

7. Savchuk V.V. Topologicheskaya refleksiya [Topological reflection]. M.: Kanon+, 2012. 416 p.
8. Arhitekturnaya kompozitsiya sadov i parkov [Architectural composition of gardens and parks] / gen. ed. V.P. Vergunov. M.: Stroyizdat, 1980. 254 p.
9. Plyaskina O.A., Kudryashova E.V., Fedorov V.V. Cadastre of the coastal territories of the city and the formation of the ecological framework. *Innovative Research in the Modern World*. Ufa: RC «Bulletin of Science», 2020, pp. 202–209.
10. Kudryashova U.I., Plyaskina O.A., Fedorov V.V. Cadastre and marketing of the image of the coastal territories of the city. *Innovative Research in the Modern World*. Ufa: RC «Bulletin of Science», 2020, pp. 196–202.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

FEDOROV Viktor Vladimirovich – Doctor of Cultural Sciences, Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vvf322@yandex.ru

FEDOROV Mikhail Viktorovich – Associate Professor of the Department of Management, Tver State Technical University, 22, embankment Af. Nikitin, Tver, 170026. E-mail: vvf322@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Fedorov V.V., Fedorov M.V. Socio-cultural aspect of urban development small historical settlements of the Tver region // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 3 (11), pp. 21–26.

УДК 624.046.3

ВЫПУЧИВАНИЕ СТЕРЖНЯ ИЗ СТАЛИ 45 ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОСЕВОГО СЖАТИЯ ПРИ УПРУГОЙ РАБОТЕ МАТЕРИАЛА

С.В. Черемных

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Черемных С.В., 2021

Аннотация. Исследуется проблема потери устойчивости изолированного шарнирно подкрепленного стержня тонкостенного кругового поперечного сечения при комбинированном нагружении осевой сжимающей силой и крутящим моментом. Задача решается в бифуркационной постановке при упругой работе материала. Получены уравнения для вычисления критической интенсивности напряжений в зависимости от гибкости тонкостенного стержня при реализации пропорциональных процессов комбинированного докритического нагружения осевой сжимающей силой и крутящим моментом в плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ девиаторного пространства деформаций А.А. Ильюшина. Разработаны алгоритмы и программы решения задачи бифуркации тонкостенного стержня кругового поперечного сечения при комбинированном нагружении осевой сжимающей силой и крутящим моментом как при упругой, так и при упругопластической работе материала. Получено уравнение для вычисления критической нагрузки в упругой задаче о

выпучивании тонкостенной круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии. С целью проверки полученных уравнений решена модельная упругая задача.

Ключевые слова: стержень, докритическое нагружение, деформирование материала, бифуркация, крутящий момент, неконсервативная система.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-26-35

ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени наибольшее внимание при проектировании конструкций обращали на вычисление напряжений, мерой прочности которых являлось отношение допущенных напряжений к временному сопротивлению материала. Ряд крупных катастроф показал, что такого расчета для современных инженерных сооружений далеко не достаточно, принятые нормы допускаемых напряжений не всегда обеспечивают надлежащую прочность, необходимы исследования устойчивости как отдельных частей, так и всего проектируемого сооружения.

Таким образом, одним из важнейших направлений развития механики деформированного твердого тела является исследование устойчивости элементов конструкций и деталей машин. Развитие теории устойчивости играет, безусловно, фундаментальную роль в вопросах снижения материалоемкости при оптимальном проектировании, расчетах надежности и долговечности работы конструкций, исследовании их функционирования под воздействием различных комбинаций внешних нагрузок.

В последние десятилетия в инженерной практике все чаще стали использоваться тонкостенные конструкции, в том числе оболочечного типа, которые входят в состав строительных и машиностроительных конструкций, трубопроводов. При проектировании этих конструкций и трубопроводов особое внимание должно уделяться вопросам их устойчивости, исследованию процессов выпучивания и закритического поведения [1–3].

Эффективное использование ресурса материалов заставляет проектировщиков, особенно в конструкциях однократного применения, допускать возникновение пластических деформаций. При этом учет упругопластической стадии деформирования значительно повышает надежность инженерного расчета тонкостенных конструкций, даже при их работе в пределах упругости, за счет более точной оценки предельных нагрузок и коэффициентов запаса устойчивости.

