *Structural Engineering and Mechanics*. 2017. Vol. 62. No. 5. Pp. 567-576.
4. Tumanov V.A., Abrashitov V.S., Tumanov A.V., Abrashitov N.V. Naturnye ispytaniya podstropil'noj stal'noj fermy proletom 12 m [Natural tests of notbearing steel farm with 12 m flight]. *Regional architecture and engineering*. 2013. No.3. Pp. 82-85. (rus)
5. Farkas J., Jarmai K. Optimum Design of Steel Structures. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 265 p.
6. Soloveva A.A., Solovev S.A. Reliability analysis of planar steel trusses based on p-box models. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2021. Vol.16(2). Pp. 153-167. (rus)
7. Shpete G. Nadezhnost' nesushchih stroitel'nyh konstrukcij [Reliability of load-bearing structures]. Moscow: Strojizdat, 1994. 288 p. (rus)
8. Motra H.B., Hildebrand J., Dimmig-Osburg A. Assessment of strain measurement techniques to characterise mechanical properties of structural steel. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2014. Vol. 17. No. 4. Pp. 260-269.
9. Hance B.M. Practical application of the hole expansion test. *SAE International Journal of Engines*. 2017. Vol. 10. No. 2. Pp. 247-257.
10. Huang X., Li Y., Zhang Y., Zhang X. A new direct second-order reliability analysis method. *Applied Mathematical Modelling*, 2018. Vol. 55. Pp. 68-80.
11. Grandhi R.V., Wang L. Reliability-based structural optimization using improved two-point adaptive nonlinear approximations. *Finite Elements in Analysis and Design*. 1998. Vol. 29. No. 1. Pp. 35-48.
12. Schöbi R., Sudret B. Structural reliability analysis for p-boxes using multi-level meta-models. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2017. Vol. 48. Pp. 27-38.
13. Zhang H., Mullen R. L., Muhanna R. L. Structural analysis with probability-boxes. *International Journal of Reliability and Safety*. 2012. Vol. 6. No. 1-3. Pp. 110-129.
14. Lebedeva I.V. Istoriya razvitiya otechestvennyh norm snegovyh nagruzok [History of the development of national snow-loads standards]. *Vestnik NIC Stroitelstvo*. 2017. No. 3. Pp. 144-154. (rus)
15. Hong H. P., Ye W. Analysis of extreme ground snow loads for Canada using snow depth records. *Natural hazards*. 2014. Vol. 73. No. 2. Pp. 355-371.
16. Solov'ev S.A. Modelirovanie sluchajnoj staticheskoy nagruzki na pokrytiya sooruzhenij pri nepolnoj statisticheskoy informacii [Modeling of random static loads on a structural cover with limited statistical data]. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2020. Vol. 16. No. 4. Pp. 243-249. (rus)
17. Solov'eva A.A., Solov'ev S.A. Structural reliability analysis of steel truss elements on buckling using p-box approach [Raschet nadezhnosti elementov stal'nyh ferm po kriteriyu ustojchivosti s ispol'zovaniem p-blokov]. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2021. No. 1. Pp. 45-53. (rus)
18. Keshtegar B., Meng Z. A hybrid relaxed first-order reliability method for efficient structural reliability analysis. *Structural Safety*. 2017. Vol. 66. Pp. 84-93.
19. Zhao Y.G., Ono T. Moment methods for structural reliability. *Structural safety*. 2001. Vol. 23. No. 1. Pp.47-75.
20. XXV International Scientific conference on Advance in Civil Engineering “Construction the formation of living environment” (FORM-2022) [Online]. URL: <https://mgsu-conference.org/form-2022> (date of application: 01.06.2022)

Информация об авторах:

Соловьева Анастасия Андреевна

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,
аспирант, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства.

E-mail: solovevaa@vogu35.ru

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

Умнякова Нина Павловна

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, доцент, зам. директора по научной работе.

E-mail: n.umniakova@mail.ru

Кочкин Александр Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,
доктор технических наук, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства.

E-mail: kochkinaa@vogu35.ru

Information about the authors:

Solovyeva Anastasia An.

Vologda State University, Vologda, Russia,
lecturer, post-graduate student the industrial and civil construction department.

E-mail: solovevsa@vogu35.ru

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

Umnyakova Nina P.

Research institute of construction physics RAASN (NIISF RAASN), Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, vice-director for scientific work.

E-mail: n.umniakova@mail.ru

Kochkin Alexander Al.

Vologda State University, Vologda, Russia,
doctor of technical sciences, head of the industrial and civil construction department.

E-mail: kochkinaa@vogu35.ru