



DOI: 10.18720/MCE.87.6

Полусдвигаговая теория В.И. Сливкера в задачах устойчивости тонкостенных стержней

В.В. Лалин, В.А. Рыбаков, С.Ф. Дьяков, В.В. Кудинов, Е.С. Орлова*,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
* E-mail: ye-cat-erina @yandex.ru

Ключевые слова: устойчивость, геометрическая матрица жесткости, тонкостенный стержень, метод конечных элементов, полусдвигаговая теория.

Аннотация. Теория тонкостенных стержней приобрела большую важность в связи с широким использованием легких стальных тонкостенных конструкций. Традиционно, при расчете тонкостенных стержней используют две разные теории: для стержней открытого профиля и стержней замкнутого профиля. При решении задач методом конечных элементов это неудобно, так как приходится строить разные конечные элементы для разных стержней. В 2005 г. В.И. Сливкером была разработана полусдвигаговая теория расчета тонкостенных стержней, которая позволяет единым образом решать задачи как для стержней открытого, так и замкнутого профилей. В рамках этой теории в данной работе исследовано применение метода конечных элементов для решения задач устойчивости тонкостенных стержней и построена геометрическая матрица жесткости. Показано, что построенное конечно-элементное решение сходится к точному при увеличении количества конечных элементов. Проведено сравнение полученных решений с критическими силами, вычисленными по классической формуле Эйлера. Сделан вывод о том, что учет тонкостенности сечения может привести к значительному уменьшению критических сил, особенно для стержней открытого профиля.

Литература

1. Павленко А.Д., Рыбаков В.А., Пихт А.В., Михайлов Е.С. Стесненное кручение многопролетных тонкостенных балок открытого профиля // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 7(67). С. 55–69. doi: 10.5862/MCE.67.6
2. Рыбаков В.А., Ал Али М., Пантелеев А.П., Федотова К.А., Смирнов А.В. Несущая способность стропильной системы из стальных тонкостенных конструкций в чердачных крышах // Инженерно-строительный журнал. 2017. 76(8). С. 28–39. doi: 10.18720/MCE.76.3
3. Vatin N.I., Nazmeeva T., Guslinsky R. Problems of cold-bent notched c-shaped profile members // Advanced Materials Research. 2014. No. 941-944. Pp. 1871–1875.
4. Лалин В.В., Зданчук Е.В., Кушова Д.А., Розин Л.А. Вариационные постановки нелинейных задач с независимыми вращательными степенями свободы // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 4(56). С. 54–65. doi: 10.5862/MCE.56.7
5. Chen C.H., Zhu Y.F., Yao Y., Huang Y. The finite elements model research of the pre-twisted thin-walled beam // Structural engineering and mechanics. 2016. No. 3. Pp. 389–402.
6. Tusnin A. Finite element for calculation of structures made of thin-walled open profile rods // Procedia Engineering 2 Sep: 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE. 2016. Pp. 1673–1679.
7. Kotelko M., Lis P., Macdonald M. Load capacity probabilistic sensitivity analysis of thin-walled beams // Thin-walled structures. 2017. No. 115. Pp. 142–153.
8. Lanc D., Turkalj G., Vo T.P., Lee J. Buckling analysis of thin-walled functionality graded sandwich box beams // Thin-walled structures. 2015. No. 86. Pp. 148–156.
9. Гарифуллин М.Р., Барабаш А.В., Наумова Е.А., Жувак О.В., Йокинен Т., Хейнисуо М. Суррогатное моделирование для определения начальной жесткости вращения сварных трубчатых соединений // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 3(63). С. 53–76. doi: 10.5862/MCE.63.4
10. Белый Г.И. Методы расчета стержневых элементов конструкций из тонкостенных холодногнутых профилей // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 4(45). С. 32–37.
11. Белый Г.И. Особенности работы стержневых элементов конструкций из оцинкованных гнутых профилей // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 3. С. 99–103.
12. Pesec O., Melcher J. Lateral-Torsional Buckling of Laminated Structural Glass Beams. Experimental Study // Procedia Engineering. 2017. No. 190. Pp. 70–77.
13. Туснин А.Р., Прокич М. Экспериментальные исследования работы балок двутаврового сечения при действии изгиба и кручения // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 1(53). С. 24–31. doi: 10.5862/MCE.53.3