Для конструкций, большинство из которых подвергается воздействию комбинации внешних нагрузок, актуальным является также изучение истории нагружения на процессы выпучивания и устойчивости. Накопление теоретических и экспериментальных данных в этой области имеет большое значение для разработки эффективных методов инженерного расчета [4, 5].

В статье рассматривается задача выпучивания тонкостенной круговой цилиндрической оболочки в виде стержня при комбинированном нагружении осевой сжимающей силой и крутящим моментом как при упругом, так и при упругопластическом деформировании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим задачу бифуркации тонкостенной круговой цилиндрической оболочки представляемой в виде длинного стержня [1–3, 6].

Длинный стержень, подверженный действию скручивающих пар, может потерять устойчивость, при этом ось стержня образует пространственную кривую. Допустим, что

концы стержня закреплены шарнирно и что пары, моменты которых равны M_k , приложены по концам стержня, как показано на рис. 1, причем векторы – моменты пар сохраняют свое направление вдоль начальной оси стержня.

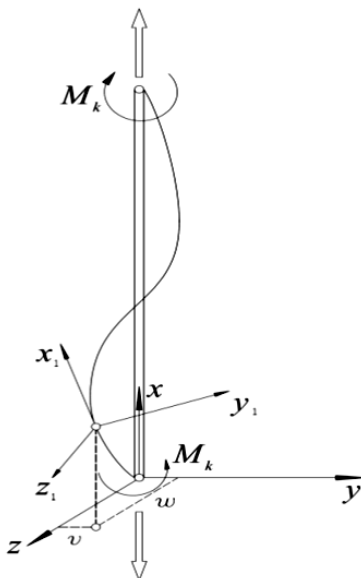


Рис. 1. Выпучивание стержня при кручении

Моменты инерции сечения стержня относительно всех центральных осей пусть будут одинаковы и равны I .

Рассматриваемая система является неконсервативной, так как в разных вариантах перехода стержня из начального положения в изогнутое, включая поворот торцевых сечений вокруг оси x , пары могут произвести различную работу. Следовательно, данная задача требует динамического подхода. Однако статический метод приводит здесь к правильным результатам [7–10].

Исходными данными для решения задачи выпучивания стержня являются геометрические параметры, механические характеристики материала и параметры волнообразования.

Задача исследования процесса выпучивания шарнирно подкрепленной круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии решается на основе вариационного метода Ритца. Принимаем выражение для прогибов w в виде [7, 9]

$$w = f_1 \sin \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{ny}{R} + f_2 \sin^2 \frac{m\pi x}{L} + f_0.$$

Первый из этих членов взят исходя из решения задачи об устойчивости; второй отображает несимметричность прогиба относительно срединной поверхности с преимущественным направлением к центру кривизны; третий соответствует радиальным перемещениям точек, принадлежащих торцевым сечениям, при $x = 0, L$. Этот член не зависит от y . Считается, что при выпучивании оболочки торцевые сечения остаются круговыми.

Уравнение для безразмерной нагрузки \hat{p} для задачи, решаемой в геометрически линейной постановке, представим в виде [7, 9]:

$$p = \frac{\left(-\left(\frac{0,25 \cdot \xi_2}{\eta \cdot \vartheta^2} \right) (\eta + \eta \cdot \vartheta^4) - (0,366 \cdot \eta \cdot \xi_2 \cdot \vartheta^2) (\eta + \eta \cdot \vartheta^4) - \right.}{\left(-\xi_2 \cdot (\eta + \eta \cdot \vartheta^4) - \left(\left(1 + \frac{8 \cdot \vartheta^4}{S_1^2} \right) - 8 \cdot \vartheta^4 \cdot \eta \cdot \xi_2 \cdot \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right) \right) \right)},$$

$$\left. -\eta \cdot \vartheta^2 \cdot \xi_2^2 \cdot k \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right) - \frac{\vartheta^2 \cdot k}{S_1^2 \cdot \eta} - \frac{\eta \cdot S_1^2 \cdot k}{10,92 \vartheta^2} + \frac{\xi_2 k}{4 \vartheta^2} \left(1 + \frac{8 \vartheta^4}{S_1^2} \right) \right)$$

