

А.А. ЛИЗОГУБ<sup>1</sup>, А.В. ТУР<sup>1</sup>, В.В. ТУР<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЖИВУЧЕСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ИЗ СБОРНОГО И МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

**Аннотация.** В рамках вероятностного моделирования рассмотрены вопросы связанные с оценкой живучести конструктивных систем из сборного и монолитного железобетона в особой расчетной ситуации.

В работе рассмотрена концепция анализа надежности конструктивных систем и дифференциации рисков в особых расчетных ситуациях. Проанализированы существующие вероятностные модели базисных (основных) переменных, входящих в функции нагрузок и сопротивлений. Получены и интегрированы в виде базисной переменной при вероятностном моделировании статистические параметры неопределенности модели сопротивления.

Выполнено вероятностное моделирование по методу Монте-Карло конструктивных систем из сборного и монолитного железобетона, запроектированных по действующим нормам Республики Беларусь. Определены функции предельного состояния конструктивной системы в особой расчетной ситуации при внезапном удалении центральной колонны первого этажа. В результате для рассматриваемых конструктивных систем получены значения вероятностей отказа и соответствующих индексов надежности.

**Ключевые слова:** живучесть, вероятностный подход, вероятность отказа, индекс надежности.

A.A. LIZAHUB<sup>1</sup>, A.V. TUR<sup>1</sup>, V.V. TUR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

## PROBABILISTIC APPROACH FOR ASSESSING THE ROBUSTNESS OF STRUCTURAL SYSTEMS MADE OF PRECAST AND MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE

**Abstract.** With the help of probabilistic modeling, the issues related to the assessment of the robustness of structural systems made of prefabricated and monolithic reinforced concrete in an accidental design situation are considered.

The paper considers the concept of analyzing the reliability of structural systems and differentiating risks in accidental design situations. The existing probabilistic models of the basic variables included in the functions of loads and resistances are analyzed. Statistical parameters of the uncertainty of the resistance model are obtained and integrated in the form of a basic variable with probability modeling.

Probabilistic modeling of structural systems made of precast and monolithic reinforced concrete, designed according to the current standards of the Republic of Belarus, was carried out using the Monte Carlo method. The functions of the limiting state of the structural system in an accidental design situation with the sudden removal of the central column of the first floor are determined. As a result, values of failure probabilities and corresponding reliability indices were obtained for the considered constructive systems.

