

Л и т е р а т у р а

1. Б а д я г и н А.А., Е г е р С.М. и др. Проектирование самолетов. М.: Машиностроение, 1972, а516.

2. К о м а р о в В.А., П е р е с ы п к и н В.П. Комплекс программ расчета авиационных конструкций ПРАСАК. — В сб.: Автоматизация проектирования авиационных конструкций. Куйбышев: КуАИ, 1979, с. 3—18.

УДК 629.735.33.075.1

А.И. Андрияенко

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Вопросам проектирования подкрепленных панелей минимального веса посвящено большое количество работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Преимущественно рассматриваются сжатые в одном направлении панели, для которых используется расчетная схема широкой стойки и принцип равноустойчивости. Оптимальными считаются те панели, у которых критические напряжения местной и общей устойчивости равны расчетным и максимальны. Однако практическая реализация таких панелей и учет дополнительных ограничений (по прочности, жесткости, конструктивно-технологических и др.) сопряжены с большими трудностями.

Более общим и перспективным является решение задачи весовой оптимизации панелей в постановке математического программирования. Формулировка такой задачи может быть представлена в виде [1]:

$$\begin{aligned} G(\vec{X}) \rightarrow \min, \vec{X} = \vec{X}' U \vec{X}'', \quad H_i(\vec{X}, \vec{Q}_r) \leq C_i, \\ \vec{X} \in S, \vec{X} \geq \vec{X}_0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (I)$$

где \vec{Q}_r — вектор граничных усилий;
 \vec{X}' — описания сечений элементов, входящих в конструкцию панели;
 \vec{X}'' — описания схемы каркаса;
 \vec{X}_0 — вектор конструктивных ограничений;
 S — область, называемая "обобщенным сортаментом";

H_i, C_i - характеристики работоспособности панели и их предельно допустимые значения;

$G(\bar{X})$ - критериальная функция (вес).

Для оребренных панелей при безмоментном комбинированном нагружении и нелинейном деформировании вопросы конкретизации задачи (1), расчета характеристик работоспособности H_i и их предельно допустимых значений C_i рассмотрены в работах [2,3]. В работе [1] дано описание алгоритма весовой оптимизации оребренных панелей.

Целью данной работы является анализ некоторых результатов, полученных при оптимизации плоских прямоугольных монолитных панелей, нагруженных продольным сжатием (q_x) и сдвигом (S). Подкрепления панелей - ребра прямоугольной формы (рис.1). Материал панелей - АЖ со следующими физико-механическими характеристиками:

$$\gamma = 2,8 \text{ г/см}^3; E = 7200 \text{ кг/мм}^2; \mu = 0,3;$$

$$\sigma_{0.2} = 27 \text{ кг/мм}^2; \sigma_B = 42 \text{ кг/мм}^2$$

Учитывались ограничения:

а) по прочности:

$$\sigma_c \leq \sigma_c^+; \sigma_0^L \leq \sigma_0^{L+}; \quad (2)$$

б) по устойчивости:

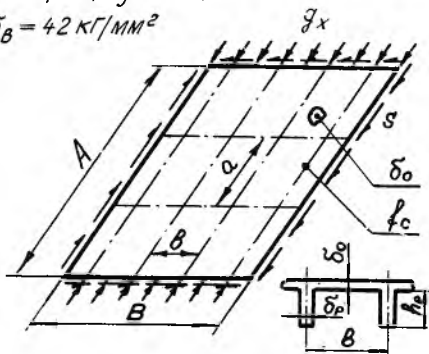
$$\sigma_c \leq \sigma_{cm}; \tau_{mo} \geq 1; \quad (3)$$

$$\tau_{оп} \geq 1;$$

в) конструктивно-технологические:

$$\delta_0 \geq 1 \text{ мм}; \delta_p \geq 2 \text{ мм}; \quad (4)$$

$$h_p \leq 25 \text{ мм}.$$



Р и с.1. Общий вид панели

В неравенствах (2), (3) и (4) введены обозначения: σ_c - расчетные напряжения в сечениях продольных подкреплений; σ_c^+ - предельно допускаемые по условиям прочности значения расчетных напряжений в сечениях продольных подкреплений ($\sigma_c^+ = 38 \text{ кг/мм}^2$); σ_0^L - максимальные расчетные напряжения в угловых точках срединной поверхности клеток обшивки, рассчитанные по энергетической теории прочности

$$\sigma_0^L = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2},$$

где σ_x, σ_y - нормальные напряжения, действующие в угловых точках срединной поверхности клеток обшивки от сжимающей нагрузки;

τ - касательные напряжения в обшивке от силы сдвига;

