

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛОНЖЕРОНА КРЫЛА САМОЛЕТА В РАЙОНЕ ВЫРЕЗА

Петров Ю.В., Варданян Г.Б., Харина В.К.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва*

Ключевые слова: строительная механика, лонжерон, стенка, пояс, вырез, изгибающий момент, поперечная сила, продольная сила, поток касательных усилий.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос анализа напряженно – деформированного состояния элементов конструкции лонжерона крыла самолета при изучении данной темы в дисциплине «Строительная механика авиационных конструкций». Поясняется необходимость введения дополнительных окантовывающих вырез элементов. На представленных рисунках показано влияние формы выреза на нагруженность элементов лонжерона: поясов, стенок и стоек. Из анализа следует, что при определенных параметрах выреза продольные силы в поясах лонжерона могут превышать исходные значения.

METHODOLOGICAL FEATURES OF STUDYING THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF AN AIRCRAFT WING SPAR IN THE CUT-OUT AREA

Petrov Yu.V., Vardanyan G.B., Kharina V.K.

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

Keywords: structural mechanics, spar, wall, belt, notch, bending moment, transverse force, longitudinal force, tangential force flow.

Abstract. The article considers the issue of analyzing the stress–strain state of structural elements of an aircraft wing spar when studying this topic in the discipline "Structural mechanics of aircraft structures". The necessity of introducing additional elements edging the cutout is explained. The presented figures show the effect of the cutout shape on the loading of the spar elements: belts, walls and racks. It follows from the analysis that, with certain cutout parameters, the longitudinal forces in the spar belts may exceed the initial values.

Одним из наиболее сложных вопросов, возникающих при изучении дисциплины «Строительная механика авиационных конструкций», является изучение и понимание студентами особенностей работы элементов конструкции основного силового набора в районе выреза. Очевидно, что в этом случае искажается исходная картина напряженно – деформированного состояния (НДС) путем перераспределения нагрузки между элементами. С методической точки зрения с целью повышения возможности понимания происходящих процессов целесообразно рассматривать достаточно простые случаи, но имеющие важное прикладное значение. В данной работе предлагается рассмотреть работу под нагрузкой элементов лонжерона крыла самолета в районе плоского выреза в его стенке.

Рассматривается фрагмент лонжерона, состоящий из поясов и стенки, работающий в условиях поперечного изгиба. Стенка подкреплена стойками,

причем соединение стоек с поясами лонжерона считается шарнирным (рис. 1). Пояса лонжерона параллельны.

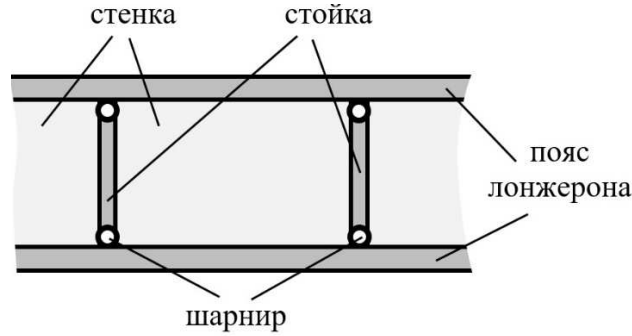


Рис. 1. Основные конструктивные элементы лонжерона крыла

Предполагается, что распределение усилий между элементами данной конструкции происходит в соответствии с классической схемой, изучаемой в данной дисциплине [1-4]: пояса работают на растяжение-сжатие, обеспечивая восприятие изгибающего момента, стенка работает на сдвиг от поперечной силы (рис. 2).

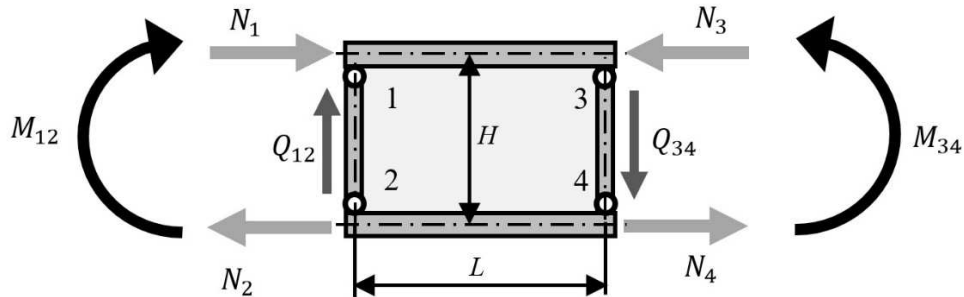


Рис. 2. Схема распределения внутренних усилий по элементам лонжерона

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: N_1, N_2, N_3, N_4 – продольные силы в верхнем 1-3 и нижнем 2-4 поясах; M_{12}, M_{34} – соответственно, изгибающие моменты в сечениях 1-2 и 3-4; Q_{12}, Q_{34} – соответственно, поперечные силы в сечениях 1-2 и 3-4. Будем считать, что $Q_{12} = Q_{34}$, тогда справедливы соотношения

