

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Э. БАУМАНА
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

**НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ**

ТРУДЫ ЧЕТВЕРТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

29-31 января 2007 г.

Москва

Часть II

МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 536.75

ББК 22.317

Н 52

Н 52 Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г. В 2-х ч. Часть II-М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.- с.650

В трудах Четвертой Всероссийской конференции приведены результаты, полученные авторами в области исследования необратимых процессов в природе и технике.

Труды конференции предназначены для студентов, аспирантов и научных работников.

УДК 536.75

ББК 22.317

Центр прикладной физики
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

ОЦЕНКА СРЕЗАЮЩИХ УСИЛИЙ НА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И. Павелко

Многоуровневый анализ напряжений является одним из важнейших этапов создания диагностической системы непрерывного действия «Сигнал – повреждение – остаточное время жизни» [1], служащей для повышения эффективности технической эксплуатации воздушных судов и повышения безопасности полетов. Он включает в себя четыре уровня:

- приближенная оценка напряженного состояния в местах контактного взаимодействия элементов узла;
- уточненная оценка напряженного состояния для каждого элемента;
- местный анализ напряжений в наиболее нагруженной области каждого элемента, по результатам которого определяется наиболее вероятное место зарождения усталостной трещины, а также ее форма на начальной стадии развития;
- анализ напряжений в элементе с трещиной для определения коэффициента интенсивности напряжений, как показателя трещиностойкости конструкции.

В данной статье описан анализ первого уровня для сегментного участка конструкции фюзеляжа самолета вблизи прямоугольного со скруглением выреза под окно и местным утолщением обшивки и представлены его результаты. Работа выполняется в рамках европейского научно-исследовательского проекта «AISHA».

Наибольшая нагрузка на элементы конструкции фюзеляжа вызывается избыточным внутренним давлением. Известно, что усталостные повреждения в подобных конструкциях образуются в местах концентрации напряжений: у отверстий под заклепки, по сторонам вырезов обшивки, в зонах приложения сосредоточенных сил. Образование усталостных трещин в заклепочных соединениях связано, главным образом, с периодическим появлением срезающих усилий на заклепки (один цикл нагружения – один полет в крейсерском режиме).

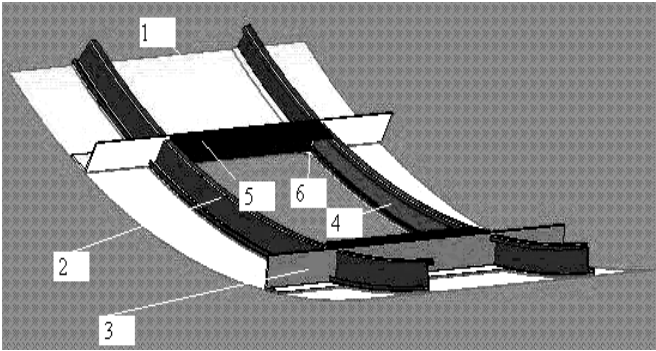


Рис. 1. Компьютерная модель узла фюзеляжа со скругленным квадратным вырезом под окно

1 – обшивка, 2 – шпангоут, 3 – стрингер, 4 – накладка шпангоута, 5 – накладка стрингера, 6 – скругление выреза

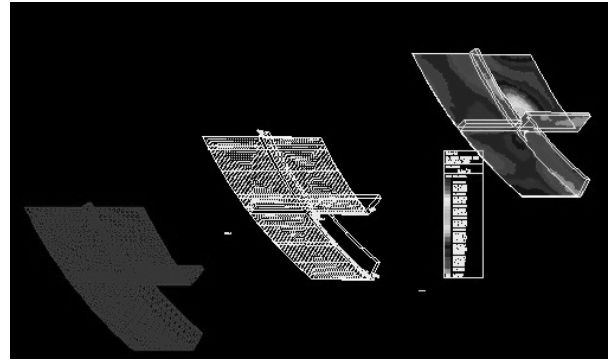


Рис. 2. Конечно-элементная модель узла

Компьютерная модель узла (рис. 1) создана с помощью программного пакета “Autodesk Inventor”. Участок фюзеляжа самолета вблизи выреза под окно отсечен двумя плоскостями, проходящими через центральную ось фюзеляжа и образующими угол 2φ , а также двумя взаимно параллельными плоскостями на расстоянии a от ближайшего к каждой из них края выреза. Параметры модели:

