

Исследование положения центра жесткости в однозамкнутом прямоугольном сечении тонкостенного стержня

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Предложена формула для определения положения центра жесткости в поперечном сечении тонкостенного стержня прямоугольной формы с четырьмя сосредоточенными площадями, расположенными в углах. Проведены расчеты влияния параметров сечения на положение центра жесткости.

Ключевые слова: центр жесткости, тонкостенный стержень с однозамкнутым сечением, модель Вагнера.

В целях выполнения требования отсутствия флаттера необходимо обеспечить желательное положение центра жесткости в поперечном сечении крыла (оперения, лонжерона несущего винта вертолета) еще на ранних этапах проектирования этих агрегатов. Для достижения этого предлагается максимально простая технология поиска центра жесткости (ЦЖ) однозамкнутого сечения тонкостенного стержня, моделирующего такие элементы конструкции.

Рассмотрено симметричное относительно горизонтальной оси поперечное сечение, состоящее из четырех стенок и четырех сосредоточенных площадей в углах сечения (рис. 1).

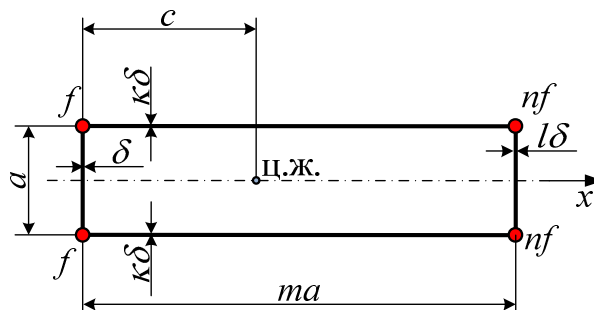


Рис. 1. Поперечное сечение

Использована модель Вагнера: стенки сечения воспринимают только касательные напряжения, а нормальные – только в поясах сечения (сосредоточенные площади в углах контура). Причем материал верхней и нижней стенок одинаков (материал 1), правая и левая также имеют одинаковый материал 2, а различие между материалами учитывается с помощью параметра k . Расчет ведется в пределах упругости [1, 2, 3].

С применением метода фиктивного момента получена формула, позиционирующая ЦЖ относительно передней стенки:

$$c = \frac{ma}{n+1} \frac{lkn + 2lk + 2nml - nk}{lk + k + 2ml},$$

в которой различие в материалах стенок и поясов учитывается редуцированием с применением соотношений соответствующих модулей упругости.

Практические расчеты показали, что для представленного сечения (см. рис. 1) положения ЦЖ, полученные с применением модели Вагнера и вычисленные с учетом работы обшивки на нормальные и касательные напряжения, совпадают.

Исследовано влияние параметров сечения на положение ЦЖ. При варьировании соотношения величин сосредоточенных площадей n обнаружено, что с увеличением данного параметра стремление ЦЖ к большим площадям лимитировано. Для изображенного на рис. 2 сечения тонкостенного стержня показана зависимость $c(n)$.

