

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ В ИНЖЕНЕРНОМ АВИАЦИОННОМ ВУЗЕ

Петров Ю.В., Семакова М.В., Пермякова В.В.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва*

Ключевые слова: стрингер, общая и местная потеря устойчивости стержня, продольная ось стержня, профиль, критические напряжения потери устойчивости, условия закрепления краев пластины.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы анализа устойчивости тонкостенных стержней при центральном сжатии. Приведены конкретные примеры реализации таких конструкций на современных летательных аппаратах. Показано, что данная практически важная методическая задача в недостаточном объеме изучается в инженерном авиационном вузе, так как основное ее содержание находится на стыке двух последовательно изучаемых дисциплин: «Сопротивление материалов» и «Строительная механика авиационных конструкций». Приводится общий алгоритм расчета тонкостенных стержней на местную потерю устойчивости, даются рекомендации по повышению устойчивости подобных конструкций. Формулируются методические рекомендации по изучению проблем устойчивости тонкостенных стержней.

METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR STUDYING THE ISSUES OF LOSS OF STABILITY OF THIN-WALLED RODS IN AN AVIATION ENGINEERING UNIVERSITY

Petrov Yu.V., Semakova M.V., Permyakova V.V.

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

Keywords: stringer, general and local loss of stability of the rod, longitudinal axis of the rod, profile, critical stresses of loss of stability, conditions for fixing the edges of the plate.

Abstract. The article discusses the issues of analyzing the stability of thin-walled rods under central compression. Specific examples of the implementation of such designs on modern aircraft are given. It is shown that this practically important methodological task is insufficiently studied at the aviation engineering university, since its main content is at the junction of two consistently studied disciplines: "Resistance of materials" and "Structural mechanics of aircraft structures". A general algorithm for calculating thin-walled rods for local loss of stability is given, and recommendations are made to increase the stability of such structures. Methodological recommendations for studying the stability problems of thin-walled rods are formulated.

В учебных планах подготовки инженерных кадров в области авиации основы прочностного цикла обычно выстраиваются по схеме: «Теоретическая механика»; «Сопротивление материалов»; «Строительная механика авиационных конструкций» (в ряде вузов – «Динамика авиационных конструкций»); «Конструкция летательного аппарата» и «Конструкция двигателя». Приобретаемые студентами компетенции согласовываются между дисциплинами для наиболее полного и качественного их освоения. Однако по ряду объективных причин отдельные темы, находящиеся на «стыке» дисциплин, оказываются вне

поля зрения обучаемых и необоснованно игнорируются, хотя имеют важное прикладное и методическое значение.

Одной из таких тем является местная устойчивость тонкостенных стержневых систем. В классическом сопроамте рассматриваются вопросы устойчивости стержней в постановке Эйлера, анализируется влияние различных факторов на значение критической силы потери устойчивости, определяются границы применимости соответствующих соотношений [1, 2]. Вместе с тем, стержни, используемые в основной силовой конструкции самолета (стрингеры, стенки) обычно представляют собой тонкостенные конструкции (рис.1). На рисунке 1 изображены типовые стрингеры фюзеляжа самолета МС-21 (рис. 1а) и фюзеляжа самолета Боинг 737 (рис. 1б). Видно, что типовый стрингер представляет собой набор соединенных пластин (горизонтальная и вертикальная полки, отгибы).