$$N_1 = N_2 = \frac{M_{12}}{H}; N_3 = N_4 = \frac{M_{34}}{H}; N_2 = N_1 + Q_{12} \frac{L}{H}; N_4 = N_3 + Q_{34} \frac{L}{H}. (1)$$

Требуется на участке 1-2-3-4 выполнить вырез в стенке так, чтобы обеспечивалась корректная (с точки зрения строительной механики) передача внутренних усилий между элементами лонжерона и провести анализ работы отдельных элементов.

В качестве методического примера рассмотрим вырез, показанный на рисунке 3. Вырез имеет компенсационную окантовку. Поток касательных усилий

в стенках без вырезов слева и справа, соответственно, равны $q_{12} = \frac{Q_{12}}{H}, q_{34} = \frac{Q_{34}}{H}$.

Очевидно, что при принятом допущении о равенстве поперечных сил $Q_{12} = Q_{34}$ в пределах рассматриваемого фрагмента лонжерона эти потоки касательных усилий тоже равны $q_{12} = q_{34}$. Если δ_0 – толщина стенки в области, прилегающей к вырезу,

а $q_0 = q_{12} = q_{34}$, то касательные напряжения в этих стенках равны $\tau_0 = \frac{q_0}{H}$.

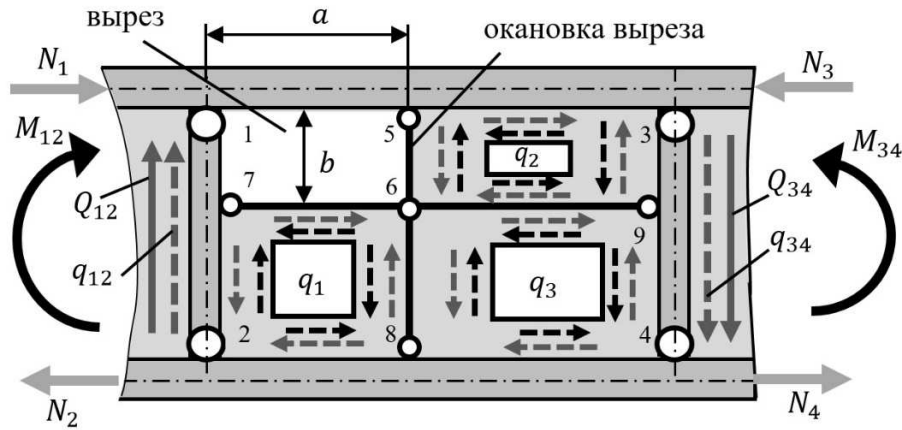


Рис. 3. Напряженно – деформированное состояние элементов конструкции лонжерона в районе выреза

Для определения НДС элементов, окантовывающих вырез, можно составить простейшие уравнения равновесия, тогда получим:

– из равновесия стержня 1-7-2 имеем $q_1 \cdot (H - b) = Q_{12}$, следовательно

$$q_1 = \frac{Q_{12}}{H - b} = \frac{Q_{12}}{H \left(1 - \frac{b}{H}\right)} = \frac{q_0}{1 - \frac{b}{H}}; \quad (2)$$

– из равновесия стержня 1-5-3 имеем

$$q_2 = \frac{q_0}{1 - \frac{a}{L}}; \quad (3)$$

– из равновесия стержня 3-9-4 получим

$$q_3 = \frac{Q_{12}}{H - b} \cdot \left[1 - \frac{L \cdot b}{H \cdot (L - a)}\right] = \frac{q_0}{1 - \frac{b}{H}} \cdot \left[1 - \frac{\frac{b}{H}}{1 - \frac{a}{L}}\right]. \quad (4)$$

