

## МЕТОДИКА АПРИОРНОЙ ОЦЕНКИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ЛОНЖЕРОННОГО КРЫЛА, ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ЛОНЖЕРОНОВ И ФОРМЫ ИХ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Преимущество того или иного типа конструкции крыла зависит от целого ряда факторов, главными из которых являются: уровень действующих нагрузок, строительная высота профиля, ограничения на минимальные толщины конструктивных элементов. Как правило, установление рациональности той или иной конструктивно-силовой схемы производят после выполнения трудоемких проектировочных расчетов вероятных типов крыла. Лонжеронная конструктивно-силовая схема рациональна по массе лишь в определенном диапазоне строительных высот крыла, поэтому задача определения такого диапазона, а также вероятного количества и формы поперечного сечения лонжеронов является актуальной.

В работе [1] приведен приближенный сравнительный анализ крыльев различных конструктивно-силовых схем, однако в ней отсутствуют методики, позволяющие конструктору оперативно принять решение о рациональности лонжеронного крыла и его топологии. Целью данной работы является создание такого алгоритма.

Рассмотрим влияние относительной толщины поясов лонжерона  $\bar{\delta}_л = 2\delta_л / H$  на эффективность работы материала лонжерона таврового сечения высотой  $H$  с толщиной и шириной поясов, равными соответственно  $\delta_л$  и  $B_л$ .

На рис. 1 показано изменение относительной толщины поясов лонжерона в зависимости от относительного момента инерции (отношения момента инерции лонжерона к моменту инерции прямоугольного сечения с шириной  $B_л$  и высотой  $H$ )  $\bar{I}_л = \frac{12I_л}{B_лH^3}$ , где  $I_л$

– момент инерции лонжерона (при малых строительных высотах крыла необходимо помимо переносного учитывать и собственный момент инерции поясов [1]). Изображенная зависимость описывается формулой

$$\bar{\delta}_л = 1 - \left(1 - \bar{I}_л\right)^{\frac{1}{3}}$$
. Из графика видно, что по мере увеличения  $\bar{I}_л$  для получения одинаковых приращений относительного момента инерции необходимо все более значительно наращивать площадь сечения лонжеронов.

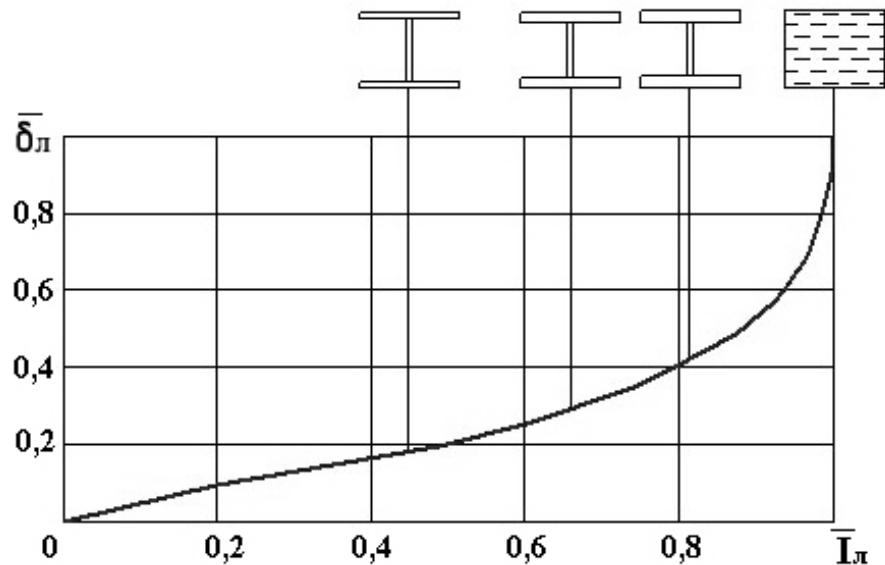


Рисунок 1 – Зависимость относительной толщины поясов лонжерона от относительного момента инерции лонжерона

Эффективность работы материала поясов лонжерона можно оценить производной

$$\frac{\partial \bar{\delta}_л}{\partial \bar{I}_л} = \frac{1}{3 \cdot \sqrt[3]{(1 - \bar{I}_л)^2}}$$

Чем больше производная, тем менее эффективно работает материал поясов лонжерона. В качестве границы заведомо нерационального использования материала лонжеронов можно принять

точку, в которой  $\frac{\partial \bar{\delta}_л}{\partial \bar{I}_л} = 1$ . Это условие соответствует  $\bar{\delta}_л = 0,43$ .

Следовательно, лонжеронную схему можно реализовывать, если требуемые толщины лонжеронов будут не более 20...22% от высоты профиля крыла.

