

УДК 624.046:539.3/6

*Е. Н. ФИСЕНКО, Р. А. САБИРОВ**Сибирский государственный университет науки и технологий
им. акад. М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия***АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ
ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ**

Представлено расчетно-графическое проектировочное учебное задание для изучения устойчивости стержней с тонкостенными поперечными сечениями (в том числе и неодносвязными), предназначенное для студентов аэрокосмических специальностей, изучающих дисциплины «Сопротивление материалов» и «Строительная механика».

Ключевые слова: устойчивость, тонкостенный стержень, метод уменьшения основного допускаемого напряжения.

Введение. В машиностроении, авиационной и аэрокосмической технике при проектировании изделий требуются расчеты устойчивости сжатых стержневых конструкций [1]. Обычно нагрузки заданы и требуется подобрать размеры сечений. Если неизвестны как сами размеры, так и гибкость, то задачу подбора размеров сечений рекомендуется решать методом попыток. В литературе предлагается выполнять расчет с помощью «Метода уменьшения основного допускаемого напряжения» [2–4].

В учебном процессе курса сопротивления материалов института космической техники СибГУ (Красноярск), для расчета устойчивости центрально сжатых стержней много лет успешно применяются «Методические указания» [5], в которых описана методика расчетов с подробными примерами и приведены расчетные схемы заданий. В качестве поперечных сечений предложены как сплошные односвязные, так и применяемые в машиностроении комбинации сечений, составленные из прокатных профилей.

Разработанное учебно-проектировочное задание имеет цель дополнить работу [5] тонкостенными поперечными сечениями, которые широко используются в конструкциях аэро-ракетной техники, однако требуют более трудоемкого способа вычисления геометрических характеристик сечения, таких как площадь, положение центра тяжести, статические моменты площадей, моменты инерции. В решебнике [6] для вычисления геометрических характеристик подробно рассматриваются приемы интегрирования по контуру, составлены программы для интерпретатора Maple. В отличие от [6], в учебно-проектировочном задании продуманы и реализованы приемы вычисления с помощью электронных таблиц, что достаточно просто и эффективно.

Концепция метода уменьшения основного допускаемого напряжения состоит в расчете с помощью «коэффициента ослабления» φ , при котором допускаемое напряжение на устойчивость

$$[\sigma]_y = \varphi[\sigma] = \varphi\sigma_T / n,$$

где $[\sigma] = \sigma_T / n$ – допускаемое напряжение при сжатии; σ_T – предел текучести металла; n – коэффициент запаса. Значение коэффициента ослабления основного допускаемого напряжения ϕ приводится в специальных таблицах в зависимости от гибкости λ .

Для выполнения проектировочного расчета на устойчивость сжатых стержней метод уменьшения основного допускаемого напряжения предлагается использовать в современной литературе, рекомендованной для машиностроительных и аэрокосмических специальностей, например, в учебнике [7]. Это связано с актуальностью метода не только при изучении сопротивления материалов, но при сравнении с результатами, полученными с помощью программ САПР в ходе проектирования. Техника расчета приводится в курсах сопротивления материалов. Однако отметим, что применяемый метод обладает принципиальным недостатком – он не дает отчетливого представления о действительном запасе устойчивости стержня [8].

Пример. Приведем фрагмент выполнения учебно-проектировочного задания для схемы, представленной на рисунке 1.

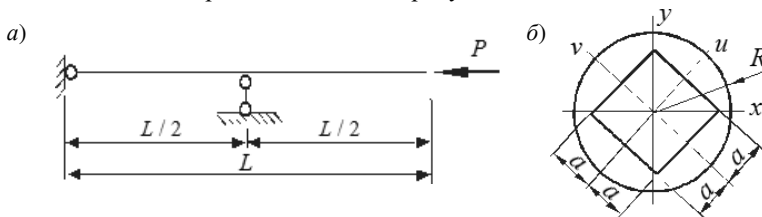


Рисунок 1 – Модель исследуемой балки:

a – расчетная схема (L – длина, $P = 200$ кН – заданная сила);

b – поперечное сечение (a – искомый параметр, R – радиус, x, y, u, v – центральные оси)

Продемонстрируем результаты расчета после шестой итерации метода.