14. Назмеева Т.В., Ватин Н.И. Численные исследования сжатых элементов из холодногнутого просечного С-профиля с учетом начальных несовершенств // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62). С. 92–101. doi: 10.5862/MCE.62.9
15. Атавин И.В., Мельников Б.Е., Семенов А.С., Чернышева Н.В., Яковлева Е.Л. Влияние жесткости узловых соединений на устойчивость и прочность тонкостенных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 4(80). С. 48–61. doi: 10.18720/MCE.80.5
16. Tusnin A.R., Tusnina O.A. numerical analysis of rod systems behavior after buckling // Procedia Engineering. 2016. No. 153. Pp. 791–798.
17. Jian L., Yun T., Yumei L. Stiffness Matrix of Nonlinear FEM Equilibrium Equation // Procedia Engineering. 2012. No. 29. Pp. 3698–3702.
18. Magnucki K., Milecki S. Elastic buckling of a thin-walled rectangular frame under in-plane compression // Thin-Walled Structures. 2017. No. 116. Pp. 326–332.
19. Batista M. On stability of elastic rod planar equilibrium configurations // International Journal of Solids and Structures. 2015. No. 72. Pp. 144–152.
20. Sastry S.Y.B., Krishna Y., Koduganti A. Flexural buckling analysis of thin walled lipped channel cross section beams with variable geometry // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. No. 3(6). Pp. 13484–13494.
21. Trouncer A.N., Rasmussen K.J.R. Flexural–torsional buckling of ultra light-gauge steel storage rack uprights // Thin-Walled Structures. 2014. No. 81. Pp. 159–174.
22. Kraav T., Kraav T., Lellep J. Elastic stability of uniform and hollow columns // Procedia Engineering. 2017. No. 172. Pp. 570–577.
23. Mario M., Giles W. Column buckling with shear deformation – a hyperelastic formulation // International Journal of Solids and Structures. 2008. No. 45. Pp. 4322–4339.
24. Banan M., Karami G. Farshad M. Finite element stability analysis of curved beams on elastic foundation // Mathematical and Computer Modelling. 1990. No. 14. Pp. 863–867.
25. Hsiao K., Wen Y., Chen R. Geometrically nonlinear dynamic analysis of thin-walled beams // Proceeding of the worldcongress on engineering. 2009. No. 2. Pp. 124–139.
26. Lalin V., Rybakov V., Sergey A. The finite elements for design of frame of thin-walled beams // Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 578-579. Pp. 858–863.
27. Дьяков С.Ф. Сравнительный анализ задачи кручения тонкостенного стержня по моделям Власова и Сливкера // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. № 1. С. 24–31.
29. Деревянкин Д.В., Сливкер В.И. О конечноэлементных аппроксимациях в задачах устойчивости стержней Тимошенко // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 4(17). С. 17–26.

Контактные данные:

Владимир Владимирович Лалин, +79213199878; эл. почта: vllalin@yandex.ru
Владимир Александрович Рыбаков, +79643312915; эл. почта: fishermanoff@mail.ru
Станислав Федорович Дьяков, +79213008917; эл. почта: stass.f.dyakov@gmail.com
Вадим Викторович Кудинов, +79618037320; эл. почта: vadim.russia@hotmail.com
Екатерина Сергеевна Орлова, +79312997098; эл. почта: ye-cat-erina@yandex.ru

© Лалин В.В., Рыбаков В.А., Дьяков С.Ф., Кудинов В.В., Орлова Е.С., 2019