

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИТНОЙ БАЛКИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

Для анализа и проверки предложенных методик [1 – 3] проектирования лонжерона были проведены экспериментальные исследования, которые включают в себя:

- совместное проектирование оптимальных по массе лонжеронов по несущей способности и жесткости;
- изготовление образцов;
- исследования образцов на прогиб;
- исследование образцов на потерю несущей способности (разрушение материала полок, стенки или их соединения, потеря устойчивости полок или стенки).

Крепление лонжерона выбрано шарнирное на двух опорах, что легко реализовать экспериментально. Нагрузка прикладывается посередине между опорами (рис. 1).

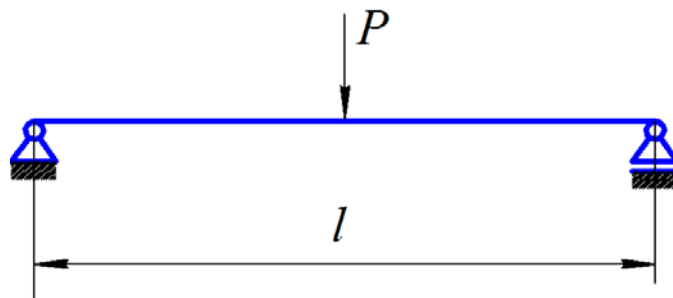


Рисунок 1 – Схема нагружения балки

Образцы были изготовлены из углепластика, полки – из однонаправленного с продольной укладкой слоев, а стенки – из тканого с укладкой  $[\pm 45^\circ]$ , физико-механические характеристики которых представлены в табл. 1. Метод изготовления образцов – в жестких формах с предварительным формованием полок. Для склеивания полок со стенкой использовался клей ВК-9, предельная прочность на сдвиг которого  $F_k = 20$  МПа.

Таблица 1 – ФМХ материала полок и стенки образцов

Материал	Свойства материала										
	$E_1$ , ГПа	$E_2$ , ГПа	$G_{12}$ , ГПа	$\mu_{12}$	$F_{1p}$ , МПа	$F_{2p}$ , МПа	$F_{1c}$ , МПа	$F_{2c}$ , МПа	$F_{12}$ , МПа	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\delta_0$ , мм
Полка	247,5	10,3	5,1	0,30	2145	51	1980	128	50	1400	0,119
Стенка	115,8	83,4	8,3	0,28	772	556	772	556	50	1320	0,118

Согласно методике проектирования лонжерона [1 – 3] было спроектировано три лонжерона в соответствии с разными значениями нагрузки  $P$  ( $P_1 = 30$  кН,  $P_2 = 20$  кН,  $P_3 = 10$  кН). Геометрические параметры спроектированных образцов приведены в табл. 2. Полученные коэффициенты запаса прочности элементов лонжерона представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Геометрические параметры образцов

Параметры образцов	Нагрузка $P$ , кН		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
	30	20	10
Толщина полки верхней $\delta_{в}$ , мм	5,28	3,44	2,0
Толщина полки верхней $\delta_{н}$ , мм	6,72	4,88	4,08
Ширина полок $b$ , мм	50	50	50
Толщина стенки $\delta_{ст}$ , мм	9,8	7,0	5
Высота $H$ , мм	70	70	60
Длина $l$ , мм	500	500	500

Таблица 3 – Коэффициенты запаса прочности для образцов

Условие	Коэффициент	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Прочность верхней полки	$k_{прв} = \frac{F_p}{\sigma_{пв}}$	1,014	1,019	1,025
Прочность нижней полки	$k_{прн} = \frac{F_c}{\sigma_{пн}}$	<b>1,004</b>	1,124	1,627
Прочность стенки	$k_{прст} = \frac{F_{\pm 45}}{\tau_{ст}}$	1,045	1,152	1,196
Прочность соединения полки-стенки	$k_c = \frac{F_k}{\tau_c}$	3,2	4,938	8,544
Прочность верхней полки на сдвиг	$k_{сдв} = \frac{F_{12}}{\tau_{вп}}$	1,954	1,82	1,82
Прочность нижней полки на сдвиг	$k_{сдн} = \frac{F_{12}}{\tau_{вн}}$	2,069	1,958	1,958
Устойчивость сжатой нижней полки	$k_{устн} = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{вн}}$	1,693	<b>1,0003</b>	<b>1,011</b>
Устойчивость стенки на сдвиг	$k_{устст} = \frac{\tau_{кр}}{\tau_{ст}}$	15,214	8,597	3,731
Прогиб	$k_w = \frac{w_0}{w}$	1,032	1,05	1,045

По полученным размерам были изготовлены образцы лонжеронов (рис. 2).