где

$$k = \left(1 + \frac{8 \cdot \vartheta^4}{S_1^2} \right) - 8 \cdot \vartheta^4 \cdot \eta \cdot \xi_2 \cdot \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right);$$

$$s_1 = 1 + \vartheta^2; s_2 = 1 + 9 \vartheta^2; \vartheta = \frac{m \cdot \pi \cdot R}{n \cdot L}; \eta = \frac{n^2 \cdot h}{R};$$

$$\xi_2^2 = \frac{\left(\frac{0,25 \cdot \xi_2}{\eta \cdot \vartheta^2} + 0,366 \cdot \eta \cdot \xi_2 \cdot \vartheta^2 - p \cdot \xi_2 \right)}{\frac{1}{16 \cdot \vartheta^2} \cdot \left(1 + \frac{8 \cdot \vartheta^4}{S_1^2} \right) - \frac{\eta \cdot \vartheta^2 \cdot \xi_2}{2} \cdot \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right)};$$

m – число полуволин по образующей; n – число полных волн вдоль окружности; R, L – радиус и длина стержня соответственно; η, ϑ – безразмерные параметры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуем процесс выпучивания оболочки из стали 45 при осевом сжатии. Выбирая определенные значения ϑ и η , строим кривые зависимости $\hat{p}(\xi_2)$. Четыре серии таких кривых (для $\vartheta = 0,3; \vartheta = 0,5; \vartheta = 1,2; \vartheta = 1,8$) показаны на рис. 2–5.

