

УДК 629.735.33.025.1

Ф.М. ГАГАУЗ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЧЕНИЯ КРЫЛА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложена методика рационального проектирования силовых элементов поперечного сечения многолонжеронного крыла. Разработанный алгоритм может использоваться при выборе рациональных конструктивно-силовых схем композитных крыльев большого удлинения. Приведены результаты численных исследований.

композиционный материал (КМ), сечение, силовой элемент, распределение

Введение

Использование КМ в конструкциях летательных аппаратов приводит к увеличению числа параметров, варьированием которых можно влиять на целевую функцию. Например, уменьшение массы конструкции крыла может быть достигнуто как в результате оптимального распределения материала, так и оптимальным проектированием структуры КМ, выбором рационального конструктивного типа панелей (гладкие, трехслойные, вафельные) и т.п.

В настоящее время основные задачи оптимального проектирования изделий из КМ решены для сравнительно простых конструкций типа панелей, баллонов давления, оболочек вращения и т.д. В данной статье рассматривается использование итерационного алгоритма [1] в процессе определения рационального распределения материала по сечению многолонжеронного крыла из КМ.

Решение задачи

В основе решения задачи лежит выбор закона распределения материала по полкам лонжеронов [1, 2]. В качестве возможных допущений о распределении материала по лонжеронам рассматриваются следующие зависимости:

– распределение изгибающего момента M_x пропорционально высотам лонжеронов, в соответствии

с которым площади полок определяются по следующим формулам:

$$f_{ei} = \frac{M_x H_i^{k-1}}{E_{ei} \varepsilon_{ei} \sum_{i=1}^n H_i^k}; \quad f_{ni} = \frac{M_x H_i^{k-1}}{E_{ni} \varepsilon_{ni} \sum_{i=1}^n H_i^k}; \quad (1)$$

– распределение площадей полок лонжеронов пропорционально их координатам в центральных осях (рис. 1):

$$f_{ei} = f_{e1} \left(\frac{y_{ei} - y_0}{y_{e1} - y_0} \right)^k; \quad f_{ni} = f_{n1} \left(\frac{y_{ni} - y_0}{y_{n1} - y_0} \right)^k; \quad (2)$$

– синусоидальный закон распределения площадей полок по хорде [2]:

$$f_{ei} = A_e \left(\sin \frac{\pi y_{ei}}{2Y_e} \right)^{k_e}; \quad f_{ni} = A_n \left(\sin \frac{\pi y_{ni}}{2Y_n} \right)^{k_n}. \quad (3)$$

Коэффициенты k , Y_e , Y_n , k_e , k_n в формулах (1)–(3) являются оптимизируемыми параметрами задачи. Площади f_{e1} , f_{n1} , A_e , A_n являются искомыми параметрами и определяются из уравнений равновесия по методике [1] по заданным предельным деформациям ε_{ei} , ε_{ni} и с учетом работы обшивки на изгиб.

Поиск рациональных значений параметров распределений осуществляется методом последовательного перебора, при этом на каждом этапе проводится проектировочный расчет элементов сечения по методике [1].

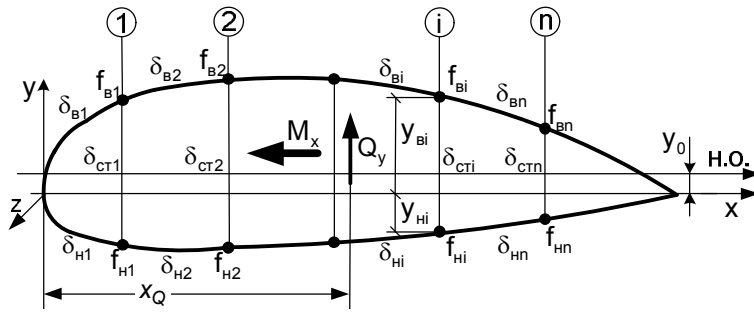


Рис. 1. Сечение многолонжеронного крыла

В качестве примера рассмотрим проектирование силовых элементов поперечного сечения трехлонжеронного крыла (рис. 2) из углепластика со следующими физико-механическими характеристиками:

$$E_1 = 100 \text{ ГПа}; E_2 = 10 \text{ ГПа}; G_{12} = 6 \text{ ГПа}; \mu_{12} = 0,35;$$

$$F_{1p} = 900 \text{ МПа}; F_{1c} = 700 \text{ МПа}; F_{2p} = 50 \text{ МПа};$$

$$F_{2c} = 120 \text{ МПа}; F_{12} = 75 \text{ МПа}; \delta_0 = 0,08 \text{ мм}.$$

Предполагается, что толщина и угол армирования КМ в пределах какой-либо панели обшивки или стенки лонжерона постоянна. Физико-механические

характеристики панелей определялись для пакета слоев с углами армирования $\pm 45^\circ$.

