

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

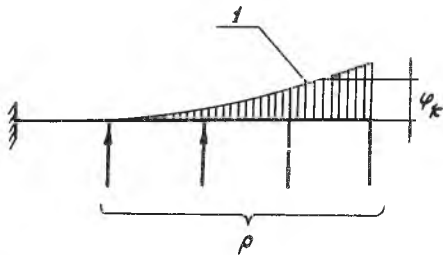
Пусть имеется сооружение (например крыло), нагруженное системой внешних сил P и которое при этом приобретает вполне определенное деформированное состояние, характеризуемое вектором обобщенных перемещений (рис.1).

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

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

были минимальными. Величину заданных перемещений можно нормировать коэффициентами увеличения локальной жесткости по перемещению

$$\alpha_k = \varphi_{0k} / \varphi_{dk}.$$

Для простоты и общности решения представим сооружение как дискретную систему, состоящую из множества конечных тонкостенных элементов, которые могут быть выполнены из разных материалов.

Введем обозначения для элемента:

R_i, \bar{R}_{ik} – силовые потоки в нагруженном и единичных состояниях;
 $S_i, \delta_i, G_i, \Delta i$ – площадь, толщина, масса и удельная податливость материала стенки.

Индексом i ($i=1 \div n$) обозначены элементы, индексом k ($k=1 \div m$) определяемые перемещения.

В пределах каждого элемента силовые потоки и толщина стенки приняты постоянными [2].

Вектор текущих перемещений запишется

$$\varphi = \bar{R}^T \times B \times R, \quad (I)$$

где \bar{R} – прямоугольная матрица ($n \times m$) силовых потоков в единичных состояниях (T – транспонированная);

R – вектор силовых потоков в нагруженном состоянии;

B – диагональная матрица податливостей, элементы которой определяются выражением $B_i = \frac{S_i \Delta i}{G_i}$.

Нахождение рационального распределения масс между элементами производится для каждого заданного перемещения по методике, изложенной в [1]. Для этого элементы разбиваются на три группы, характеризуемые признаками, определяющими принцип подбора его рациональной массы (объема)*:

1 – группа элементов с положительными интегралами Мора и, отвечающих прочностным и конструктивным требованиям

$$q_{ik} = R_i \bar{R}_{ik} S_i^2 > 0; \quad \sigma_i \leq [\sigma]; \quad \delta_i^2 \geq \delta_{пред}^2;$$

2 – группа элементов с отрицательными интегралами Мора или, не отвечающих требованию прочности

$$q_{jk} < 0 \quad \text{или} \quad \sigma_j > [\sigma];$$

3 – группа элементов, не отвечающих конструктивным требованиям

$$\delta_{rk}^2 < \delta_{пред}^2.$$

Подбор рациональных масс элементов по каждому случаю перемещения

* В работе [1] разбивка элементов на группы отлична от принятой, которая в данном случае наиболее рациональна для программирования.

производится по схеме:

элементы гр.1

$$G_{ik} = \sqrt{g_{ik} \cdot \Delta i} \frac{\sum_i \sqrt{g_{ik} \cdot \Delta i}}{\varphi_{gk} - \sum_j \frac{g_{jk} \Delta j}{G_{jk}} - \sum_r \frac{g_{rk} \Delta r}{G_r}}$$

элементы гр.2

$$G_{jk} = \left| \frac{R_i}{[G]} \right| S_j \chi_j$$

элементы гр.3

$$G_{rk} = S_r \cdot \delta_{пред} \chi_r$$

(2)

Необходимо отметить, что одни и те же элементы в зависимости от случая заданного перемещения могут быть причислены к различным группам, а при переходе к последующей итерации могут менять группу. Эти обстоятельства должны быть учтены при составлении программы расчета на ЭВМ.

