

Современные методы расчета сложных статически неопределимых систем. Л.: Судпромгиз, 1961. С. 421-653.

2. Иванов Ю.И. Применение метода сил в задаче сочленения подконструкций // Труды ЦАГИ, 1977. Вып. 1948. С. 3-21.

3. Иванов Ю.И. Метод совместного расчета подконструкций // Учен. зап. ЦАГИ, 1976. Т. 7, № 1. С. 75-79.

4. Левашов П.Д. Методы обеспечения непрерывности изменения гипотез в гибридных расчетных схемах // Изв. вузов, Авиационная техника. 1985. № 2. С. 33-38.

УДК 539.3

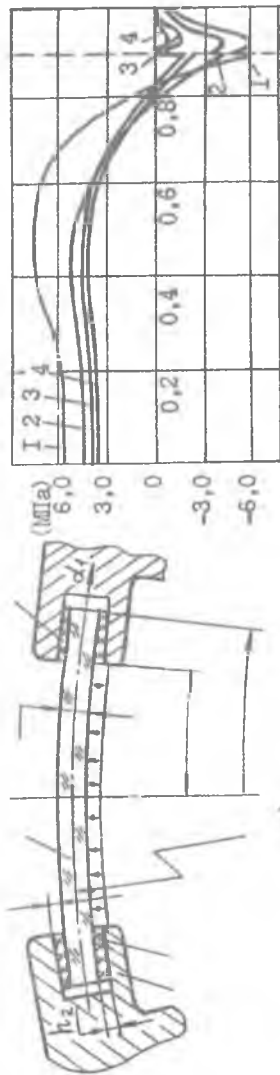
В.А.Фирсов, С.П.Кузнецов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ ОПОРНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ НА НДС ЭЛЕМЕНТОВ ОСТЕКЛЕНИЙ ЛА

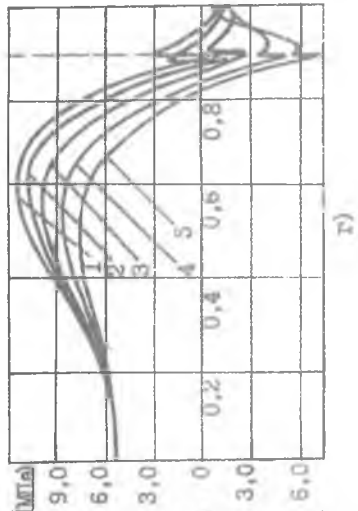
Представлены результаты численных параметрических исследований по оценке влияния податливости опорного закрепления на напряженно-деформированное состояние элементов остекления летательных аппаратов типа иллюминатора пассажирского самолета. Проведена оценка достоверности результатов проведенных исследований.

Элементы конструкционной оптики летательных аппаратов типа иллюминаторов, обтекателей и фонарей самолетов выполняются из неметаллических материалов (органического и неорганического стекла, ситалла и т.д.), обладающих высокой чувствительностью к контактным напряжениям, хрупкостью и, для большинства из них, низкой прочностью на растяжение. Это приводит к необходимости применения соединений этих элементов с конструкцией специального вида (рис.1,а) с использованием буферных соединительных элементов 3 и 4 из полимерных материалов в виде слоев герметика, лавсана и т.д. Очевидно, достоверное определение напряженно-деформированного состояния (НДС) указанных элементов конструкций во многих случаях не может быть достигнуто деформативностью как промежуточных соединительных элементов, так и опорных силовых элементов конструкции.

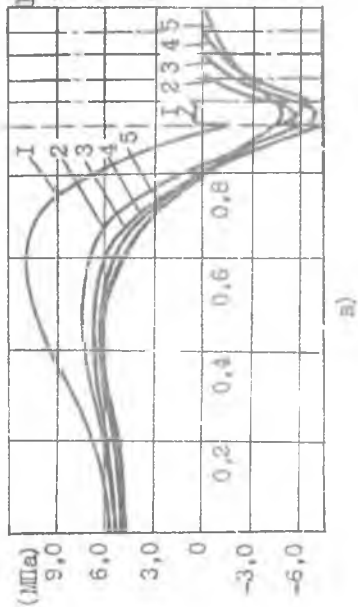
Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Куйбышев, 1990



d)



r)



a)

В общем случае определение НДС рассматриваемых элементов конструкций сводится к решению задач взаимодействия тонких оболочек со слоями дискретно-непрерывных оснований переменной толщины. Решение этих задач в строгой постановке заключается в совместном интегрировании уравнений для оболочки и оснований при выполнении условий стыковки между ними.

В свою очередь, высокие требования к точности и надежности методов прочностного анализа оболочечных элементов указанного класса не позволяют использовать для описания механики деформирования оснований весьма приближенные модели (например, модели Винклера и Пастернака), получившие широкое применение для расчета конструкций на упругом основании. В связи с этим в работах /1,2/ для расчета оболочек сложной геометрии, взаимодействующих на лицевых поверхностях с кусочно-деформируемыми основаниями, был развит подход, базирующийся на использовании кинематической модели С.П.Тимошенко без учета поперечного обжатия для оболочки и линейной аппроксимации компонент вектора перемещений оснований по их поперечной координате. Предварительное удовлетворение кинематическим условиям сопряжения оснований с оболочкой позволило получить систему разрешающих уравнений с кусочно-переменными коэффициентами того же типа, что и для тонкой оболочки кусочно-переменной жесткости без оснований в рамках модели С.П.Тимошенко. При этом учет деформативности опорных силовых элементов конструкции может быть осуществлен путем задания вектора перемещений для внешних лицевых поверхностей оснований, определяемого на этапе общего прочностного расчета конструкции летательного аппарата.