Так как $a < L$ и $b < H$ по условию задачи, то, как видно из (2) и (3), знаки потоков касательных усилий q_1 и q_2 всегда сохраняются противоположными знаком поперечной силы $Q_{12} = Q_{34}$ (как это показано на рис. 3). Что касается потока

q_3 , то, как видно из (4), он сохраняет свой знак до тех пор, пока $\frac{L \cdot b}{H \cdot (L - a)} < 1$,

или, что то же самое, пока

$$\frac{H}{L} > \frac{b}{L - a}. \quad (5)$$

Геометрически условие (5) означает, что точка 6 располагается ниже диагонали 1-4 (графическое пояснение приведено на рис. 4, а). В этом случае поток касательных усилий q_3 будет иметь тот же знак, что q_1 и q_2 . Это условие существенно, поскольку изменение знака неравенства в (5) на противоположный (когда точка 6 располагается выше диагонали 1-4, рис. 4, б) приводит к перегрузке силовых элементов в зоне выреза.

Так, на рисинке 5 приведены качественные эпюры продольных сил N в основных элементах конструкции: поясах 1-3 и 2-4, а также стойках 1-2 и 3-4 при отсутствии выреза (рис. 5, а) и наличии выреза различной формы (рис. 5, б и в).

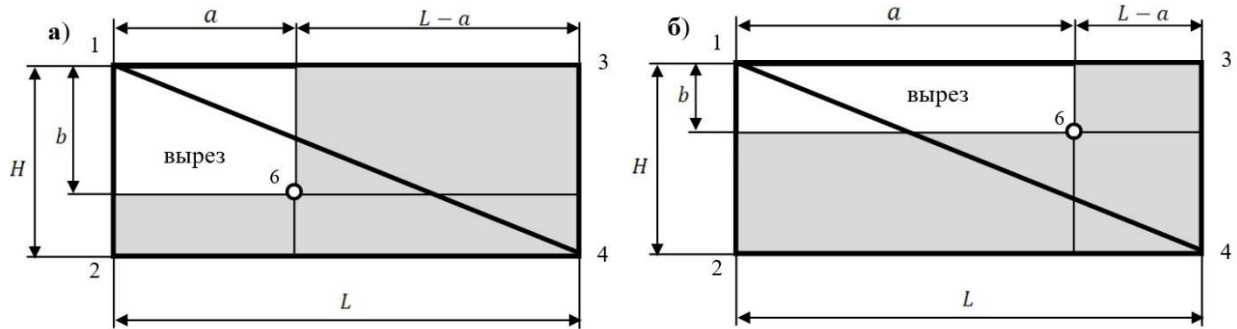


Рис. 4. Основные варианты выреза

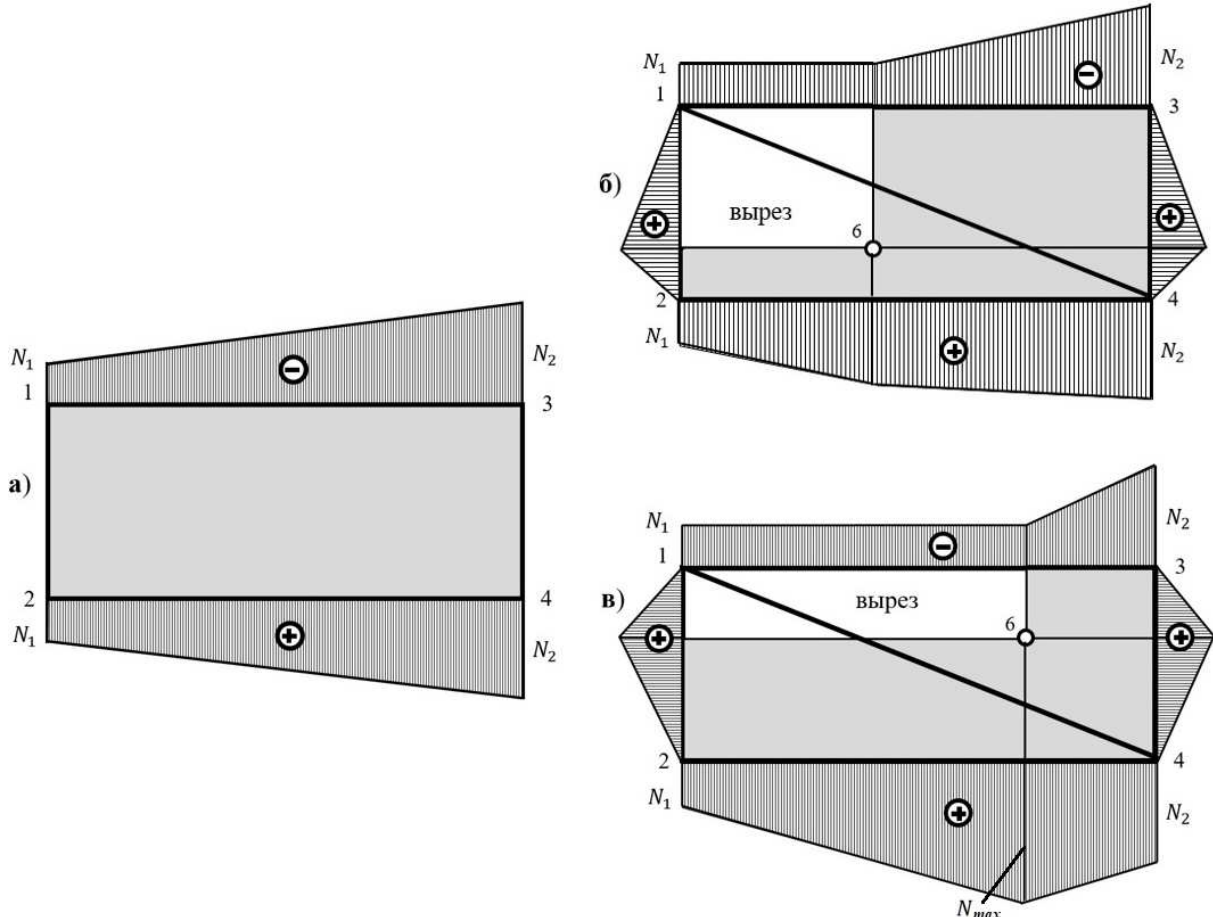


Рис. 5. Эпюры внутренних усилий в элементах лонжерона при наличии выреза