В работе [1] приведен сравнительный анализ моноблочных и лонжеронных крыльев с учетом критических напряжений потери устойчивости. Результаты этого анализа показывают, что лонжеронная конструкция оптимальна по массе, если требуемые толщины лонжеронов будут не более 0,1Н.

Суть предлагаемой методики заключается в следующем. Рассматривается лонжерон швеллерного сечения высотой, равной средней высоте профиля Н, с поясами, имеющими максимально допустимую ширину В1 и толщину, равную либо 0,1Н (при оптимальной конструкции лонжеронного крыла), либо 0,2Н (при предельно допустимой конструкции лонжеронного крыла).

Максимальный изгибающий момент, который может воспринять лонжерон, определяется формулой

$$M_{max} = \sigma_{кр} \cdot W,$$

где  $\sigma_{кр}$  – критические напряжения местной потери устойчивости пояса;

$W$  – момент сопротивления сечения лонжерона.

Очевидно, что лонжерон таврового сечения с поясами, имеющими ту же толщину и ширину, равную  $2B_1$ , сможет воспринять в два раза больший момент. Если расчетный момент в сечении крыла равен  $M$ , то предполагаемое количество лонжеронов можно определить как  $M/M_{max}$

На рис. 2 и 3 показаны зависимости  $M_{max}$  от строительной высоты крыла и допустимой ширины полки лонжерона швеллерного сечения  $B_1$  с толщиной поясов, равной  $0,1H$ , для двух материалов Д16 ( $\sigma_b=450$  МПа,  $E=72000$  МПа) и ВТ14 ( $\sigma_b=1000$  МПа,  $E=125000$  МПа).

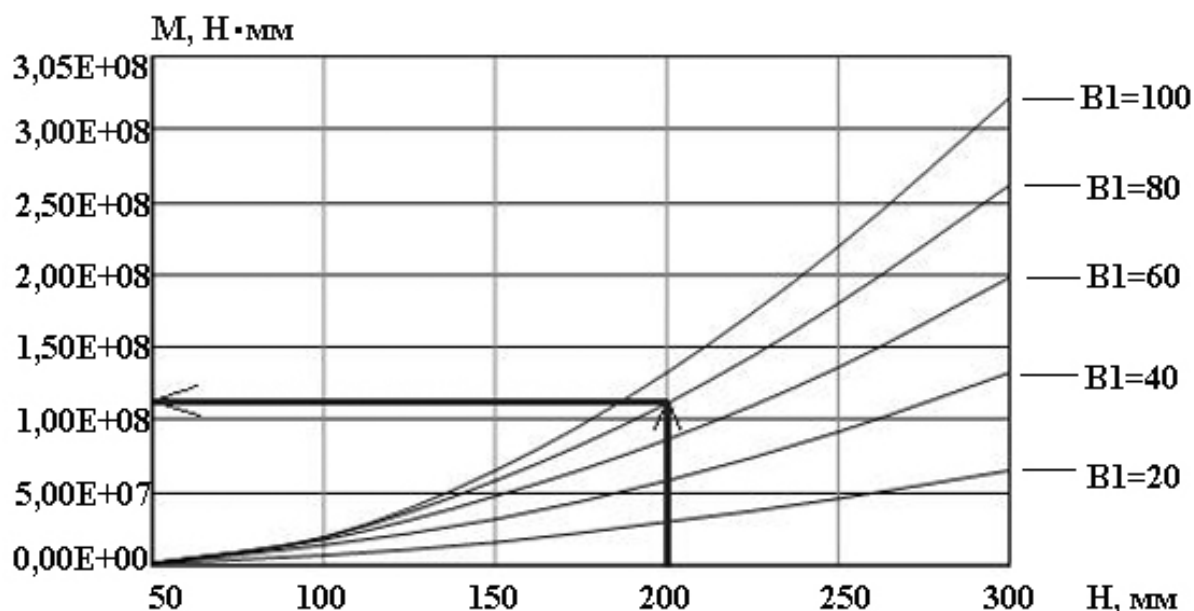


Рисунок 2 – Максимальные изгибающие моменты, воспринимаемые лонжероном, изготовленным из материала Д16, с толщиной поясов, равной  $0,1H$

Анализ результатов расчетов показал, что при малых высотах лонжерона увеличение ширины его пояса приводит не к увеличению воспринимаемого им изгибающего момента, а к уменьшению. Это связано с тем, что при малых высотах малыми являются и допустимые толщины поясов. Следовательно, при увеличении ширины пояса резко падают его критические напряжения. Причем, градиент падения напряжений гораздо выше, чем градиент увеличения момента сопротивления, что и приводит к уменьшению несущей способности лонжерона.