1 Получая $\frac{\phi_5}{\phi_6} = \frac{0,3097}{0,3096} = 1,00$, определяем, что итерационный процесс

привел к сходимости коэффициента ϕ к значению $\phi = 0,30963$. Искомый параметр $a = 0,03796$ м можно округлить до $a = 0,038$ м.

2 Проверим выполнение условия устойчивости (S – площадь сечения):

$$\frac{P}{S} \leq \phi_6 \cdot [\sigma]; \quad \frac{200000}{0,004613} \leq 0,3096 \cdot 140 \cdot 10^6,$$

что дает $4,336 \cdot 10^7 = 4,336 \cdot 10^7$, то есть условие устойчивости выполняется.

3 Вычислим момент инерции

$$J_{\min} = 2,75a^4 = 2,75 \cdot 0,038^4 = 5,704 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

и рассчитаем критическую силу по формуле Эйлера

$$P_{\text{крит}} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{L_{\text{привед}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 5,704 \cdot 10^{-6}}{5,827^2} = 386,2 \text{ кН.}$$

4 Соответствующее критическое напряжение

$$\sigma_{\text{крит}} = \frac{P_{\text{крит}}}{S} = \frac{386200}{0,004613} = 83,72 \text{ МПа} .$$

5 Коэффициент запаса устойчивости

$$n_{\text{уст}} = \frac{P_{\text{крит}}}{P} = \frac{386,2}{200} = 1,931 \approx 2.$$

В качестве **вывода** отметим, что подобранный коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения позволил определить параметр сечения $a = 0,03796$ м и найти критическую силу с двойным коэффициентом запаса устойчивости.

Представленная разработка способствует совершенствованию качества преподавания дисциплин, являющихся первоначальной базой освоения специализированных пакетов САПР для решения вопросов прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкций ракетно-космической техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Феодосьев, В. И.** Основы техники ракетного полета / В. И. Феодосьев. – М. : Наука, 1979. – 496 с.

2 **Вольмир, А. С.** Устойчивость упругих систем / А. С. Вольмир. – М. : Физматгиз, 1963. – 880 с.

3 **Заславский, Б. В.** Краткий курс сопротивления материалов : учеб. для авиационных специальностей вузов / Б. В. Заславский. – М. : Машиностроение, 1986. – 328 с.

4 **Тимошенко, С. П.** Механика материалов / С. П. Тимошенко, Дж. Гере. – М. : Мир, 1976. – 670 с.

5 **Кснаткин, В. П.** Устойчивость центрально сжатого стержня. Методические указания и расчетные схемы задания по курсу «Сопротивление материалов» / В. П. Кснаткин, Л. А. Доставалова. – Красноярск, 1983. – 39 с.

6 **Кирсанов, М. Н.** Решебник. Теоретическая механика / М. Н. Кирсанов. – М. : Физматлит, 2002. – 384 с.

7 **Горшков, А. Г.** Сопротивление материалов / А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В. И. Шалашилин. – М. : Физматлит, 2002. – 544 с.

8 **Биргер, И. А.** Сопротивление материалов / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов. – М. : Наука, 1986. – 560 с.

E. N. FISENKO, R. A. SABIROV

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

STABILITY ANALYSIS OF THE CENTRALLY COMPRESSED THIN-WALLED RODS

There is presented an educational task for a calculation graphic project for studying the stability of rods with thin-walled cross sections (including non-simply connected ones), intended for students of aerospace specialties studying the disciplines "Strength of Materials" and "Structural Mechanics".

Keywords: stability, thin-walled rod, method of reducing the main allowable stress.

Получено 09.11.2022