- постоянные: полудлина стороны выреза $a=360$ мм, толщина обшивки $\delta_0=2$ мм, толщина обшивки в месте утолщения, толщины стенок стрингера, шпангоута и накладок $\delta=5$ мм;
- независимая переменная: диаметр фюзеляжа $D=2450$ мм, 3500 мм, 4500 мм;
- зависимые переменные: радиус скругления выреза $r=0.1a, 0.15a, 0.2a$; угол

$$\varphi = \arcsin \frac{4a}{D}, \text{ высота стрингера и его накладки } h_{str} = \frac{0.4a + \delta}{1.8}, \text{ ширина}$$

стрингера $b_{str} = 0.8h_{str}$, ширина утолщенной части обшивки под стрингером

$$t = b_{str}, \text{ высота шпангоута и его накладки } h_{spn} = \frac{0.4a + 2\delta}{2.1}, \text{ ширина шпангоута}$$

$b_{spn} = 0.5h_{spn}$, ширина утолщенной части обшивки под шпангоутом

$$t_1 = \frac{b_{spn} + \delta}{2}.$$

Расчет выполнялся методом конечных элементов при помощи программного пакета «Mechanical Desktop». Для конечно-элементной модели (рис. 2) принято:

- модель считается монолитной, все ее элементы условно объединены в один;
- использованы свойства симметрии;
- приняты прямоугольные формы поперечных сечений стрингера, шпангоута и накладок с сохранением площадей их сечений.

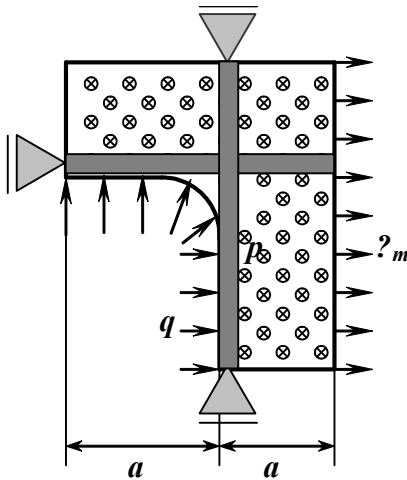


Рис. 3. Схема граничных условий нагружения узла.

Приняты следующие граничные условия нагружения (рис. 3):

- фюзеляж нагружен избыточным внутренним давлением $p=0.1$ МПа;
- в плоскостях симметрии перемещения в продольном направлении $v_x=0$, в окружном $u_\theta=0$, касательные напряжения $\phi=0$;
- действие отброшенной части листа в продольном направлении учтена напряжениями $\sigma_m = \frac{p\pi D}{4\delta\phi}$;

- край выреза нагружен равномерно распределенной нагрузкой $q = \frac{2pA_w}{4(a-r)+\pi r}$, где A_w - четверть площади выреза.

Таблица 1

\bar{r}	\bar{D}	\bar{T}_{xymax}	\bar{T}_{yzmax}	\bar{T}_{xzmax}
0.1	900	10330	7456	5139
	700	7748	6172	4556
	490	6172	6782	2542
0.15	900	10555	7258	3443
	700	8118	6780	4715
	490	6874	5668	2742
0.2	900	9800	7244	4781
	700	8278	6357	3510
	490	6384	5019	2040

Задача решалась для девяти различных комбинаций, взятых в относительных величинах параметров $\bar{D} = \frac{D}{\delta}$, $\bar{r} = \frac{r}{a}$. Локализованы зоны максимальных значений относительной срезающей силы $\bar{T} = \frac{\tau t}{p\delta}$ на поверхностях контак-

та стрингера с обшивкой (сведены в таблицу 1) и стрингера с накладкой (сведены в таблицу 2).

Таблица 2

\bar{r}	\bar{D}	$\bar{T}_{хуmax}$	$\bar{T}_{узmax}$	\bar{T}_{xzmax}
0.1	900	3544	1242	1291
	700	4304	1291	2169
	490	3030	1871	1738
0.15	900	2533	1324	1490
	700	5082	2185	2600
	490	2251	1722	1656
0.2	900	3940	861	1159
	700	4801	2318	2600
	490	2963	1424	1242

Как видно из таблицы 1, срезающие усилия по поверхности стрингер – обшивка однозначно растут с увеличением диаметра фюзеляжа, в то же время радиус скругления выреза не оказывает заметного влияния на их величину. Зависимости \bar{T} от \bar{D} и \bar{r} по поверхности стрингер – накладка достаточно сложны и требуют дополнительного анализа.

1. E. Ozolinsh, I. Ozolinsh, I.V. Pavelko, V.P. Pavelko. The Stress State of the Fuselage Skin Rivet-Joint. Sixth International Seminar on RECENT RESEARCH AND DESIGN PROGRESS IN AERONAUTICAL ENGINEERING AND ITS INFLUENCE ON EDUCATION. Book of Abstracts. 14-16 October 2004, Riga-Latvia, p.32.