σ_0^{L+} - предельно допускаемые по условиям прочности величины расчетных напряжений в обшивке ($\sigma_0^{L+} = 38 \text{ кг/мм}$);

r_{MO} - параметр нагружения клеток обшивки, представляющий собой отношение компонент вектора критических напряжений $\bar{\sigma}_{MO}$ к компонентам вектора расчетных напряжений $\bar{\sigma}_0^L$ ($\bar{\sigma}_{MO} = r_{MO} \bar{\sigma}_0^L$);

$r_{оп}$ - параметр нагружения панели, представляющий собой отношение компонент вектора критических нагрузок $\bar{q}_{кр}$ к компонентам вектора граничных усилий \bar{q}_r ($\bar{q}_{кр} = r_{оп} \bar{q}_r$);

$\sigma_{мс}$ - критические напряжения местной потери устойчивости продольных подкреплений;

δ_0^b - толщина обшивки;

δ_p^b - толщина ребра;

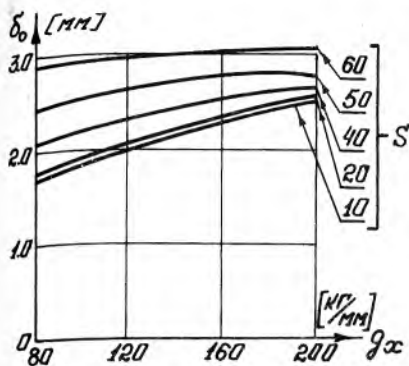
h_p - высота подкреплений.

Из неравенств (3) видно, что ни местная потеря устойчивости подкреплений и обшивки, ни общая неустойчивость панели в целом не допускались.

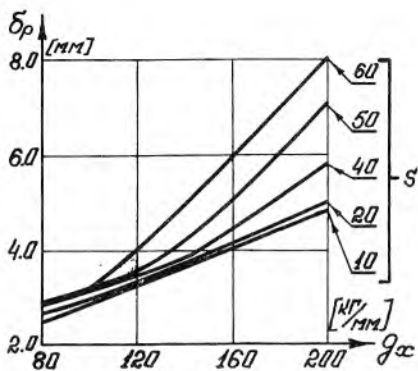
Оптимизация проводилась при фиксированной схеме каркаса ($b = 42 \text{ мм}$, $a = 400 \text{ мм}$) с помощью программы для ЭВМ, реализующей алгоритм, описанный в работе [1].

На рис. 2-5 представлены зависимости геометрических размеров δ_0^b , δ_p^b , h_p и приведенных толщин панелей ($\delta_n^b = \delta_0^b + f_c/b$) от величин погонной сжимающей нагрузки q_x и потока касательных усилий S для панелей минимального веса с учетом ограничений (2), (3) и (4). Наличие точек перегиба на графиках, приведенных на рис. 3 и 4, обусловлено действием конструктивно-технологического ограничения на высоту подкреплений. Из графиков зависимостей, показанных на рис. 2 и 5, следует, что интенсивность роста толщины обшивки δ_0^b и приведенной толщины панели δ_n^b с увеличением потока касательных усилий возрастает.

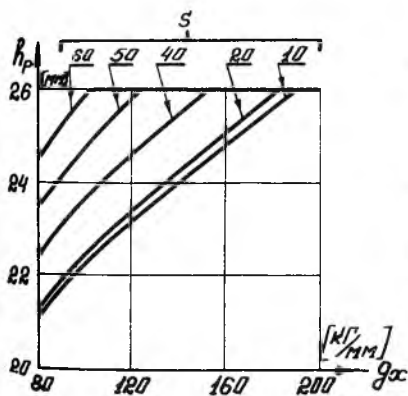
Анализ результатов оптимизации панелей показал, что решению задачи (I) соответствует равенство части характеристик работоспособности их предельным значениям, т.е. часть ограничений (2), (3), (4) для оптимальных панелей выполняется в форме равенств. Назовем их активными ограничениями. В рассмотренных примерах активных ограничений было не менее трех. Именно они формировали оптимальные характеристики панелей. Остальные ограничения выполнялись в форме неравенств (пассивные ограничения). Среди активных ограничений всегда присутствовало требование обеспечения общей устойчивости панели ($r_{оп} = 1$),



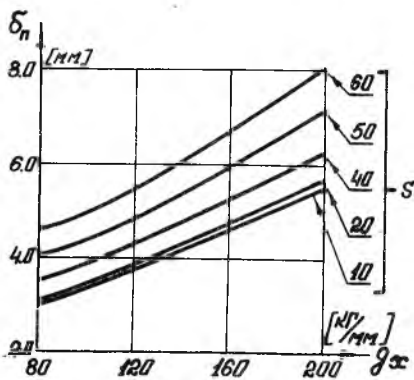
Р и с.2. Влияние интенсивностей граничных усилий на толщину обшивки