Рисунок 2 – Образцы для испытаний

Крепление и нагружение образцов проводилось на испытательной машине ZD10/90. Диаграммы зависимостей нагрузки от прогиба показаны на рис. 3. Характер разрушения образцов и разрушающие нагрузки приведены в табл. 4 и на рис. 4.

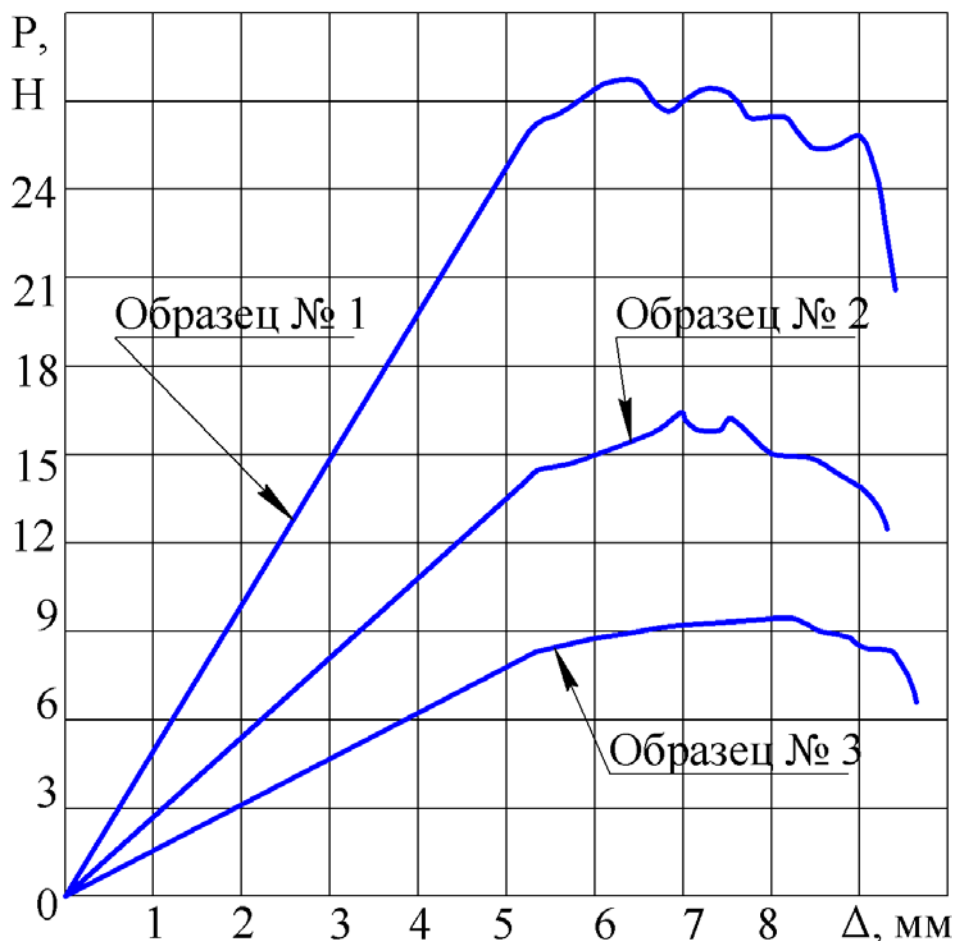


Рисунок 3 – Диаграммы зависимости нагрузки от перемещения образцов

Таблица 4 – Значения разрушающей нагрузки образцов

Параметры	Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3	
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение	Теоретическое значение	Экспериментальное значение	Теоретическое значение	Экспериментальное значение
Нагрузка $P$ , кН	30	27,725	20	16,460	10	9,486
Вид разрушения	Разрушение нижней полки от сжатия	Разрушение стенки в зоне перехода к заплечик	Потеря устойчивости нижней полки	Разрушение стенки в зоне перехода к заплечик	Потеря устойчивости нижней полки	Отрыв полки после потери устойчивости нижней полки

