

В.В. ТУР¹, В.В. НАДОЛЬСКИЙ¹

¹Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. Расчётные классические модели сопротивления, вносимые в нормативные документы, подтверждаются большим количеством теоретических и экспериментальных исследований с последующим сравнением с существующим опытом проектирования. Однако в современных условиях быстрого совершенствования материалов и технологий всё шире используют новые оригинальные конструктивные формы, для которых расчётные модели не установлены или не имеют достаточно подтверждения. Для преодоления этих трудностей и ввиду высокой стоимости испытаний все большее распространение получают численные методы анализа (моделирования, симуляций) поведения строительных конструкций или отдельного элемента конструкции. Однако реализация проектирования стальных конструкций на основе численных моделей в первую очередь сдерживается отсутствием единых подходов к их разработке, что заключается в отсутствии верифицированных рекомендаций по назначению таких параметров, как описание диаграмм деформирования стали, размеров конечных элементов, формы и значений несовершенств и т.д. Второй важной проблемой является отсутствие формата безопасности и значений частных коэффициентов. В статье обоснованы области применения метода проектирования на основе численных моделей сопротивления, систематизированы факторы, влияющие на неопределённость значения сопротивления, и сформулированы необходимые этапы развития метода проектирования на основе численных моделей сопротивления.

Ключевые слова: численная модель сопротивления, формат безопасности, неопределённость, метод конечных элементов.

V.V. TUR¹, V.V. NADOLSKI¹

¹Brest State Technical University, Brest, Belarus

THE CONCEPT OF DESIGN OF BUILDING STRUCTURES BASED ON NUMERICAL RESISTANCE MODELS

Abstract. A large number of theoretical and experimental studies confirms the classical resistance models introduced into standards. However, in modern conditions of rapid improvement of materials and technologies, new original design forms are increasingly being used, for which calculation models have not been established or do not have sufficient confirmation. To overcome these difficulties and due to the high cost of testing, numerical methods of analysis (modeling, simulations) of the behavior of building structures or a separate structural element are becoming increasingly widespread. However, the implementation of the design of steel structures based on numerical models is primarily constrained by the lack of unified approaches to development. There are no verified recommendations on the assignment of parameters of the numerical model, such as the description of steel deformation diagrams, recommendations on the assignment of the dimensions of the final elements, recommendations on the assignment of the shape and values of imperfections, etc. The second important problem is the lack of a safety format and the values of partial factors. The article substantiates the areas of application of the design method based on numerical resistance models, systematizes the factors affecting the uncertainty of the resistance and formulates the necessary stages of development of the design method based on numerical resistance models.