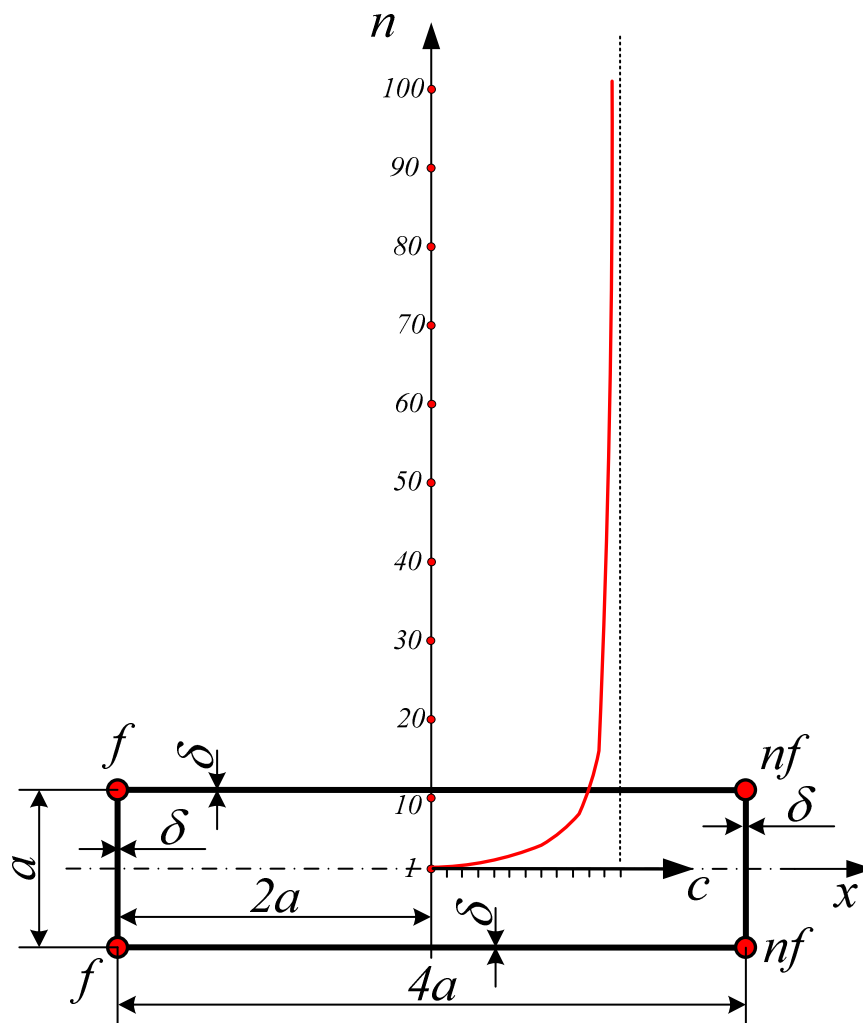


Рис. 2. Зависимость положения ЦЖ от соотношения площадей

Установлено существование предельного значения смещения ЦЖ к стенке с большими площадями. Кроме того, при расчете выявлено, что случай $n \rightarrow \infty$ для определения положения ЦЖ соответствует поперечному сечению, в котором отсутствуют площади с одной стороны.

Обнаруженное предельное смещение для сечения с одинаковыми стенками при $m = 4$ исследовано в широком диапазоне изменения удлинения сечения m . Результаты расчетов предельного удаления от левой вертикальной стенки в относительном размере $\bar{c} = c / ma$ показаны на рис. 3.

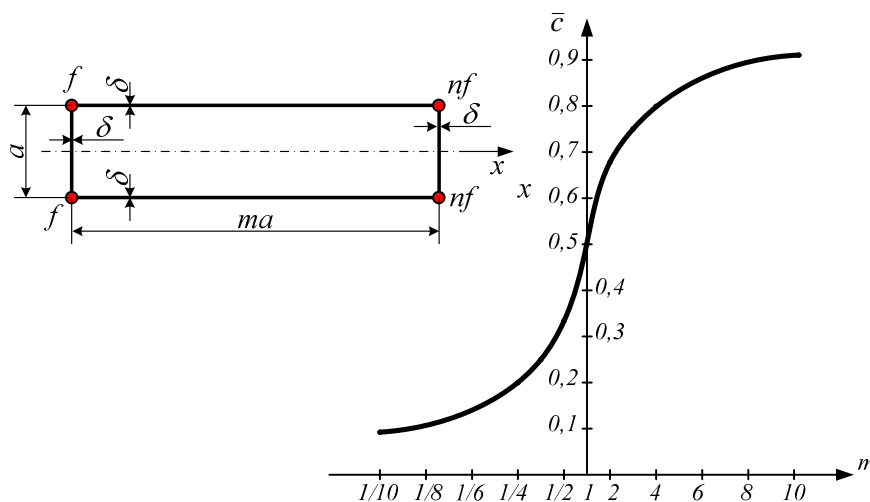


Рис. 3. Зависимость предельных положений ЦЖ $\bar{c}(m)$ ($n \rightarrow \infty$)

В сечении рассмотренного типа очевидна тенденция: стремление предельного положения ЦЖ к правой стенке при $m > 1$ (от $\bar{c}(1) = 0,5$ до $\bar{c}(10) = 0,9091$). При $m = 1$ и любом значении n $\bar{c}(1) = 0,5$. Если $\frac{1}{m} > 1$, то ЦЖ стремится к левой стенке.

