

УДК 629.7.01

## РАЗРАБОТКА СИЛОВОЙ СХЕМЫ ШПАНГОУТА ФЮЗЕЛЯЖА В ЗОНЕ СТЫКА С КРЫЛОМ

Шилимов К. Г., Болдырев А. В.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Возможности по размещению силовых элементов центроплана в фюзеляже определяются ограничениями компоновки. Большинство современных пассажирских магистральных самолётов выполняются по схеме низкоплан. Геометрическим ограничением выше зоны центроплана в этом случае служит расположение пола пассажирского салона, а ниже – аэродинамические обводы фюзеляжа. «Традиционное» техническое решение центроплана с параллельными поясами лонжеронов и стрингерами обеспечивает передачу внутренних усилий в центроплане по кратчайшему пути. В то же время возможны варианты силовой схемы с более длинными элементами, но с меньшими внутренними усилиями в них, что приводит к снижению массы конструкции. Такая возможность демонстрируется в работе [1] на примере исследования весовой эффективности конструкций силовых шпангоутов.

В настоящей работе рассматривается типовая зона стыка силового шпангоута фюзеляжа с задним лонжероном крыла среднемагистрального пассажирского самолёта (рисунок 1). Радиус шпангоута составляет 2 100 мм, строительная высота в верхней части –  $0,1 \cdot R$ . Шпангоут нагружается силами  $P = 120$  кН, создающими изгибающий момент от лонжеронов консолей крыла. Область, которая может быть использована для размещения элементов конструкции, обозначена на рисунке 1 штриховкой. Пунктирными линиями схематично изображено расположение лонжерона центроплана с параллельными поясами, соответствующее «традиционному» техническому решению. Требуется найти рациональную силовую конструкцию.

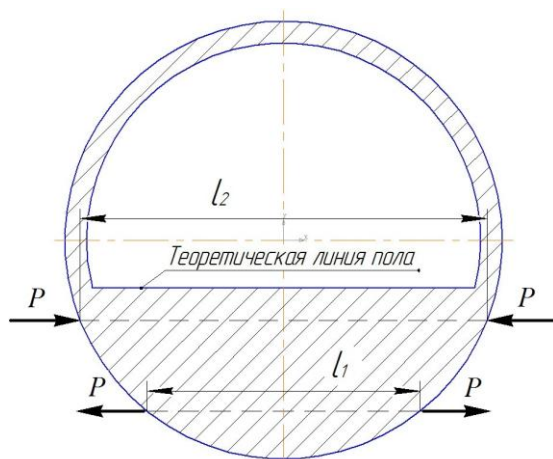


Рис. 1. Схема объекта проектирования

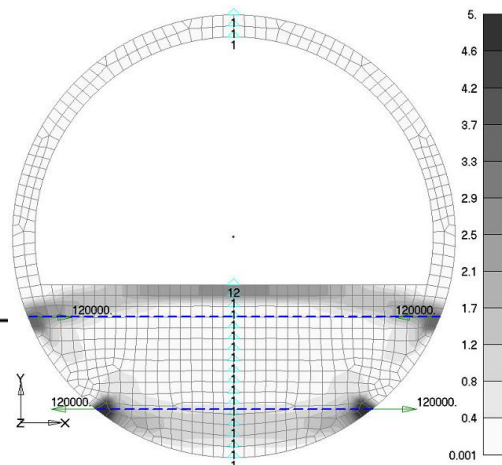


Рис. 2. Распределение толщин в теоретически оптимальной конструкции, мм

Для поиска наилучшей силовой схемы конструкции используется подход, предложенный в работе [2]. Суть данного метода применительно к решаемой задаче заключается в следующем. В заданную геометрическую область вписывается непрерывная упругая среда, называемая континуальной моделью. Для плоских конструкций в качестве континуальной модели используется мембранная изотропная пластина. Выполняется оптимизация распределения материала в этой модели

по условиям прочности и в результате находится теоретически оптимальная конструкция (ТОК), принимаемая далее за «идеал». На основе картин распределения потоков главных усилий [2] анализируются основные пути передачи сил в ТОК и предлагаются варианты силовой схемы конструкции. Затем разрабатываются конечно-элементные модели этих вариантов. С использованием критерия «силового фактора»  $G$  [2], который характеризует величину внутренних усилий в конструкции и протяжённость их действия, оценивается весовая эффективность предложенных вариантов и сравнивается с ТОК.

Континуальная модель проектируемого шпангоута разработана в программном пакете *Femap with NX Nastran* [3]. В результате оптимизации получена пластина переменной толщины, показанная на рисунке 2. Траектории наибольших толщин в ТОК отклоняются от горизонтальных прямых линий, соединяющих точки приложения сил. Такое техническое решение не соответствует традиционной конструкции лонжерона с параллельными поясами.

Проведена оценка весовой эффективности ТОК с использованием специальной подпрограммы  $G\_factor$  [4]:

$$G_{\text{ТОК}} = 7,3228 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Силовой фактор для лонжерона с параллельными поясами определён по выражению [1]:

$$G_{\text{тр}} = P \cdot l_1 + P \cdot l_2 = 120000 \cdot 2620 + 120000 \cdot 3910 = 7,8370 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где  $l_1, l_2$  – длина нижнего и верхнего поясов лонжерона центроплана.

Выполнено сравнение ТОК и лонжерона с параллельными поясами по значению силового фактора:

$$\Delta G = \frac{G_{\text{тр}} - G_{\text{ТОК}}}{G_{\text{тр}}} = \frac{7,8370 \cdot 10^8 - 7,3228 \cdot 10^8}{7,8370 \cdot 10^8} \cdot 100\% \approx 6,6 \%.$$

Таким образом, преимущество силовой схемы с криволинейными поясами лонжерона по сравнению с «традиционным» техническим решением составляет приблизительно 7%. Отсюда следует предположение о целесообразности модификации силовой схемы всего центроплана.

#### Библиографический список

1. Одинцова, С.А. Исследование безразмерного критерия оценки весовой эффективности конструкций силовых шпангоутов [Текст] / С.А. Одинцова // Труды МАИ. – 2016. – № 85. С. 4-21.
2. Комаров, В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций [Текст] / В.А. Комаров // Актуальные проблемы авиационной науки и техники. – М.: Машиностроение, 1984. – С. 114-129.
3. Рычков, С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran [Текст] / С.П. Рычков – М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ "G\_FACTOR" №2011616575 от 23.08.2011 [Текст] / В.А. Комаров, А.В. Болдырев, А.С. Кузнецов.