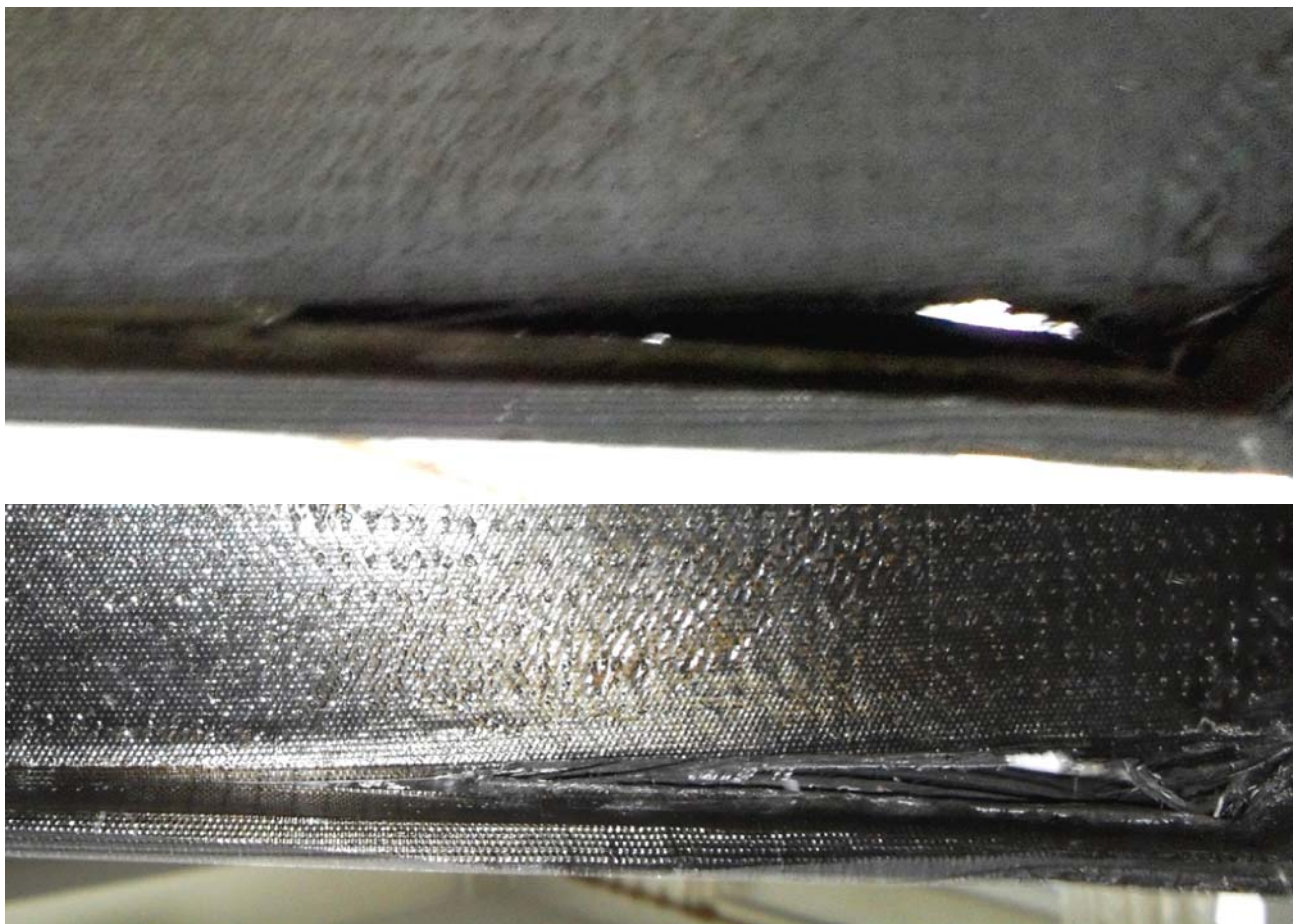


Рисунок 4 – Разрушение образцов № 1 и № 2  
(разрушение стенки в месте перехода ее к заплечу)



Рисунок 5 – Разрушение соединения полки со стенкой образца № 3

Как видно из результатов экспериментов, наиболее «слабым» является соединение стенки с полками. Для образцов № 1 и № 2 спрогнозировать вид разрушения не удалось, что говорит о том, что балочная теория определения касательных напряжений в соединении полок с заплечиками требует уточнения с помощью других методов, например метода конечных элементов (МКЭ).

Для образца №3 прогноз потери устойчивости сжатой стенки подтвердился.

Разрушающая нагрузка составляет 0,925...0,948 от теоретической, а нагрузка потери устойчивости образца № 3 – 0,827 от расчетной.

Прогиб балки по результатам эксперимента отличается от теоретических значений лишь на 5...7 %, что говорит о точности методики определения жесткости лонжерона.

### **Список использованных источников**

1. Карпов, Я.С. Рациональная конструкция лонжерона крыла из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов, В.П. Копычко // Вопросы проектирования и технологии производства конструктивных элементов летательных аппаратов: темат. сб. науч. тр. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1986. – С. 4 – 9.

2. Карпов, Я.С. Определение значений пределов прочности при проектировании полок балки из композитов [Текст] / Я.С. Карпов, И.В. Лялюхина // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2009. – Вып. 4 (60). – С. 28 – 33.

3. Лялюхина, И.В. Проектирование композитной балки на регламентированный прогиб [Текст] / И.В. Лялюхина // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011. – Вып. 4 (68). – С. 48 – 46.

*Поступила в редакцию 08.04.2013.*

*Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.В. Кириченко,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*