**Keywords:** robustness, probabilistic approach, probability of failure, reliability index.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 2.01.01-2022. Основы проектирования строительных конструкций. Минск. 2022.
2. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции. Минск. 2020.
3. Ellingwood B.R., Smilowitz R., Dusenberry D.O., Duthinh D., Lew H.S., Carino N.J. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NISTIR 7396. National Institute of Science and Technology, US Department of Commerce. 2007. 194 p.
4. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. Checking of structural system robustness based on pseudo-static full probabilistic approach // *Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete-Innovations in Materials, Design and Structures*. 2019. Pp. 2126-2133.
5. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М: Изд-во Ассоц. строит. Вузов, 2007. 255 с.
6. Holicky M. Reliability analysis for structural design. Stellenbosch: SUN MeDIA Stellenbosch, 2009. 199 p. doi:10.18820/9781920689346.
7. Van Coile R., Hopkin D., Elhami Khorasani N., Lange D., Gernay T. Permanent and live load model for probabilistic structural fire analysis: a review // *In 3rd International Conference on Structural Safety under Fire and Blast*. 2019. Pp. 1-10.
8. Guo Q., Shi K., Jia Z., Jeffers A. E. Probabilistic evaluation of structural fire resistance // *Fire technology*. 2013. No. 49 (3). Pp. 793-811.
9. Iqbal S., Harichandran R.S. Capacity reduction and fire load factors for design of steel members exposed to fire // *Journal of structural engineering*. 2010. No. 136 (12). Pp. 1554-1562.
10. Ellingwood B. R. Load combination requirements for fire-resistant structural design // *Journal of Fire Protection Engineering*. 2005. No. 15 (1). Pp. 43-61.
11. Van Coile R., Caspee R., Taerwe L. Reliability-based evaluation of the inherent safety presumptions in common fire safety design // *Engineering structures*. 2014. No. 77. Pp. 181-192.
12. Holicky M., Schleich J. B. Accidental combinations in case of fire // *In: Implementation of Eurocodes: Handbook 5*. 2005. 257 p. Available online at: eurocodes.jrc.ec.europa.eu.
13. Chen Z., Zhu Y., Lu X., Lin K.A simplified method for quantifying the progressive collapse fragility of multi-story RC frames in China // *Engineering Failure Analysis*. 2023. No. 143. Pp. 106924. doi:10.1016/j.engfailanal.2022.106924.
14. Hossler D., Weilert A., Klinzmann C., Schnetgöke R., Albrecht C. Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung // *Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz*. 2008.
15. Gernay T., Van Coile R., Khorasani N.E., Hopkin D. Efficient uncertainty quantification method applied to structural fire engineering computations // *Engineering Structures*. 2019. No. 183. Pp.1-17.
16. Tur V.V., Tur A.V., Lizahub A.A. Experimental and theoretical study of the reinforced concrete flat slabs with the central support loss // *Building and Reconstruction*. 2023. No. 1 (1). Pp. 77-103. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-105-1-77-103>.
17. Тур В.В., Тур А.В., Лизогуб А.А. Проверка живучести конструктивных систем из сборного железобетона по методу энергетического баланса // *Вестник МГСУ*. 2021. № 8 (16). С. 1015–1033. doi:10.22227/1997-0935.2021.8.1015-1033.
18. Joint Committee of Structural Safety. JCSS Probabilistic Model Code. Part 2: Load Models. 2001.
19. Tur A., Tur V., Derechennik S., Lizahub A. An innovative approach to a safety format for the estimation of structural robustness // *Budownictwo i Architektura*. 2020. No. 4 (19). Pp. 67-84.
20. Qian K., Li B. Load-resisting mechanism to mitigate progressive collapse of flat slab structures // *Magazine of concrete research*. 2015. No. 7 (67). Pp. 349-363.
21. Qian K., Li B. Experimental Study of Drop-Panel Effects on Response of Reinforced Concrete Flat Slabs after Loss of Corner Column // *ACI Structural Journal*. 2013. No. 2 (110). Pp. 319-330.

REFERENCES

1. SN 2.01.01-2022. Osnovy proektirovaniya stroitel'nyh konstrukcij [Basics of design of building structures]. Minsk. 2022. (In Russian)
2. SP 5.03.01-2020. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Concrete and reinforced concrete structures]. Minsk. 2020. (In Russian)
3. Ellingwood B R., Smilowitz R., Dusenberry D.O., Duthinh D., Lew H.S., Carino N.J. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NISTIR 7396. National Institute of Science and Technology, US Department of Commerce. 2007. 194 p.
4. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. Checking of structural system robustness based on pseudo-static full probabilistic approach. *Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete-Innovations in Materials, Design and Structures*. 2019. Pp. 2126-2133.