В результате расчета по схеме(2) получаем матрицу G_T , которую назовем матрицей текущих масс

$$G_T = \|G_{ik}\|; (i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m). \quad (3)$$

Нетрудно заметить, что i -я строка матрицы составлена из значений рациональных масс i -го элемента по всем случаям перемещений. Из всей совокупности этих значений для дальнейшего расчета можно принять их максимальные и минимальные значения. В соответствии с этим намечаются два случая расчета:

Случай 1 - $G_i = G_{ik \max}$;

Случай 2 - $G_i = G_{ik \min}$.

Однако ни один из этих случаев не может быть принят безоговорочно. Но как показывают предварительные расчеты, наибольшее предпочтение следует отдать первому варианту расчета, хотя оба варианта достаточно близки по результатам. Исходя из этого, массу i -го элемента, принятую по тому или иному варианту, для дальнейшего расчета обозначим \bar{G}_{ik} .

Так как \bar{G}_{ik} приняты из различных случаев перемещений, то действительные перемещения в конструкции будут уже другими. Для того чтобы удовлетворить условию равенства перемещений заданным, следует откорректировать массы по выражению

$$G_{ip} = \mu_k \bar{G}_{ik}$$

Для определения коэффициентов изменения масс μ_k составляется система уравнений совместности перемещений:

$$A \times X = \varphi_g, \quad (4)$$

где A - матрица линейных преобразований;

$$X = \{1/\mu_1; 1/\mu_2; \dots; 1/\mu_m\}.$$

Матрица A определяется

$$A = \bar{R}^T \times B_0 \times R_0 \times G_0,$$

где B_0 - диагональная матрица, получаемая из матрицы податливости при $G_{ik} = 1$;

R_0 - вектор R , развернутый в диагональную матрицу;

G_0 - прямоугольная матрица ($n \times m$).

Матрица G_0 получается из G_T следующим образом: сначала на месте всех элементов строки кроме $G_{ik} = \bar{G}_{ik}$ ставятся нули (матрица G), затем ненулевые элементы заменяются их обратными величинами.

В результате решения системы (4) определяются векторы X

$$M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m\}$$

и вектор рациональных масс

$$G_p = G \times M.$$

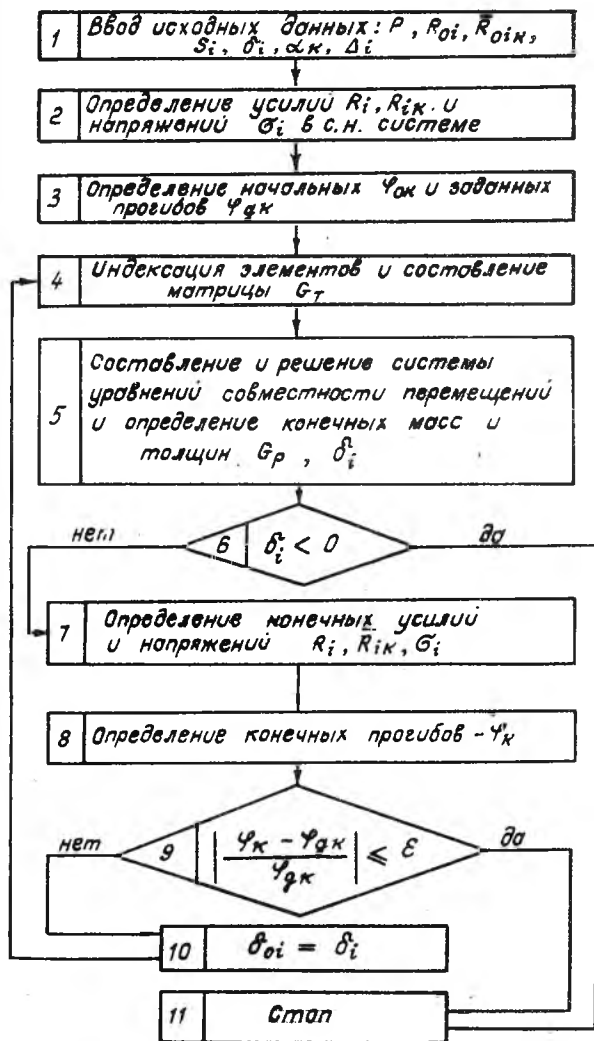
Расчет статически неопределимых систем ведется итерационным методом в предположении неизменности усилий на каждом шаге перераспределения материала [3].