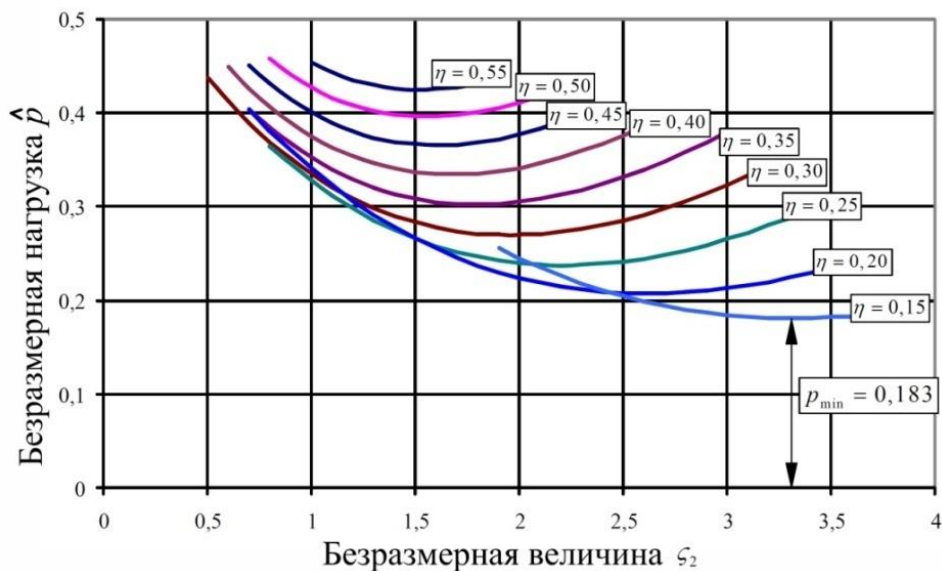


Рис. 2. Равновесные формы оболочки при $\vartheta = 0,3$

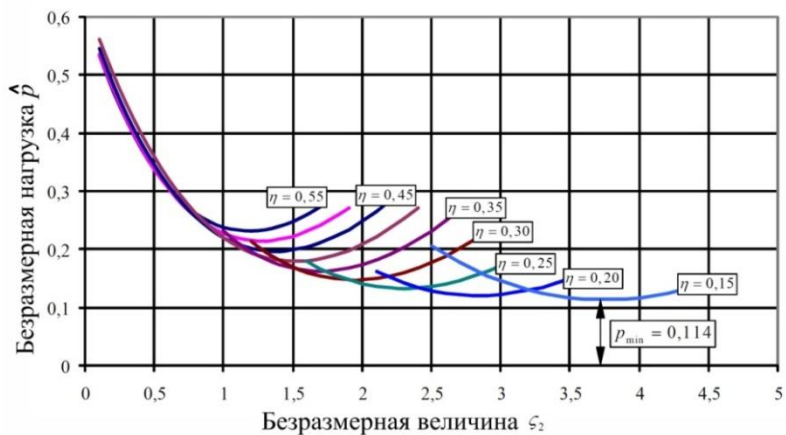


Рис. 3. Равновесные формы оболочки при $G = 0,5$

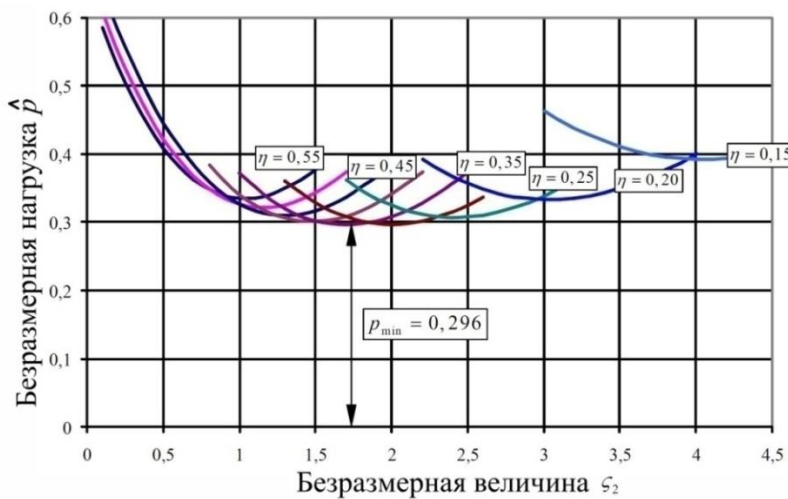


Рис. 4. Равновесные формы оболочки при $G = 1,2$

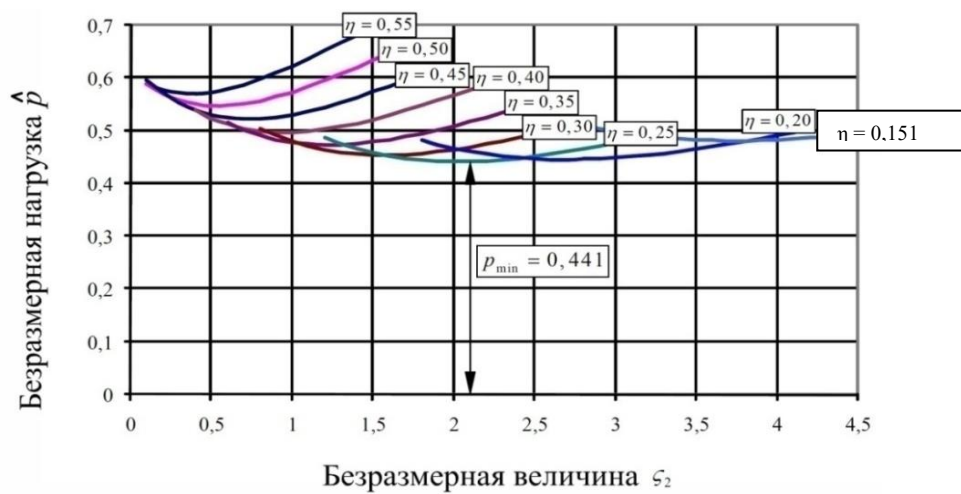


Рис. 5. Равновесные формы оболочки при $G = 1,8$

Вычисления были также проведены для 12 других значений ϑ , лежащих в пределах $0,3 \leq \vartheta \leq 2,4$. При сопоставлении всех вариантов оказалось, что наименьшая величина p – нижнее критическое напряжение, соответствующее параметрам $\vartheta = 0,5$; $\eta = 0,15$, равно $\hat{p}_{\min} = 0,114$. Таким образом, в первом приближении при подстановке \hat{p}_{\min} в уравнение

$$p = \frac{p \cdot R}{E \cdot h} \text{ имеем}$$

$$p_n = 0,114 \cdot E \cdot \frac{h}{R}.$$

Из результатов обработки диаграммы деформирования стали 45 принимаем $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа и строим диаграмму для определения нижнего критического давления.

Характерная кривая выпучивания стержня при некоторых значениях R/h представлена на рис. 6.