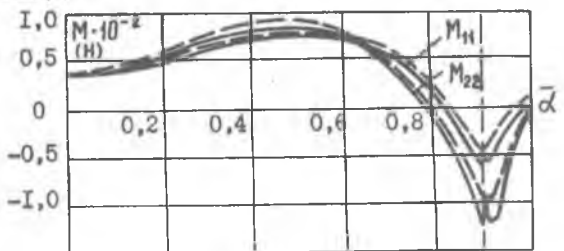
Предложенный подход реализован в виде пакетов прикладных программ на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV применительно к ЕС ЭВМ.

В работе на основе указанного подхода и разработанного программного обеспечения исследовано влияние податливости опорного закрепления на напряженно-деформированное состояние иллюминатора пассажирского самолета (рис.1, а), представляющего собой тонкую сферическую оболочку, изготовленную из органического стекла, часть внешних лицевых поверхностей которой через полимерный упругий материал взаимодействует с элементами силовой схемы конструкции. Внешнее нагружение представляет собой равномерное избыточное давление q , являющееся для пассажирских самолетов определяющим фактором напряженного деформированного состояния для элемента исследуемого остекления.

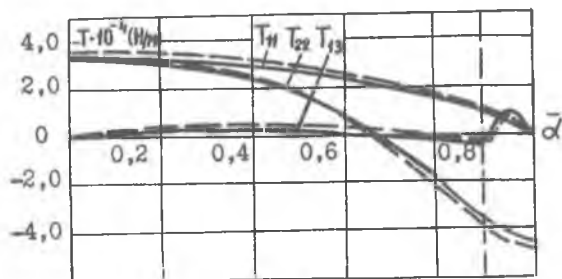
В качестве расчетной схемы иллюминатора принят фрагмент сферической оболочки, имеющей следующие геометрические и физико-механи-

ческие характеристики (рис.1, а): радиус оболочки $R = 53,5$ см; толщина оболочки $h = 1$ см; угол, занимаемый оболочкой $\alpha_0^1 = 0,424$ рад; модуль упругости материала оболочки $E = 3090$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu = 0,38$. Для упругих оснований соответствующие параметры имеют значения: $h_1 = h_2 = h_0 = 0,25$ см; $\alpha_0^1 - \alpha_0^2 = 0,0412$ рад; $E_0^1 = E_0^2 = E_0 = 3$ МПа; $\mu_0^1 = \mu_0^2 = \mu_0 = 0,485$.

На рис.2 приведены эпюры изменения вдоль меридиана внутренних изгибающих моментов (рис.2, а) и усилий (рис.2, б), действующих в оболочке (сплошные линии). Достоверность приведенных результатов убедительно подтверждается их сравнением с результатами расчета исследуемой оболочечной конструкции на основе уточненной модели контактного взаимодействия оболочки с упругими основаниями /3/ (пунктирные линии).



а)



б)

Рис. 2

Для оценки влияния параметров упругого основания на НДС рассматриваемого элемента на рис.1 представлены результаты параметрических исследований в виде эпюр меридиональных напряжений σ_H .

определяющих прочность иллюминатора. Представлено распределение напряжений σ_{11} на верхней лицевой поверхности иллюминатора в зависимости от изменения следующих параметров упругих оснований: относительного модуля упругости $\bar{E} = E_0 / E$ (рис. I, б); относительной ширины $\bar{\alpha}'_g = (\alpha'_g - \alpha'_a) / \alpha'_g$ (рис. I, в) и относительной толщины $\bar{h} = h_0 / h$ (рис. I, г). При этом номера кривых соответствуют следующим значениям параметров: для \bar{E} (1 - 10^{-3} ; 2 - 10^{-2} ; 3 - 10^{-1} ; 4 - 10^0); для $\bar{\alpha}'_g$ (1 - 0,05; 2 - 0,1; 3 - 0,15; 4 - 0,2; 5 - 0,25) и для \bar{h} (1 - 2,0; 2 - 1,5; 3 - 1,0; 4 - 0,5; 5 - 0,25).

Проведенные исследования свидетельствуют о существенном влиянии параметров опорного закрепления на напряженно-деформированное состояние конструкции и могут служить основой для рационального проектирования элементов остеклений летательных аппаратов.

Анализ представленных результатов позволяет дать рекомендации по снижению уровня опасных напряжений в иллюминаторе. В частности, для материала, одинаково работающего на растяжение-сжатие (органическое стекло), к этому приводит уменьшение относительной толщины оснований \bar{h} и увеличение относительной величины модуля упругости \bar{E} и относительной ширины оснований $\bar{\alpha}'_g$.

Библиографический список

1. Паймушин В.Н., Фирсов В.А. Об одном способе математического описания и решения краевых задач механики деформирования оболочек, лежащих на сплошном и дискретном упругом основаниях // Проблемы машиностроения. Киев: Наукова думка, 1982, вып. 16. С. 18-23.

2. Кузнецов С.П., Паймушин В.Н., Фирсов В.А. Об одном варианте теории оболочек, взаимодействующих с упругими основаниями // Вопросы расчета прочности конструкций летательных аппаратов: Межвуз. сб.; КАИ. Казань, 1982. С. 55-61.

3. Паймушин В.Н., Фирсов В.А., Мамедов Х.Б. К проблеме контактного взаимодействия оболочек с упругими основаниями. Исследования по теории оболочек // Тр. семинара; Казанский физ.-тех. ин-т КФ АН СССР. Казань, 1984, вып. 17, ч. 2. С. 52-61.