Анализ полученных результатов наглядно показывает, что НДС элементов конструкции лонжерона существенно изменяется при наличии выреза и зависит от его формы и расположения. При отсутствии выреза стойки 1-2 и 3-4 не нагружены продольными силами. При наличии выреза стойки 1-2 и 3-4 воспринимают продольные усилия от присоединенных стенок, а эпюра продольных сил в поясах значительно изменяется, причем (рис. 5, в) при определенной форме выреза максимальная продольная сила $N_{\max}$ может быть больше N_2 .

Об ограничениях размеров выреза по условиям прочности

Введем обозначения: δ_1 , δ_2 , δ_3 – толщины стенок, в которых действуют потоки q_1 , q_2 , q_3 – соответственно. Будем считать, что все стенки выполнены из одного материала и известны допускаемые касательные напряжения $[\tau]$.

Тогда по условию прочности первой стенки δ_1 должно быть: $q_1 \leq [\tau] \cdot \delta_1$, что с учетом (2) дает:

$$\frac{\delta_1}{\delta_0} \geq \frac{\tau_0}{[\tau] \cdot \left(1 - \frac{b}{H}\right)}.$$

Например, приведем график изменения коэффициента увеличения потребной толщины первой стенки δ_1/δ_0 от размеров выреза при прочих равных условиях (рис. 6).

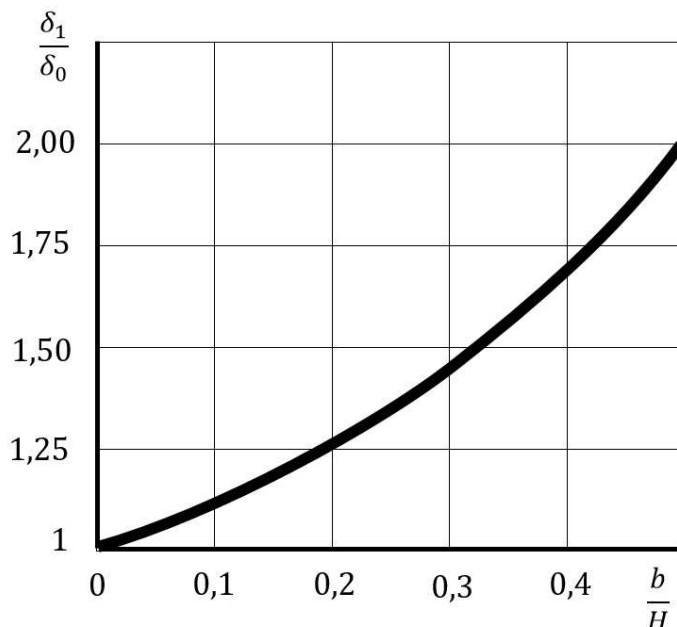


Рис.6. Изменение коэффициента увеличения потребной толщины первой стенки δ_1/δ_0 от размеров выреза b/H