При постоянной по контуру толщине стенки установлено влияние соотношений площадей (жесткостей), находящихся в сечении справа и слева в реальном диапазоне изменения параметров n и m ($0.2 \leq n \leq 5$; $2 \leq m \leq 10$), на положение центра жесткости – величину $\bar{c} = c / ma$. Результаты показаны на рис. 4, где дополнительно различными линиями изображены конфигурации поперечных сечений разных удлинений.

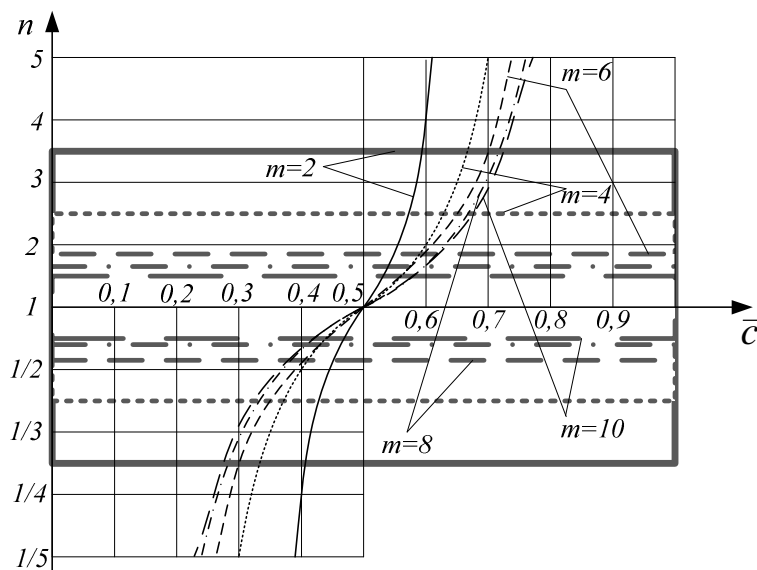


Рис. 4. Зависимость положений ЦЖ \bar{c} от параметра n при $k = \ell = 1$

Показанные на рис. 4 зависимости $\bar{c}(n)$ – нелинейные, причем при фиксированных m значения $\bar{c}(5)$ составили 91,5...85,0 % от предельных величин \bar{c} .

В целях выяснения влияния на положение ЦЖ толщины верхней и нижней обшивок (параметр k) при зафиксированном соотношении сторон сечения $m = \ell = 1$ рассматривалось смещение ЦЖ при изменении n для различных значений k .

Выявлено, что при увеличении n ($n > 1$) для различных k смещение ЦЖ может быть в сторону как больших сосредоточенных площадей $k < m$, так и меньших $k > m$, а может сохранять неизменное положение при $k = m$. Выяснено также, что упомянутые выше предельные положения ЦЖ ($n \rightarrow \infty$) наблюдаются и в этом случае. При очень тонких стенках сечения $k \ll 1$ и $n \rightarrow \infty$ ЦЖ расположится практически на стенке между большими сосредоточенными площадями.

Для конкретного сечения ($m = 4$ и $\ell = 1$) это проиллюстрировано кривыми, каждая из которых получена при определенном значении k и отображает зависимость $\bar{c}(n)$ (рис. 5).