Проектирование сечения проводилось по двум расчетным случаям, характеризуемым:

– изгибающими моментами:

$$M_x^{(1)} = -180 \text{ кНм}, M_x^{(2)} = 150 \text{ кНм};$$

– перерезывающими силами:

$$Q_y^{(1)} = 240 \text{ кН}, Q_y^{(2)} = -240 \text{ кН};$$

– точками приложения перерезывающих сил:

$$x_Q^{(1)} = 0,5 \text{ м}, x_Q^{(2)} = 0,6 \text{ м}.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 1 – 3.

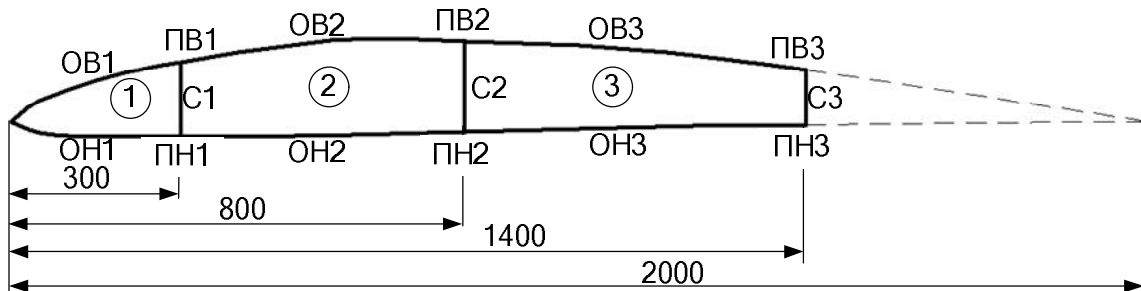


Рис. 2. Положение лонжеронов по сечению крыла

Таблица 1

Рациональные параметры силовых элементов при допущении (1), $k = 17,8$

Силовой элемент	Номер контура									Суммарная площадь, мм ²
	i = 1			i = 2			i = 3			
Полки	Номер полки									2880
	ПВ1	ПН1	ПВ2	ПН2	ПВ3	ПН3				
	Площадь полок, мм ²									
	248	1296	8	152	1168	8				8798
Обшивка и стенки	Номер панели									
	ОВ1	ОН1	С1	ОВ2	ОН2	С2	ОВ3	ОН3	С3	
	Толщина панелей, мм									
	0,64	0,64	3,84	3,84	3,84	0,16	0,80	0,96	0,80	

Таблица 2

Рациональные параметры силовых элементов при допущении (2), $k = 2,8$

Силовой элемент	Номер контура									Суммарная площадь, мм ²	
	$i = 1$			$i = 2$			$i = 3$				
Полки	Номер полки									2760	8741
	ПВ1	ПН1	ПВ2	ПН2	ПВ3	ПН3	Площадь полок, мм ²				
	272	1264	88	504	384	248					
Обшивка и стенки	Номер панели									5981	
	ОВ1	ОН1	С1	ОВ2	ОН2	С2	ОВ3	ОН3	С3		
	Толщина панелей, мм										
	0,80	0,80	3,68	3,84	3,04	0,16	0,80	1,60	0,80		

Таблица 3

Рациональные параметры силовых элементов при допущении (3), $Y_e=1,1y_{e2}$; $Y_n=0,6y_{n1}$; $k_e=19,5$; $k_n=1$

Силовой элемент	Номер контура									Суммарная площадь, мм ²	
	$i = 1$			$i = 2$			$i = 3$				
Полки	Номер полки									2616	8544
	ПВ1	ПН1	ПВ2	ПН2	ПВ3	ПН3	Площадь полок, мм ²				
	144	1320	24	352	544	232					
Обшивка и стенки	Номер панели									5928	
	ОВ1	ОН1	С1	ОВ2	ОН2	С2	ОВ3	ОН3	С3		
	Толщина панелей, мм										
	0,80	0,80	3,52	3,84	3,20	0,16	0,80	1,44	0,64		

Заключение

По результатам расчетов видно, что все три допущения приводят практически к одинаковой суммарной площади силовых элементов (отличие составляет 1...3%). Существенные различия наблюдаются в характере распределения материала по полкам лонжеронов. Для допущения (1) характерна концентрация основного материала по полкам лонжерона с максимальной строительной высотой. При использовании предположения (2) наибольшие площади полок в рациональной конструкции наблюдаются для второй верхней и первой нижней полок лонжеронов, что связано с несимметричностью профиля. В целом, распределение (3) приводит к меньшей площади сечения, поэтому может использоваться в качестве оптимального решения задачи.

Литература

1. Гагауз Ф.М. Итерационный метод проектирования сечения крыла большого удлинения из композиционных материалов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. трудов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – Вып. 1 (44) – С. 109-113.

2. Гагауз Ф.М. Проектирование многолонжеронного крыла из композиционных материалов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 2 (18). – С. 28-32.

Поступила в редакцию 13.03.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Я.С. Карпов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.