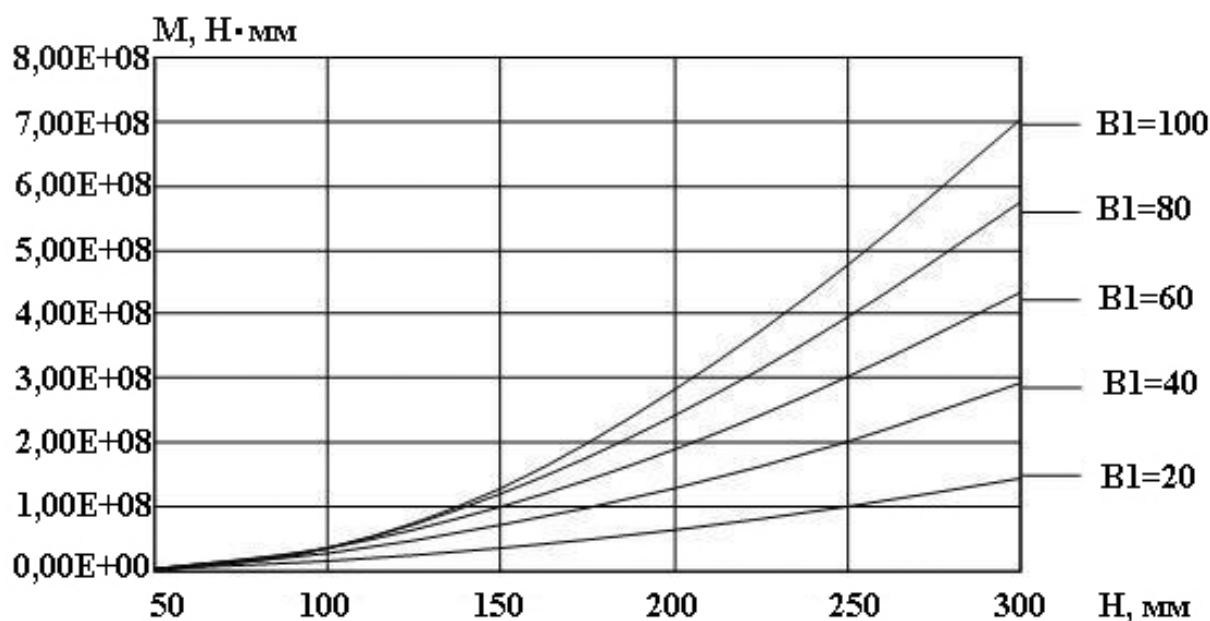


Рисунок 3 – Максимальные изгибающие моменты, воспринимаемые лонжероном, изготовленным из материала ВТ14, с толщиной поясов, равной 0,1H

Для предельно допустимой конструкции лонжеронного крыла зависимость  $M_{\max}=f(H, B1)$  показана на рис. 4 и 5.