Р и с.3. Влияние интенсивностей граничных усилий на толщину подкрепляющего ребра



Р и с.4. Влияние интенсивностей граничных усилий на высоту подкрепления

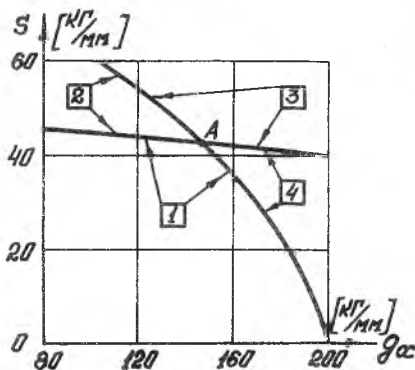


Р и с.5. Влияние интенсивностей граничных усилий на приведенную толщину панели

т.е. ограничение, характеризующее работоспособность панели в целом (общее ограничение). Остальные (местные, локальные) ограничения, определяющие работоспособность отдельных составляющих панель элементов, участвовали в формировании оптимума только в определенных диапазонах изменения граничных усилий g_x и S .

На рис.6 область исследованных значений граничных усилий g_x и S разделена на четыре зоны. Каждой зоне отвечает вполне конкретная совокупность активных локальных ограничений:

- 1 зона - $\Gamma_{MO} = I, \bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{mc}$;
- 2 зона - $\bar{\sigma}_0^L = \bar{\sigma}_0^{L+}, \bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{mc}$;
- 3 зона - $\bar{\sigma}_0^L = \bar{\sigma}_0^{L+}, h_p = 26\text{мм}$;
- 4 зона - $\Gamma_{MO} = I, h_p = 26\text{мм}$.



Р и с.6. Зоны активных локальных ограничений

Таким образом, каждому сочетанию граничных усилий g_x и S , действующих на панель, соответствует вполне определенная совокупность активных ограничений. Их знание существенно упростило бы задачу весовой оптимизации панелей. Однако определение активных ограничений сопряжено с большими трудностями, ибо на участие того или иного ограничения в формировании оптимума

влияет множество факторов: интенсивность внешних воздействий, конкретизация величин предельных значений характеристик работоспособности и конструктивно-технологических ограничений и т.д. Показательным в этом отношении является сочетание граничных усилий g_x и S , соответствующих точке "А" на рис.6. В этом частном случае для панели минимального веса выполняются одновременно следующие условия:

$$\Gamma_{оп} = I, \Gamma_{MO} = I, \bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_c^+, \bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{mc}, \bar{\sigma}_0^L = \bar{\sigma}_0^{L+}, h_p = 26 \text{ мм}.$$

Для значений граничных усилий, соответствующих зоне I, расчетные напряжения элементов оптимальных панелей равны критическим и максимальны, а вектор граничных усилий равен вектору критических нагрузок, т.е. имеет место равноустойчивость. Из этого можно сделать вывод, что равноустойчивость является частным критерием оптимальности, который справедлив при определенном сочетании значений граничных усилий и ограничений задачи (I).

Л и т е р а т у р а

1. Андриенко А.И. Пожсковый алгоритм оптимального проектирования подкрепленных панелей. - В кн.: Вопросы проектирования самолетных конструкций. Вып. I, Харьков, 1978, с.46-52.

2. Андриенко А.И., Колесников Л.А., Рябченко В.М. Аналитическое проектирование оребренных панелей при комбинированном безмоментном нагружении. - В кн.: Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций. Вып. I, Харьков, 1975, с.33-39.

3. Андриенко А.И., Рябченко В.М., Топоров В.Г. К расчету характеристик некоторых форм неустойчивости при аналитическом проектировании панелей. - В кн.: Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций. Вып. I, Харьков, 1975, с.51-61.

УДК 629.7.02

В.Н. Хивинцев

МЕТОД ОТЫСКАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПО ЗАДАННОМУ ВЕКТОРУ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

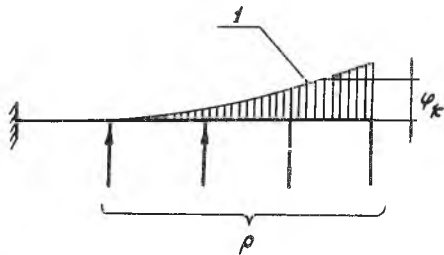
Пусть имеется сооружение (например крыло), нагруженное системой внешних сил P и которое при этом приобретает вполне определенное деформированное состояние, характеризуемое вектором обобщенных перемещений (рис.1).

$$\varphi_0 = \{\varphi_{01}, \varphi_{02}, \dots, \varphi_{0k}, \dots, \varphi_{0m}\}.$$

По условию задачи требуется за счет дополнительного распределения материала уменьшить перемещения до величин, определяемых вектором заданных перемещений

$$\varphi_g = \{\varphi_{g1}, \varphi_{g2}, \dots, \varphi_{gk}, \dots, \varphi_{gm}\}$$

так, чтобы дополнительные затраты материала, при условии сохранения прочности,



P и с.1. Схема деформации балки:
I-линия прогибов