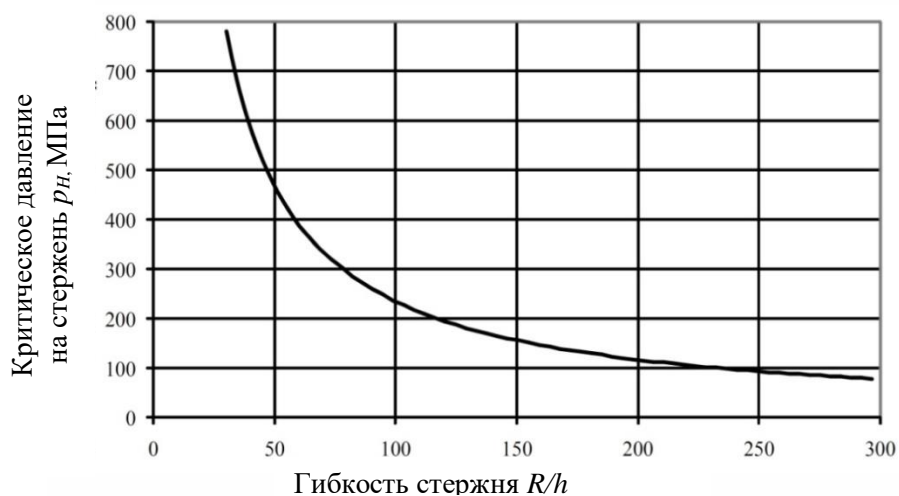


Рис. 6. Расчетные данные для определения нижнего критического давления

Поведение упругопластических образцов за пределом устойчивости при фиксированных m и n , в отличие от упругих стержней, характеризуется монотонным падением нагрузки с увеличением прогиба [11–14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задачи о выпучивании упругопластических оболочек сводится к решению системы двух дифференциальных уравнений, коэффициенты которых сложным образом зависят от искомого решения. Непосредственное интегрирование этих уравнений связано со значительными математическими трудностями. В связи с этим особое значение приобретают численные методы [15, 16].

Эффективными методами приближенного решения краевых задач являются метод конечных элементов и метод конечных разностей, достоинствами которых являются их универсальность при решении как линейных, так и нелинейных задач и слабая зависимость вычислительных схем от краевых условий. Однако зависимость коэффициентов уравнений от искомого решения, наличие разных зон деформирования оболочки (стержня) затрудняют решение вопроса о выборе сетки и размера конечного

элемента при решении рассматриваемой задачи. В связи с этим рациональнее вести исследование процесса выпучивания оболочки в перемещениях на основе вариационного уравнения равновесия [17, 18].

В рассмотренном примере на основе вариационного метода Релея записано уравнение для вычисления критической нагрузки в упругой задаче о выпучивании тонкостенной круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии.

Построены кривые выпучивания при различных значениях параметров волнообразования и огибающая кривая устойчивых состояний оболочки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охлопков Н.Л., Соколов С.А., Черемных С.В. О границах раздела зон упругой разгрузки и пластической догрузки материала в решении задачи устойчивости круговой цилиндрической оболочки при простых докритических процессах // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2012. № 6-2 (296). С. 8–13.
2. Охлопков Н.Л., Черемных С.В. О предельных поверхностях критических напряжений и деформаций материала в решении задачи устойчивости круговой цилиндрической оболочки при простых процессах // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2012. № 5 (295). С. 30–36.
3. Cheremnykh S., Zubchaninov V., Gulyaev V. Deformation of cylindrical shells of steel 45 under complex loading // *XXII Int. Scientific Conf. «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2019)*. Vol. 97, pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704025
4. Латифов Ф.С., Юсифов М.З. Выпучивание внецентренно сжатого повреждающегося стержня, контактирующего с агрессивной внешней средой // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2014. № 4 (29). С. 60–63.
5. Ильгамов М.А. Выпучивание колеблющегося стержня при продольном ударе // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2015. № 1. С. 27–32.
6. Охлопков Н.Л., Черемных С.В. Устойчивость тонкостенных упругопластических конструкций при реализации процессов сложного комбинированного деформирования // *Известия МГТУ «МАМИ»*. Серия 3. Естественные науки. 2013. Т. 4. № 2 (24). С. 109–114.
7. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.
8. Гудрамович В.С. Устойчивость упругопластических оболочек. Киев: Наукова думка, 1987. 216 с.
9. Зубчанинов В.Г. Устойчивость и пластичность. Т. 1. Устойчивость. М.: Физматлит, 2007. 448 с.
10. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: МГУ, 1990. 310 с.
11. Movchan A.A., Kazarina S.A., Silchenko A.L. Buckling of a rod with a circular cross section induced by a direct thermoelastic martensitic transformation // *Russian metallurgy (Metally)*. 2020. No. 4, pp. 298–304. DOI: 10.1134/S0036029520040199
12. Paimushin V.N. On static and dynamic buckling modes of a rod-strip loaded by follower forces // *Mechanics of Solids*. 2008. Vol. 43. No. 4, pp. 600–609. DOI: 10.3103/S0025654408040080
13. Jiang S., Shi X., Zeng X., Xu B. Deformation behavior and elastic modulus of engineering materials based on compressive rod post-buckling // *Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)*. 2014. Vol. 35. No. 1, pp. 107–114. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7775.2014.01.020