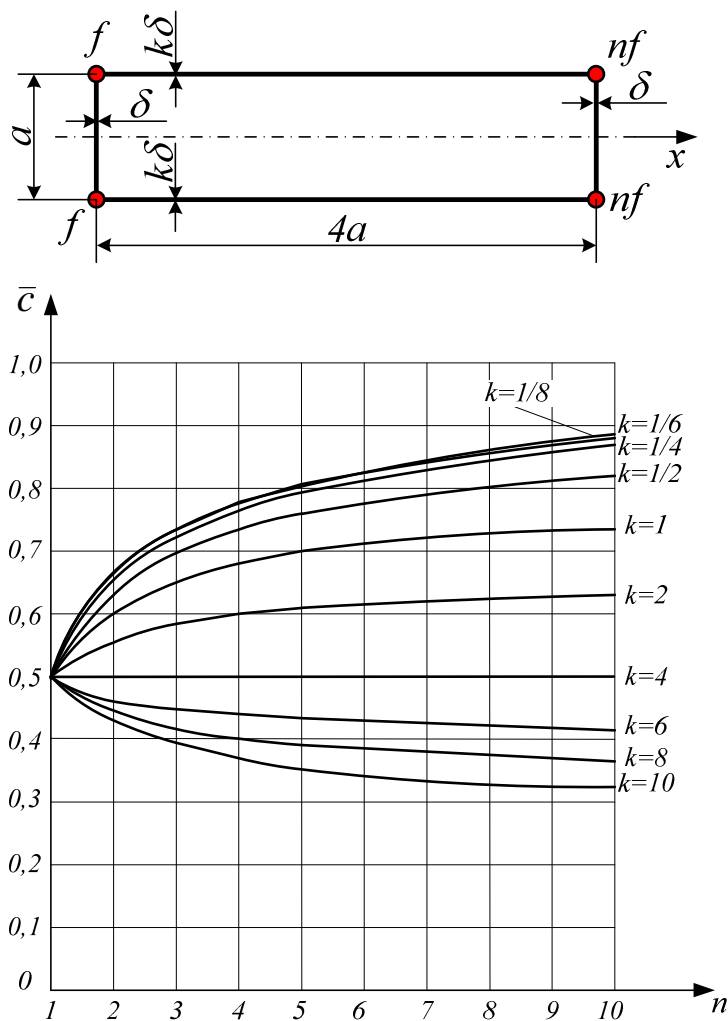


Рис. 5. Зависимость положений ЦЖ \bar{c} от параметра n при различных k для сечения $m = 4$ и $\ell = 1$

Проанализировано влияние соотношения толщин вертикальных стенок сечения (параметр ℓ). Установлено, что если контуры имеют три стенки одинаковой толщины, то ЦЖ перемещается к четвертой стенке с большей толщиной. Если четвертая стенка значительно (на порядок) тоньше трех остальных, то ЦЖ может оказаться вне контура. Вероятно, в случае столь тонкой стенки контур становится «квазиоткрытым» и ЦЖ расположится, как и центр изгиба открытого контура, вне его.

На рис. 6 для конкретного сечения показано поведение зависимостей $\bar{c}(\ell)$, представленных кривыми, которые соответствуют нескольким значениям n . Увеличение толщины стенки приводит к смещению к ней ЦЖ. Причем, как демонстрируют графики, величина смещения при увеличении толщины стенки в пять раз сопоставима с аналогичной от двукратного роста площади поясов на краях этой стенки.