5. Perelmuter A.V. Izbrannye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nyh konstrukcij [Selected problems of reliability and safety of building structures]. M: Publishing House of Assoc. builds. Universities, 2007. 255 p. (In Russian)
6. Holicky M. Reliability analysis for structural design. Stellenbosch: SUN MeDIA Stellenbosch, 2009. 199 p. doi:10.18820/9781920689346.
7. Van Coile R., Hopkin D., Elhami Khorasani N., Lange D., Gernay T. Permanent and live load model for probabilistic structural fire analysis: a review. *In 3rd International Conference on Structural Safety under Fire and Blast*. 2019. Pp. 1-10.
8. Guo Q., Shi K., Jia Z., Jeffers A. E. Probabilistic evaluation of structural fire resistance. *Fire technology*. 2013. Vol. 3. No. 49. Pp. 793-811.
9. Iqbal S., Harichandran R. S. Capacity reduction and fire load factors for design of steel members exposed to fire. *Journal of structural engineering*. 2010. Vol. 12. No. 136. Pp. 1554-1562.
10. Ellingwood B.R. Load combination requirements for fire-resistant structural design. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2005. Vol. 1. No. 15. Pp. 43-61.
11. Van Coile R., Caspee R., Taerwe L. Reliability-based evaluation of the inherent safety presumptions in common fire safety design. *Engineering structures*. 2014. No. 77. Pp. 181-192.
12. Holicky M., Schleich J.B. Accidental combinations in case of fire. Implementation of Eurocodes: Handbook 5. 2005. Vol. 5. 257 p.
13. Chen Z., Zhu Y., Lu X., Lin K. A simplified method for quantifying the progressive collapse fragility of multi-story RC frames in China. *Engineering Failure Analysis*. 2023. No. 143. Pp. 106924. doi:10.1016/j.engfailanal.2022.106924.
14. Hosser D., Weilert A., Klinzmann C., Schnetgöke R., Albrecht C. Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung. Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. 2008.
15. Gernay T., Van Coile R., Khorasani N.E., Hopkin D. Efficient uncertainty quantification method applied to structural fire engineering computations. *Engineering Structures*. 2019. No. 183. Pp. 1-17.
16. Tur V.V., Tur A.V., Lizahub A.A. Experimental and theoretical study of the reinforced concrete flat slabs with the central support loss. *Building and Reconstruction*. 2023. Vol. 1. No. 1. Pp. 77-103. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-105-1-77-103>.
17. Tur V.V., Tur A.V., Lizahub A.A. Proverka zhivuchesti konstruktivnyh sistem iz sbornogo zhelezobetona po metodu energeticheskogo balansa. [Checking of the robustness of precast structural systems based on the energy balance method]. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021. Vol. 8. No.16. Pp. 1015-1033. doi:10.22227/1997-0935.2021.8.1015-1033. (In Russian).
18. Joint Committee of Structural Safety. JCSS Probabilistic Model Code. Part 2: Load Models. 2001.
19. Tur A., Tur V., Derechennik S., Lizahub A. An innovative approach to a safety format for the estimation of structural robustness. *Budownictwo i Architektura*. 2020. Vol. 19. No. 4. Pp. 67-84.
20. Qian K., Li B. Load-resisting mechanism to mitigate progressive collapse of flat slab structures. *Magazine of concrete research*. 2015. No. 7. Pp. 349-363.
21. Qian K., Li B. Experimental Study of Drop-Panel Effects on Response of Reinforced Concrete Flat Slabs after Loss of Corner Column. *ACI Structural Journal*. 2013. Vol. 110. No. 2. Pp. 319-330.

#### Информация об авторах:

##### **Лизогуб Александр Александрович**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, м.т.н., младший научный сотрудник ОЛ «НИЦИС».

E-mail: [p\\_332\\_14lizogub@mail.ru](mailto:p_332_14lizogub@mail.ru)

##### **Тур Андрей Викторович**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой архитектуры.

E-mail: [aturphd@gmail.com](mailto:aturphd@gmail.com)

##### **Тур Виктор Владимирович**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, заслуженный работник образования РБ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов.

E-mail: [profturvic@gmail.com](mailto:profturvic@gmail.com)

**Information about authors:**

**Lizahub Aliaksandr Al.**

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus,  
master of eng. science, junior research fellow of BL «RCIC».

E-mail: [p\\_332\\_14lizogub@mail.ru](mailto:p_332_14lizogub@mail.ru)

**Tur Andrei V.**

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus,  
PhD, associate professor, head the department of architecture.

E-mail: [aturphd@gmail.com](mailto:aturphd@gmail.com)

**Tur Viktor V.**

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus,  
doctor in technical sciences, head the department of concrete technology and construction materials.

E-mail: [profturvic@gmail.com](mailto:profturvic@gmail.com)