Keywords: numerical resistance model, safety format, uncertainty, finite element method.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельмутер А.В., Тур В.В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 86-102.
2. Кузнецов Д.Н., Емельянов Д.И., Павленко Т.М. Силовая сэндвич-панель поэлементной сборки // *Строительная механика и конструкции*. 2020. № 1(24). С. 70-84.
3. Netu M., Eli M. Design of the Composite Steel-Glass Beams with Semi-Rigid Polymer Adhesive Joint // *Journal of civil engineering and architecture*. 2012. No. 6. Pp. 1059-1069.
4. Kövesdi B., Kuhlmann U., Dunai L. Combined shear and patch loading of girders with corrugated webs // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2010. No. 54(2). Pp. 79–88. ISSN 15873773.
5. Саиян С.Г., Паушкин А.Г. Численное параметрическое исследование напряженно-деформированного состояния двутавровых балок с различными типами гофрированных стенок // *Вестник МГСУ*. 2021. № 6 (16). С. 676-687.
6. Макеев С.А., Силина Н.Г. Разработка методики уточненного расчета гофробалок на общую устойчивость // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 12. С. 52-60.
7. Verweij J.G. Cellular beam-columns in portal frame structures. Delft University of Technology, 2010. 215 p.
8. Рекомендации по проектированию и применению стальных балок с перфорированной стенкой. ЦНИИПроектСтальКонструкция. М., 1991. 76 с.
9. Притыкин А.И., Мисник А.В., Лаврова А.С. Особенности расчета перфорированных балок МКЭ // *Известия КГТУ*. 2016. № 43. С. 249–259.
10. Надольский В.В. Анализ расчетных моделей сопротивления локальной нагрузке стальных элементов // *Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура*. 2016. № 1(97). С. 167–171.
11. Мартынов Ю.С., Лагун Ю.И., Надольский В.В. Модели сопротивления сдвигу стальных элементов, учитывающие потерю местной устойчивости стенки // *Металлические конструкции*. 2012. Том 18. № 2. С. 111–122.
12. Сидоров В.Н. Бадьина Е.С. Нелокальные модели демпфирования в динамических расчетах конструкций из композитных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 9. С. 66-70.
13. Надольский В.В., Подымако В.И. Оценка несущей способности стальной балки методом конечных элементов при совместном действии локальных и сдвиговых усилий // *Строительство и реконструкция*. 2022. № 2 (100). С. 26-43.
14. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Издательство СКАД СОФТ, 2011. 732 с. ISBN 978-5-94074-710-9.
15. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Hidden safety in structural design codes // *Engineering Structures*. 2021. Pp. 1059-1069.
16. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Über den Umgang mit versteckten Sicherheiten - Eine Fallstudie am Windlastmodell des Eurocode // *Baustatik – Baupraxis* 14. 2020. Pp. 1059-1069.
17. Крылов А.С. Экспериментальная оценка точности расчетов стальных балок при различных граничных условиях // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 1(81). С. 48-55.
18. JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. 2001. Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. –Date of access: 15.01.2016.
19. Надольский В.В. Мартынов Ю.С. Оценка ошибок моделей сопротивления сдвигу, принятых в EN 1993-1-5 и СНиП II-23 // *Вестник МГСУ*. 2013. Vol. 5. Pp. 7–20. doi:10.22227/1997-0935.2013.5.7-20.
20. Nadolski V., Sykora M. Uncertainty in Resistance Models for Steel Members // *Trans. VŠB – Tech. Univ. Ostrava, Civ. Eng. Ser.* 2015. Vol. 14. No. 2. Pp. 26–37,
21. MacLeod I. Modern Structural Analysis: Modelling Process and Guidance // Thomas Telford, Reston, VA, 2005. 206 p.
22. Sykora M. Holicky M. Assessment of Uncertainties in Mechanical Models // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 378. Pp. 13–18.
23. Weisberg M. Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World // Oxford University Press, Oxford, UK, 2013. 224 p.
24. Rogač M., Aleksić S., Lučić D. Influence of patch load length on resistance of I-girders. Part-II: Numerical research // *Journal of Constructional Steel Research*. 2021. Vol. 176. Pp. 106-138. ISSN 0143-974X.

REFERENCES

1. Perel'muter A.V., Tur V.V. Gotovy li my perejti k nelinejnomu analizu pri proektirovanii? [Are we ready to switch to nonlinear analysis in the design?] // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 86-102.