Аналогичные результаты могут быть получены для всех стенок лонжерона в районе выреза. Важно также подчеркнуть значение стержней, окантовывающих вырез в стенке. Стержни 5-6-8 и 7-6-9, работая на растяжение – сжатие, воспринимают часть нагрузки, компенсируя выполненный вырез. На рисунке 7 приведены эпюры продольных сил в данных стержнях при наличии выреза.

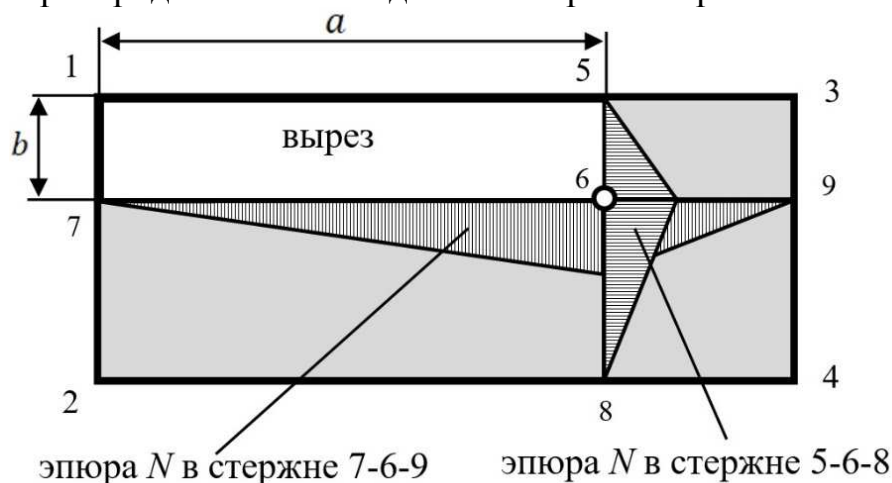


Рис. 7. Эпюры внутренних усилий в элементах окантовки выреза

Приведенные результаты показывают, что при предложенном варианте изложения рассматриваемой темы существенно возрастает наглядность, а, следовательно, и качество усвоения материала. Особое внимание следует обращать на следующие факторы:

1. При наличии выреза необходимо устанавливать дополнительные окантовывающие конструктивные элементы, которые участвуют в перераспределении нагрузки и работают на растяжение – сжатие.

2. Стойки, ненагруженные при отсутствии выреза, работают на растяжение – сжатие при наличии выреза, участвуя в перераспределении нагрузки.

3. Форма выреза и его размеры оказывают значительное влияние на нагружение основных элементов конструкции лонжерона, причем возможен вариант увеличения максимального продольного усилия в поясе лонжерона.

4. Для удовлетворения условий прочности возможно существенное увеличение толщины стенок, окаймляющих вырез.

Список литературы

1. Образцов И.Ф., Булычев Л.А., Васильев В.В., Елвасьевский А.Н., Жеков К.А., Иванов Б.А., Коновалов Б.А., Матюшев Ю.С., Шклярчук Ф.Н. Строительная механика летательных аппаратов: Учебник для авиационных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 536 с.
2. Исаев В.Ф., Кашевич О.М., Кудряшов В.И., Познышев С.Д. Многоцелевая оптимизация конструкции лонжерона крыла в зоне вырезов // Ученые записки ЦАГИ. – 1992. – Т. 23, №1. – С. 75-82.
3. Строительная механика боевых летательных аппаратов / Под ред. В.В. Овчинникова. – М.: Изд-во «ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского», 2009. – 373 с.
4. Gokulnath R., Samuel Johnson S., Jensi Joshua J. Analysis Of Composite Wing Spar With Cutouts For Tensile Load // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018, vol. 9, pp. 173-179.

Сведения об авторах:

Петров Юрий Владимирович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики и инженерной графики;

Варданян Георгий Бенурович – к.т.н., доцент кафедры технической механики и инженерной графики;

Харина Вера Константиновна – к.т.н., доцент кафедры технической механики и инженерной графики.