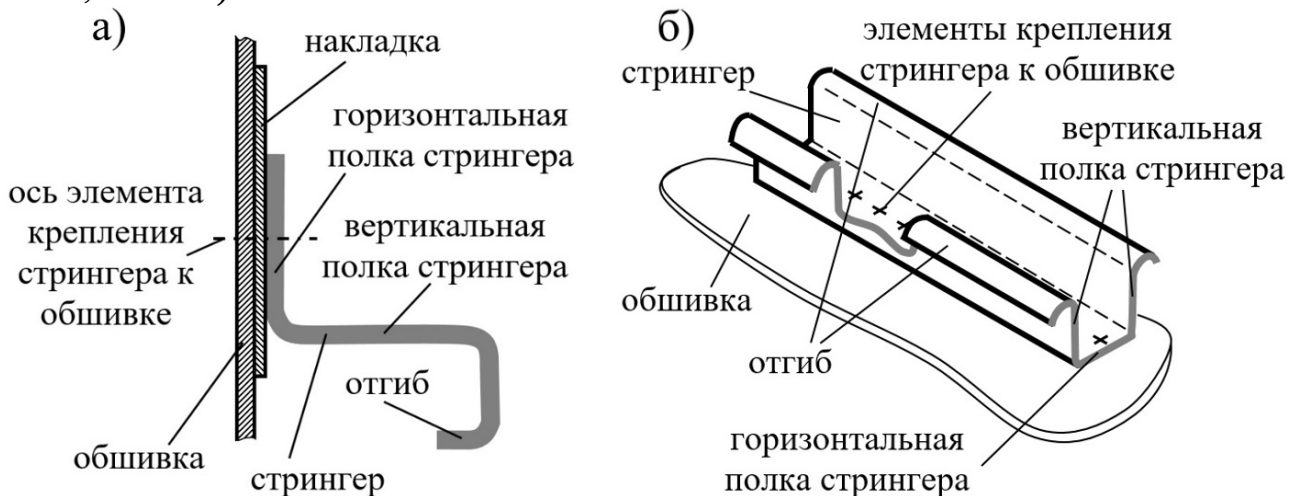


Рис. 1. Типовые стрингеры фюзеляжа самолета МС-21 (а) и фюзеляжа самолета Боинг 737 (б)

В задаче устойчивости тонкостенных стержней принято рассматривать общую и местную потерю устойчивости. При сжатии стержней с тонкостенным профилем **общая** потеря устойчивости сопровождается изгибом (рис.2 а) или закручиванием продольной оси стержня, причем поперечные сечения не искривляются, а лишь смещаются в процессе потери устойчивости. Если имеет место **местная** потеря устойчивости, то продольная ось стержня остается прямолинейной, а отдельные пластинки профиля выпучиваются (рис.2 б).

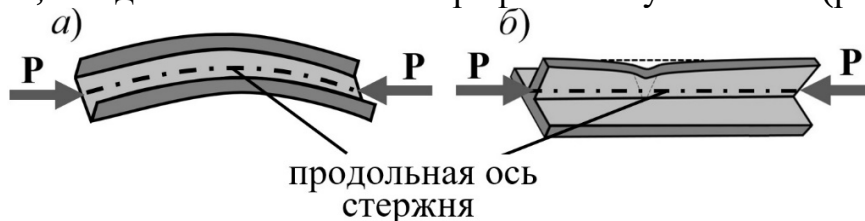


Рис. 2. Картина общей (а) и местной (б) потери устойчивости стержня при сжатии

Здесь важно отметить, что задача общей потери устойчивости изучается в дисциплине «Сопротивление материалов», но на этом этапе обучения студенту ничего неизвестно о проблеме устойчивости пластин, которая изучается в дисциплине «Строительная механика авиационных конструкций». В тоже время

классическая теория оценки местной потери устойчивости тонкостенного стержня базируется на знании основных соотношений теории устойчивости пластин.

Приближенный теоретический подход к исследованию местной устойчивости стержней основан на рассмотрении тонкостенного профиля как системы соединенных под углом пластинок. Вычисляются критические напряжения для каждой пластинки в отдельности с учетом условий закрепления краев. Наименьшее критическое напряжение принимается в качестве критического напряжения местной потери устойчивости стержня в целом. Расчет проводится по известной формуле [3, 4]:

$$\sigma_{кр} = 0,9 \cdot K_{\sigma} \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b} \right)^2,$$

где K_{σ} – коэффициент, зависящий от условий опирания краев полки (стенки) профиля; E – модуль Юнга; δ и b – соответственно, толщина и ширина полки.