2. Kuznecov D.N., Emel'janov D.I., Pavlenko T.M. Silovaja sjendvich-panel' pojelementnoj sborki [Power sandwich panel of piecemeal assembly] // Stroitel'naja mehanika i konstrukcii. 2020. No. 1(24). Pp. 70-84.
3. Netu M., Eli M. Design of the Composite Steel-Glass Beams with Semi-Rigid Polymer Adhesive Joint // Journal of civil engineering and architecture. 2012. No. 6. Pp. 1059-1069.
4. Kövesdi B., Kuhlmann U., Dunai L. Combined shear and patch loading of girders with corrugated webs // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2010. No. 54(2). Pp. 79–88. ISSN 15873773.
5. Saijan S.G., Paushkin A.G. Chislennoe parametricheskoe issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija dvutavrovyyh balok s razlichnymi tipami gofirovannyh stenok [Numerical parametric study of the stress-strain state of I-beams with various types of corrugated walls] // Vestnik MGSU. 2021. No. 6(16). Pp. 676-687.
6. Makeev S.A., Silina N.G. Razrabotka metodiki utochnennogo rascheta gofrobalk na obshhuju ustojchivost' [Development of a methodology for the refined calculation of corrugated rollers for overall stability] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. No. 12. Pp.52-60.
7. Verweij J.G. Cellular beam-columns in portal frame structures. Delft University of Technology, 2010. 215 p.
8. Rekomendacii po proektirovaniju i primeneniju stal'nyh balok s perforirovannoj stenкой [Recommendations for the design and application of steel beams with a perforated wall]. CNIIProekstal'konstrukcija. M., 1991. 76 p.
9. Pritykin A.I., Misnik A.V., Lavrova A.S. Osobennosti rascheta perforirovannyh balok MKJe [Features of calculation of perforated beams of the FEM] // Izvestija KGTU. 2016. No. 43. Pp. 249–259.
10. Nadol'skij V.V. Analiz raschetnyh modelej soprotivlenija lokal'noj nagruzke stal'nyh jelementov [Analysis of calculated models of resistance to local load of steel elements] // Vestnik BrGTU. 2016. No. 1(97): Stroitel'stvo i arhitektura. Pp. 167–171.
11. Martynov Ju.S., Lagun Ju.I., Nadol'skij V.V. Modeli soprotivlenija sdvigu stal'nyh jelementov, uchityvajushhie poterju mestnoj ustojchivosti stenki [Models of shear resistance of steel elements, taking into account the loss of local stability of the walls] // Metallicheskie konstrukcii. 2012. Vol. 18. No. 2. Pp. 111–122.
12. Sidorov V. N. Bad'ina E.S. Nelokal'nye modeli dempfirovanija v dinamicheskikh raschetah konstrukcij iz kompozitnyh materialov [Non-local damping models in dynamic calculations of structures made of composite materials] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2021. No. 9. Pp. 66-70.
13. Nadol'skij V.V., Podymako V.I. Ocenka nesushhej sposobnosti stal'noj balki metodom konechnykh jelementov pri sovместном dejstvii lokal'nyh i sdvigovyh usilij [Evaluation of the bearing capacity of a steel beam by the finite element method under the combined action of local and shear forces] // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. No. 2 (100). Pp.26-43.
14. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost'ju ih analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis.]. M.: Izdatel'stvo SKAD SOFT, 2011. 732 p. ISBN 978-5-94074-710-9.
15. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Hidden safety in structural design codes // Engineering Structures. 2021. Pp. 1059-1069.
16. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Über den Umgang mit versteckten Sicherheiten - Eine Fallstudie am Windlastmodell des Eurocode. Baustatik. Baupraxis 14. 2020. Pp. 1059-1069.
17. Krylov A. S. Jeksperimental'naja ocenka tochnosti raschetov stal'nyh balok pri razlichnyh granichnyh uslovijah [Experimental evaluation of the accuracy of calculations of steel beams under various boundary conditions] // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2019. No. 1(81). Pp. 48-55.
18. JCSS Probabilistic Model Cod. Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. 2001. Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. Date of access: 15.01.2016.
19. Nadol'skij V.V. Martynov Ju.S. Ocenka oshibok modelej soprotivlenija sdvigu, prinjatyh v EN 1993-1-5 i SNIIP II-23 [Estimation of errors of shear resistance models adopted in EN 1993-1-5 and SNIIP II-23] // Vestnik MGSU. 2013. Vol. 5. Pp. 7–20. doi:10.22227/1997-0935.2013.5.7-20.
20. Nadolski V., Sykora M. Uncertainty in Resistance Models for Steel Members // Trans. VŠB . Tech. Univ. Ostrava, Civ. Eng. Ser. 2015. Vol. 14. No. 2. Pp. 26–37.
21. MacLeod I. Modern Structural Analysis: Modelling Process and Guidance // Thomas Telford, Reston, VA, 2005. 206 p.
22. Sykora M., Holicky M. Assessment of Uncertainties in Mechanical Models // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 378. Pp.13–18.
23. Weisberg M. Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World // Oxford University Press, Oxford, UK, 2013. 224 p.
24. Rogač M., Aleksić S., Lučić D. Influence of patch load length on resistance of I-girders. Part-II: Numerical research // Journal of Constructional Steel Research. 2021. Vol. 176. Pp. 106 - 138. ISSN 0143-974X.

Информация об авторах:

Тур Виктор Владимирович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии бетона и строительных материалов».
E-mail: profturvic@gmail.com

Надольский Виталий Валерьевич

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительного производства».
E-mail: nadolskivv@gmail.ru

Information about authors:

Tur Viktor V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
doctor of technical sciences, professor, head of the department of Concrete Technology and Building Materials.
E-mail: profturvic@gmail.com

Nadolski Vitali V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
candidate of technical science (PhD), docent, associated professor of the department of Building constructions.
E-mail: nadolskivv@mail.ru