14. Tusnin A.R., Tusnina O.A. Numerical analysis of rod systems behavior after buckling // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153, pp. 791–798. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.244
15. Sharafutdinova G.G. An operator method for studying the euler problem on types of the loss of stability for a pivoted rod under buckling load // *Russian Mathematics*. 2010. Vol. 54. No. 11, pp. 77–82. DOI: 10.3103/S1066369X10110083.
16. Хамитов Т.К., Шигабутдинов Ф.Г. Устойчивость и выпучивание стержня и цилиндрической оболочки при продольном ударе // *Динамические системы в науке и технологиях (DSST-2018)*. Симферополь: Крымский федеральный университет им. Вернадского, 2018. С. 81–82.
17. Ильгамов М.А. Зависимость динамического выпучивания стержня от начальных условий // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2013. № 2. С. 5–10.
18. Устойчивость упругопластических оболочек при сложных процессах комбинированного нагружения: монография / С.В. Черемных [и др.]. Тверь: ТвГТУ, 2021. 160 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ЧЕРЕМНЫХ Степан Валерьевич – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: cheremnykh_s.v@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Черемных С.В. Выпучивание стержня из стали 45 под действием осевого сжатия при упругой работе материала // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 3 (11). С. 26–35.

BUCKLING OF THE STEEL ROD 45 UNDER THE ACTION OF AXIAL COMPRESSION DURING THE ELASTIC OPERATION OF THE MATERIAL

S.V. Cheremnykh

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The problem of loss of stability of an isolated pivotally reinforced rod of a thin-walled circular cross-section under combined loading by an axial compressive force and a torque is investigated. The problem is solved in the bifurcation formulation under the elastic operation of the material. Equations are obtained for calculating the critical stress intensity as a function of the flexibility of a thin-walled rod in the implementation of proportional processes of combined subcritical loading by axial compressive force and torque in the plane of the deviator space of deformations of A.A. Ilyushin. Algorithms and programs for solving the problem of bifurcation of a thin-walled rod of circular cross-section under combined loading by an axial compressive force and a torque are developed for both elastic and elastic-plastic work of the material. An equation is obtained for calculating the critical load in the elastic problem of buckling of a thin-walled circular cylindrical shell under axial compression. In order to verify the obtained equations, a model elastic problem is solved.

Keywords: rod, subcritical loading, material deformation, bifurcation, torque, non-conservative system.