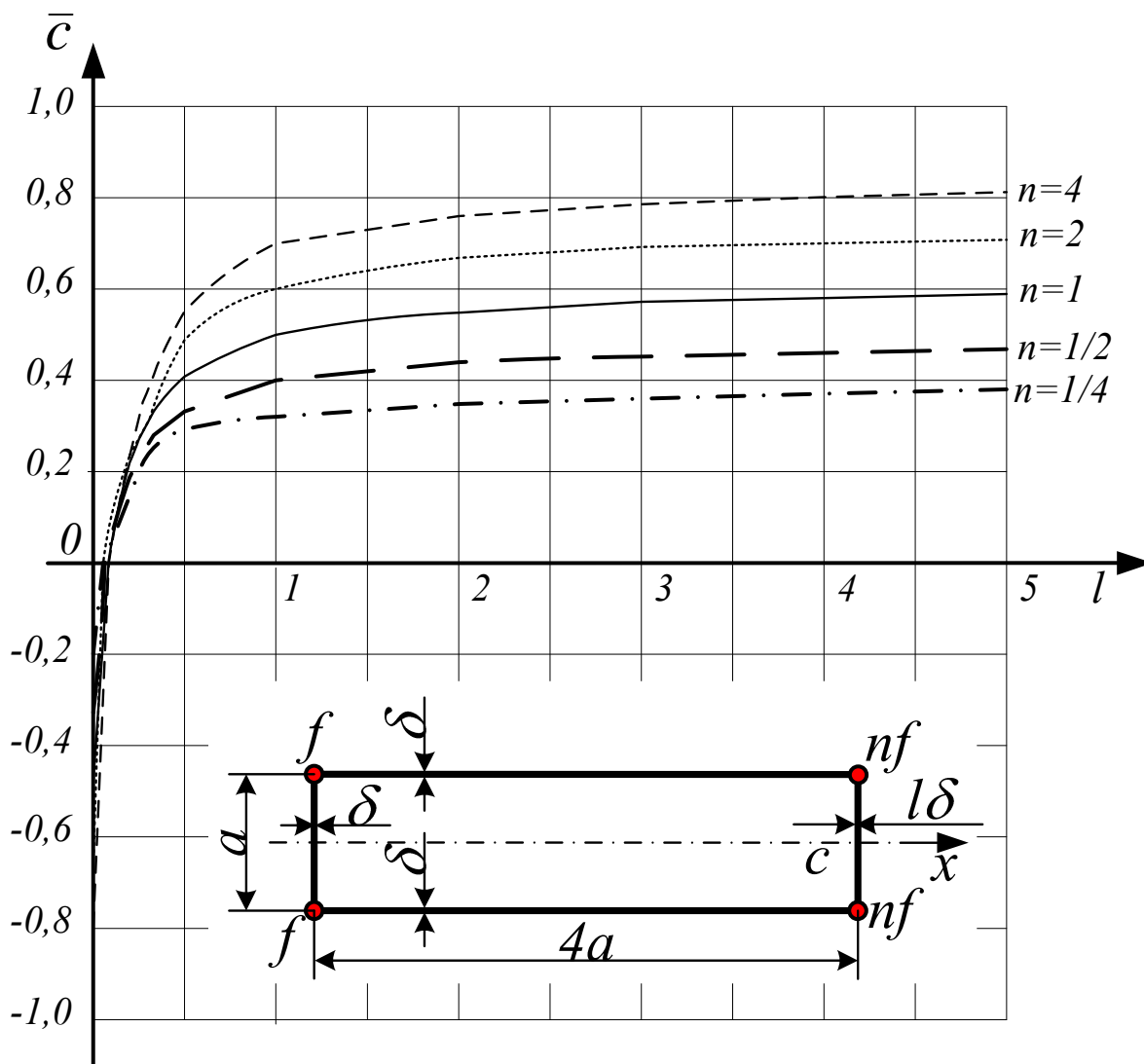


Рис. 6. Зависимость положений ЦЖ \bar{c} от параметра ℓ при $k = 1$ и $m = 4$

Результаты проведенных исследований могут быть использованы на стадии эскизного проектирования для оптимального распределения материала в поперечном сечении в целях получения конструкции минимального веса.

Список литературы

1. Уманский, А. А. Строительная механика самолета [Текст] / А. А. Уманский. – М. : Оборонгиз, 1961. – 530 с.
2. Итоги науки и техники [Текст]: / Сер. Авиастроение. – Т. 9 : Самолетостроение за рубежом. – М. : ВИНТИ, 1986. – 268 с.
3. Кривцов, В. С. Основы аэрокосмической техники [Текст] : учебник для высш. учеб. заведений (направление «Авиация и космонавтика») / В. С. Кривцов, Я. С. Карпов, М. Н. Федотов.– Харьков. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьков. авиац. ин-т», 2003. — Ч. 1. – 620 с.

Поступила в редакцию 24.02.2017

Дослідження положення центру жорсткості в однозамкненому прямокутному перерізі тонкостінного стрижня

Запропоновано формулу для визначення положення центру жорсткості в поперечному перерізі тонкостінного стрижня прямокутної форми з чотирма зосередженими площами, розташованими в кутах. Проведено розрахунки впливу параметрів перерізу на положення центру жорсткості.

Ключові слова: центр жорсткості, тонкостінний стрижень з однозамкненим перерізом, модель Вагнера.

Study of Position of Center of Rigidity in Single-closed Rectangular Section Thin-walled Rod

A formula is proposed for determining the position of the center of stiffness in the cross section of a thin-walled rod of rectangular shape with four lumped areas located in the corners. The effect of the cross section parameters on the position of the center of stiffness is calculated.

Key words: center of stiffness, thin-walled rod with single-clamped section, Wagner model.

Сведения об авторах:

Дибир Александр Геннадиевич – канд. техн. наук, доцент, доцент, каф. 102 «Прочности летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Кирпикин Анатолий Алексеевич – канд. техн. наук, доцент, доцент, каф. 102 «Прочности летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Пекельный Николай Николаевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент, каф. 102 «Прочности летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.