Следует обратить внимание на тот факт, что существует некоторая ограниченность в выборе коэффициентов d_k , что связано с вероятностью получения абстрактной конструкции. Для реальной конструкции необходимо, по крайней мере, чтобы решение системы (4) было только положительным.

Определенных рекомендаций на этот счет дать пока не представляется возможным. Этот вопрос требует дополнительных исследований.

Решение задачи реализуется алгоритмом на рис.2.

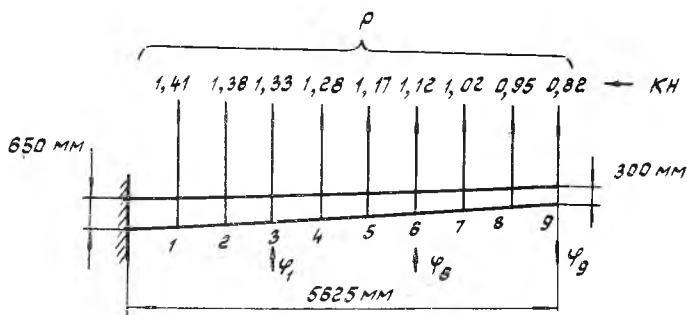
Алгоритм был апробирован на ряде примеров. Программы составлены на языке Фортран-IV и решались на ЕС-1020.



Р и с.2. Блок-схема алгоритма

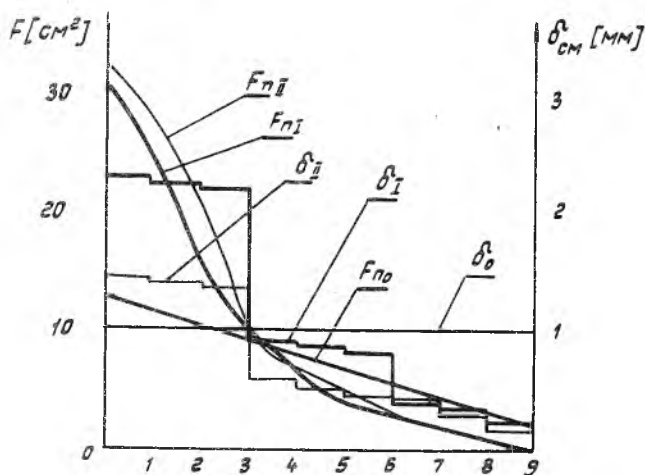
Ниже приведены окончательные результаты решения двух примеров конструкций.

Пример I. Статически определяемая балка типа лонжерон (рис.3), выполненная пеликом из Д16Т. Были приняты $\alpha_3=2,22$; $\alpha_6=1,538$; $\alpha_9=1,176$. Начальный общий объем материала составил 9899 см^3 .



Р и с.3. Схема лонжерона крыла

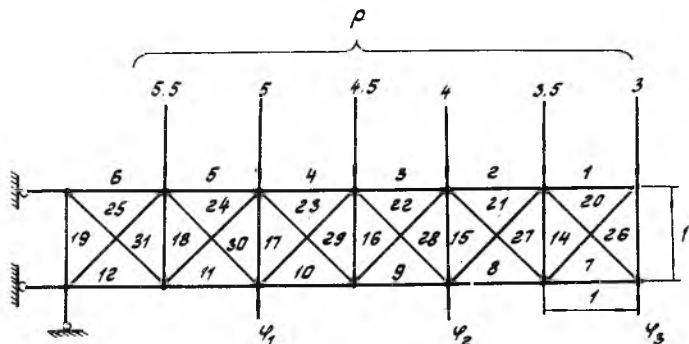
Результаты решения приведены на графике (рис.4), где даны исходные $F_{п0}, \delta_0^0$ и окончательные распределения площадей сечений поясов $F_{п1}, F_{п2}$ и толщин стенок δ_1^1, δ_2^2 по длине балки, соответственно двум случаям расчета (3).