В данном решении наибольшую сложность представляет правильный выбор коэффициента K_{σ} , так как реальные условия взаимного опирания стенок профиля зависят от большого числа факторов и, в первую очередь, от соотношения ширины двух примыкающих полок. Предлагается для оценки значения коэффициента K_{σ} использовать данные, приведенные на рисунке 3 [4].

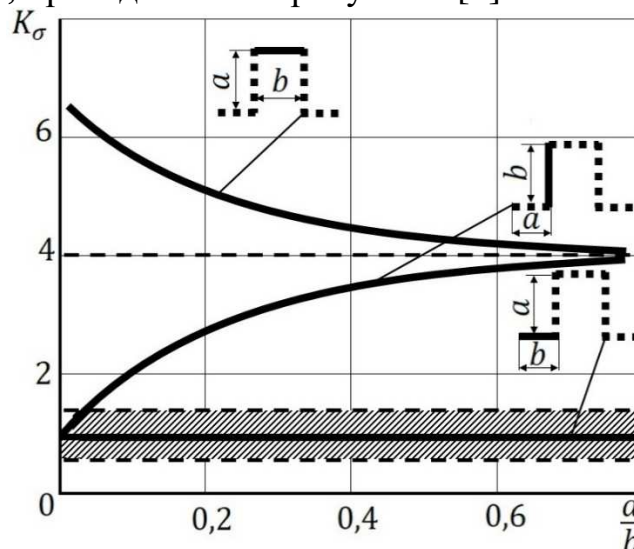


Рис. 3. Зависимость коэффициента K_{σ} от размеров примыкающих деталей

На данном рисунке показана зависимость коэффициента K_{σ} от соотношения ширины примыкающих полок, где b – ширина пластины, коэффициент K_{σ} которой определяется, a – ширина примыкающей пластины. В случае с полкой со свободным краем (в стандартных профилях – это отгиб) разброс значений K_{σ} значительный и в расчетах рекомендуется брать среднее значение $K_{\sigma} = 0,8$. Для повышения устойчивости собственно отгиба, а также полки, к нему примыкающей, может использоваться криволинейный отгиб, как показано на рисунке 1, а.

Таким образом, проведенный анализ методических особенностей изучения проблемы устойчивости тонкостенных стержней показал, что фактически ни в дисциплине «Сопротивление материалов», ни в дисциплине «Строительная механика авиационных конструкций» задача оценки устойчивости тонкостенного

стержня не решается в полном объеме и студенты не понимают содержания понятия – местная потеря устойчивости стержня, а значит не могут предложить направления исследований для ее повышения. Предлагается изучать вопросы устойчивости тонкостенных стержней в дисциплине «Строительная механика авиационных конструкций», при этом кратко повторяются основные положения теории общей потери устойчивости, излагаемые в дисциплине «Сопротивление материалов».

Список литературы

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 544 с.
2. Орешко Е.И., Ерасов В.С., Луценко А.Н. Особенности расчета устойчивости стержней и пластин // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – №4. – С.74-79. – doi.org/10.18577/2071-9140-2016-0-4-74-79.
3. Образцов И.Ф., Булычев Л.А., Васильев В.В. и др. Строительная механика летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 536 с.
4. Овчинников В.В., Петров Ю.В., Плосков С.Ю., Пономарев А.Т., Стопкевич В.Г. Строительная механика боевых летательных аппаратов. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2009. – 373 с.

Сведения об авторах:

Петров Юрий Владимирович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики и инженерной графики;

Семакова Марина Владимировна – старший преподаватель кафедры технической механики и инженерной графики;

Пермякова Вера Владимировна – к.т.н., доцент, доцент кафедры технической механики и инженерной графики.