REFERENCES

1. Ohlopkov N.L., Sokolov S.A., Cheremnykh S.V. On the boundaries between zones of elastic unloading and plastic loading of a material in solving the problem of stability of a circular cylindrical shell in simple subcritical processes. *Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii*. 2012. No. 6-2 (296), pp. 8–13. (In Russian).
2. Ohlopkov N.L., Cheremnykh S.V. On the limiting surfaces of critical stresses and deformations of a material in solving the problem of stability of a circular cylindrical shell in simple processes. *Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii*. 2012. No. 5 (295), pp. 30–36. (In Russian).
3. Cheremnykh S., Zubchaninov V., Gulyaev V. Deformation of cylindrical shells of steel 45 under complex loading. *XXII Int. Scientific Conf. «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2019)*. Vol. 97, pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704025
4. Latifov F.S., Yusifov M.Z. Buckling of a non-centrally compressed, damaged rod in contact with an aggressive external environment. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2014. No. 4 (29), pp. 60–63. (In Russian).
5. Ilgamov M.A. Buckling of the oscillating rod under longitudinal impact. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN*. 2015. No. 1, pp. 27–32. (In Russian).
6. Ohlopkov N.L., Cheremnykh S.V. Stability of thin-walled elastic-plastic structures in the implementation of complex combined deformation processes. *Izvestiya MGTU «MAMI». Seriya 3. Estestvennye nauki*. 2013. Vol. 4. No. 2 (24), pp. 109–114. (In Russian).
7. Volmir A.S. Stability of deformable systems. M.: Nauka, 1967. 984 p. (In Russian).
8. Gudramovich V.S. Stability of elastic-plastic shells. Kiev: Naukova dumka, 1987. 216 p. (In Russian).
9. Zubchaninov V.G. Stability and ductility. Vol. 1. Stability. M.: Fizmatlit, 2007. 448 p. (In Russian).
10. Ilyushin A.A. Continuum mechanics. M.: MSU, 1990. 310 p. (In Russian).
11. Movchan A.A., Kazarina S.A., Silchenko A.L. Buckling of a rod with a circular cross section induced by a direct thermoelastic martensitic transformation. *Russian metallurgy (Metally)*. 2020. No. 4, pp. 298–304. DOI: 10.1134/S0036029520040199
12. Paimushin V.N. On static and dynamic buckling modes of a rod-strip loaded by follower forces. *Mechanics of Solids*. 2008. Vol. 43. № 4, pp. 600–609. DOI: 10.3103/S0025654408040080.
13. Jiang S., Shi X., Zeng X., Xu B. Deformation behavior and elastic modulus of engineering materials based on compressive rod post-buckling. *Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)*. 2014. Vol. 35. No. 1, pp. 107–114. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7775.2014.01.020
14. Tusnin A.R., Tusnina O.A. Numerical analysis of rod systems behavior after buckling. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153, pp. 791–798. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.244
15. Sharafutdinova G.G. An operator method for studying the euler problem on types of the loss of stability for a pivoted rod under buckling load. *Russian Mathematics*. 2010. Vol. 54. No. 11, pp. 77–82. DOI: 10.3103/S1066369X10110083
16. Hamitov T.K., Shigabutdinov F.G. Stability and buckling of the rod and cylindrical shell under longitudinal impact. *Dinamicheskie sistemy v nauke i tekhnologiyah (DSST-2018)*. 2018, pp. 81–82. (In Russian).

17. Igamov M.A. Dependence of the dynamic buckling of the rod on the initial conditions. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN*. 2013. No. 2, pp. 5–10. (In Russian).
18. Cheremnykh S V., Sokolov S.A., Gulyaev V.I. Alekseev A.A. *Stability of elastic-plastic shells under complex combined loading processes*. Tver, 2021. 160 p. (In Russian).

ABOUT THE AUTHOR

CHEREMNYKH Stepan Valerievich – Senior Lecturer of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia.
E-mail: stepan_1986@bk.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Cheremnykh S.V. Buckling of the steel rod 45 under the action of axial compression during the elastic operation of the material // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2021. No. 3(11), pp. 26–35.

УДК 699.844

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА ПЕРЕГОРОДОК ИЗ БЕТОННЫХ БЛОКОВ С НЕИЗВЛЕКАЕМЫМИ ТРУБЧАТЫМИ ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЯМИ

В.А. Ясюкович, В.И. Трофимов

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Ясюкович В.А., Трофимов В.И., 2021

Аннотация. В эпоху технологического прогресса большое внимание уделяется проблеме шума, длительное воздействие которого оказывает негативное влияние на организм человека. Отмечается, что стены жилых зданий, возводимые из блоков на основе легкого бетона и не только, не всегда отвечают необходимым требованиям по звукоизоляции. Поэтому в данной работе рассматривается эффективность использования бетонных блоков с неизвлекаемыми трубчатыми пустотообразователями в качестве перегородок для шумоизоляции в жилых домах. Произведен расчет с целью определения расчетных значений индекса изоляции воздушного шума для модельных образцов блоков и блоков стандартных размеров. Приводится сравнение с ближайшими аналогами. Представлены основные выводы, сделанные по результатам расчета шумоизоляционных свойств исследуемых блоков, сравнения их с нормативными требованиями и аналогами.

Ключевые слова: бетон, пустотность, индекс изоляции, воздушный шум, перегородка из блоков, пустотообразователи, расчет звукоизоляции.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-35-44

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху технологического прогресса сложно представить общественное или жилое здание без инженерных систем и различного технологического оборудования. Кроме того, в настоящее время для экономии энергоресурсов и создания комфортных условий жизнедеятельности все чаще возводят многоквартирные жилые дома со встроенными