Р и с.4. Геометрические характеристики лонжерона по результатам оптимизации

Общий суммарный объем материала в случае [I] составил 13411 см³, в случае II-13962 см³. Таким образом, при среднем значении $\alpha_{ср} = 1,64$ приращения объема материала в случае I составило - 35,6%, в случае II - 40,5%.

Пример 2. Статически неопределимая ферма (рис.5). Все весовые, геометрические и прочностные параметры приняты в условных единицах. $\alpha_1 = 1,4$; $\alpha_2 = 1,46$; $\alpha_3 = 1,5$; степень точности решения $\pm 5\%$.



Р и с.5. Статически неопределимая ферма

В таблице приведены начальные площади сечения стержней в условных единицах и коэффициенты их приращения после оптимизации.

Т а б л и ц а

$\frac{N}{cm}$	F_0	F_k / F_0	$\frac{N}{cm}$	F_0	F_k / F_0	$\frac{N}{cm}$	F_0	F_k / F_0
I	3,0	1,155	I2	80,5	1,5	23	19,2	1,32
2	9,5	1,32	I3	3,0	0,287	24	29,7	0,97
3	20,0	1,18	I4	7,5	0,159	25	43,2	1,27
4	35,0	1,48	I5	11,5	0,023	26	1,77	2,07
5	55,0	1,45	I6	15,5	0,148	27	5,42	1,1
6	80,5	1,755	I7	20,0	0,078	28	10,6	1,78
7	3,0	0,86	I8	25,0	0,155	29	19,2	0,95
8	9,5	1,15	I9	35,0	0,427	30	29,7	1,58
9	20,0	1,128	20	1,77	2,7	31	43,2	0,8
10	35,0	1,03	21	5,42	1,5			
11	55,0	1,47	22	10,6	1,29			

Общий начальный объем материала составил 829 условных единиц, конечный - 979,6. Таким образом при $\alpha_{ср} = 1,453$ приращение объема составило - 18,1%.

Текущие объемы определялись по случаю I. При заданной степени точности решение уложилось всего в три итерации.

В обоих примерах конструктивные ограничения не накладывались.

Л и т е р а т у р а

1. Хивинцев В.Н. К решению задачи с рациональным распределением материала в конструкции с учетом ограничений по перемещению. - В сб.: Автоматизация проектирования авиационных конструкций. Вып. I, Куйбышев, КуАИ, 1979.

2. И в а н о в а Е.А., К о м а р о в В.А. Рациональное повышение жесткости крыльев. - В сб.: Оптимальное проектирование авиационных конструкций. Вып. I, Куйбышев, 1973.

3. К о м а р о в А.А. Основы проектирования силовых конструкций. Куйбышевское книжное издательство., 1965.

УДК 629.7.02:539.52.001.2

Ю.К. Сиразутдинов

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Автоматизация проектирования сложных инженерных конструкций ставит проблему отыскания метода их оптимизации.

В работе предлагается метод оптимизации сложных стержневых систем при условии рационального и более полного использования прочностных свойств материала. Сложная стержневая система при оптимизации разбивается на ряд уровней проектирования от простейших к более сложным элементам (рис. I).

Каждый уровень наделяется некоторой самостоятельностью в управлении процессом проектирования оптимальных систем в смысле выбора управляющих функций, фазовых координат, критериев оптимальности и методов оптимизации.

Количество уровней зависит от ряда факторов, например, от типа