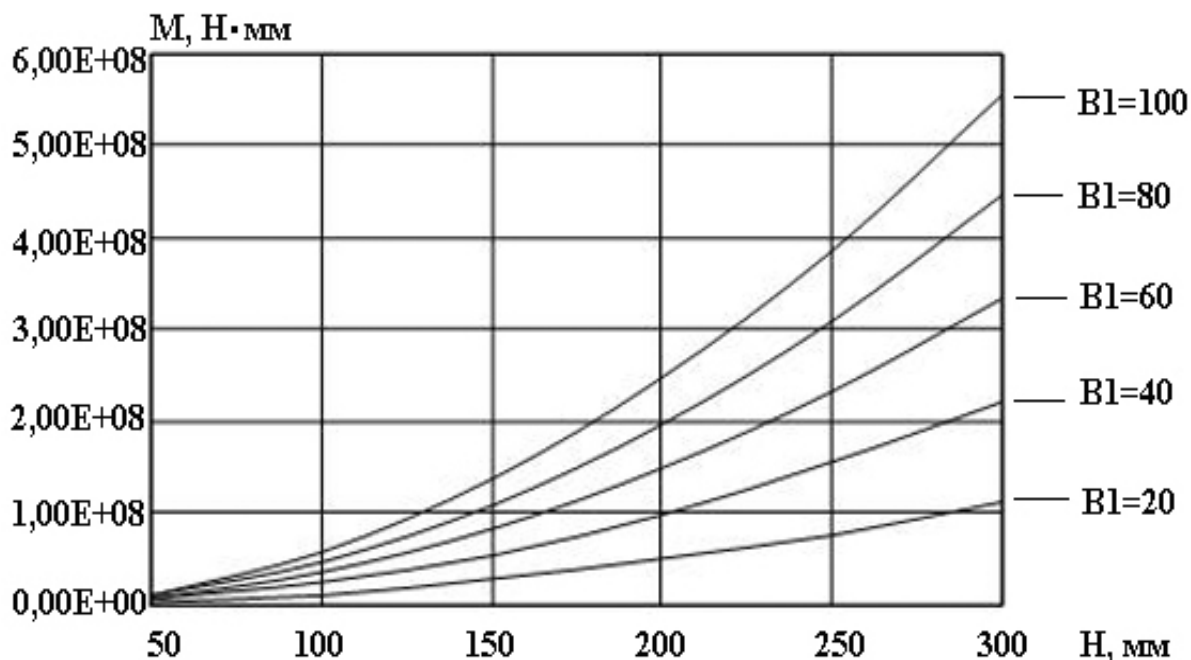


Рисунок 4 – Максимальные изгибающие моменты, воспринимаемые лонжероном, изготовленным из материала Д16, с толщиной поясов, равной 0,2H

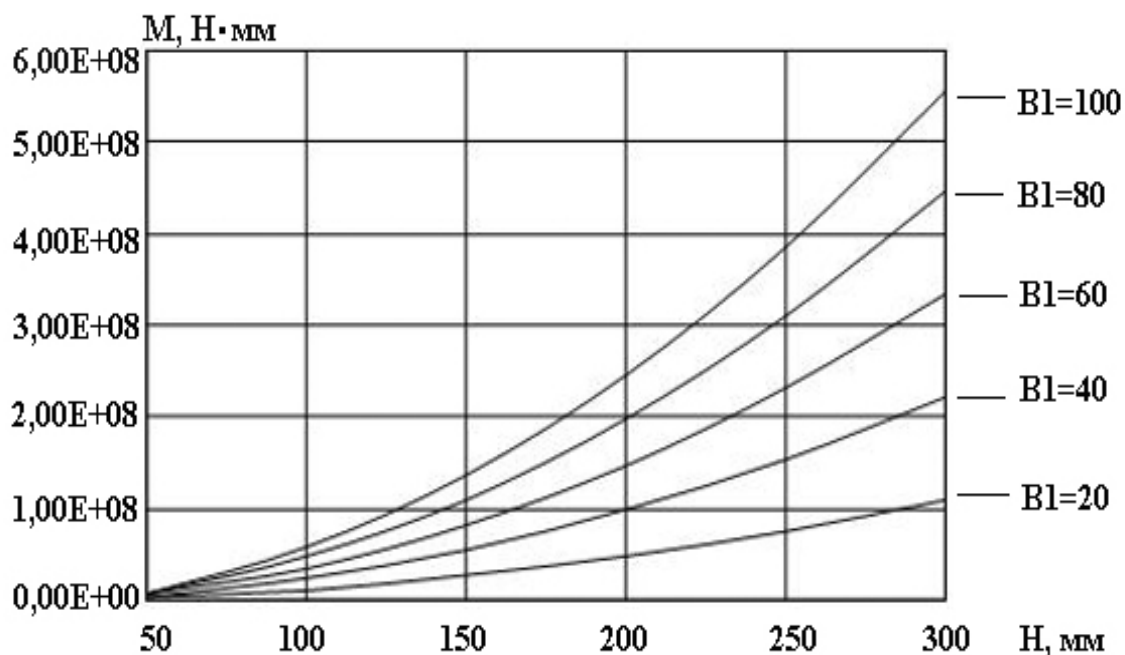


Рисунок 5 – Максимальные изгибающие моменты, воспринимаемые лонжероном, изготовленным из материала ВТ14, с толщиной поясов, равной  $0,2H$

Имея графики, подобные рассмотренным выше, для всего спектра применяемых конструкционных материалов, конструктор может оперативно предсказать требуемое количество и форму сечения лонжеронов, необходимых для восприятия заданного момента.

Рассмотрим пример использования разработанной методики.

Пусть в бортовом сечении крыла расчетный изгибающий момент  $M$  равен  $2 \cdot 10^8$  Н·мм, средняя строительная высота крыла – 200 мм, материал поясов лонжерона – Д16.

По графику, изображенному на рис. 2, находим максимальный момент, который может воспринять лонжерон швеллерного сечения при  $B1 = 80$  мм. Этот момент  $M_{\max} = 1,13 \cdot 10^8$  Н·мм. Тогда: для швеллерного лонжерона  $M/M_{\max} \approx 2$ ; для таврового лонжерона  $M/(2M_{\max}) \approx 1$ .

Следовательно, для данного крыла лонжеронная схема будет оптимальной при установке двух лонжеронов швеллерного сечения, либо одного лонжерона таврового сечения.

#### Список использованных источников

1. Голубев И.С. Проектирование конструкций летательных аппаратов /И.С. Голубев, А.В. Самарин. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.

*Поступила в редакцию 05.03.2009 г.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. А. Бычков,  
АНТК «Антонов», г. Киев*