

УДК 624.073.1.04.681.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРТОТРОПНЫХ СОСТАВНЫХ ПЛАСТИН

Должиков В.Н., Должикова Е.Н.

ФГБОУ ВПО «Сочинский Государственный университет», Сочи, e-mail: doljikov_v@mail.ru

Рассмотрены результаты оптимального проектирования трехслойных пластин с гофрированными металлческими обшивками трапециевидальной и волнистой формы с образующей, направленной вдоль длинной стороны. Приводятся основные допущения при расчете и математическая модель оптимального проектирования трехслойной пластины с несущими гофрированными слоями в форме трапеций и волн. Сделан вывод о линейной зависимости между минимальной толщиной среднего слоя и стоимостью пластины.

Ключевые слова: трехслойная пластина, гофрированная обшивка, целевая функция, допущения, ограничения, результаты оптимизации

OPTIMIZATION OF THE ORTOTROPNYKH PARAMETERS OF COMPOUND PLATES

Dolzhikov V.N., Dolzhikova E.N.

FGBOU VPO «Sochi State University», Sochi, e-mail: doljikov_v@mail.ru

Results of optimum design of three-layer plates with corrugated metal coverings of a trapezoidal and wavy form from the long party forming, directed lengthways are considered. The main assumptions at calculation are given and mathematical model of optimum design of a three-layer plate with the bearing corrugated layers in the form of trapezes and waves. The conclusion is drawn on linear dependence between the minimum thickness of the center and cost of a plate.

Keywords: three-layer plate, corrugated covering, criterion function, assumptions, restrictions, results of optimization

В настоящее время к числу важнейших и наиболее быстро развивающихся направлений относится теория оптимального проектирования конструкций. Оптимальный выбор геометрических характеристик тонкостенных упругих конструкций, а именно: форма и размеры сечений стержней и балок, толщины мембран или пластинок, кривизны и толщины оболочек занимают существенное место среди широкого класса практически важных задач. В качестве примера оптимизации была выбрана прямоугольная в плане трехслойная пластина с размерами сторон 3*6 м опертая по коротким сторонам.

В первом варианте задачи внешние слои пластины представляют собой гофрированные металлческие листы трапециевидальной формы с образующей, направленной вдоль длинной стороны. Во втором варианте была рассмотрена трехслойная пластина с гофрированными волнистыми обшивками, образованными по дуге окружности. Обшивки пластины как в первом, так и во втором варианте выполнены из сплава алюминия АМцМ с нормативным сопротивлением при изгибе 60 МПа. Материалом среднего слоя является пенопласт ПХВ-1 с объемным весом 1 кН/м³ и нормативным сопротивлением сдвигу 0,73 МПа. Расчет пластины выполнялся для равномерно распределенной нагрузки интенсивностью $q = 2,5$ кН/м²; 3,0 кН/м² и 4,0 кН/м².

При оптимизации пластины с гофрированными трапециевидальными обшивками геометрические параметры пластины определялись при заданном количестве гофров $n = 15, 20, 30$. При этом для каждого количества выполнялась серия расчетов с заданными толщинами внешних слоев. Изменение толщины δ выполнялось с шагом 0,01 мм в интервале 0,08–0,12 см. Расчеты по определению оптимальных параметров проводились методом нелинейного программирования. В процессе решения задачи определялись оптимальные значения ширины полки гофра a_i , расстояния между геометрическими осями обшивок H_i и толщины подкрепляющего слоя заполнителя H_0 .

В работе, при разработке методики оптимизационного расчета составных пластин приняты следующие допущения:

– равномерно распределенная нагрузка носит статический характер, процесс нагружения – однократный;

– материал системы ортотропный, идеально жесткопластичный. Материал считается недеформируемым до тех пор, пока напряжения не превысят предел текучести. Это допущение позволяет перейти к идеальной жесткопластической модели реального тела, описываемой диаграммой Прандтля;

– трехслойная пластина представляет собой ряд тонких упругих пластинок, соединенных между собой упругоподатливыми связями сдвига и абсолютно жесткими

поперечными связями. Для каждой составляющей пластинки считается гипотеза прямых нормалей;

– предельным состоянием составной пластины считается наступление пластического разрушения;

– учитывая, что деформации при пластическом разрушении незначительны, уравнения равновесия составляются для недеформированной системы;

– пластина отнесена к ортогональной системе координат xOy . Нормальные напряжения в k -том слое, действующие на площадках, параллельных к поверхностям координат xOy пренебрежительно малы.

Математическая модель оптимального проектирования трехслойной пластины с несущими гофрированными слоями в форме трапеций представляется целевой функцией стоимости материала конструкции C [1]:

$$C = 4\delta LP_1 \sum_{i=1}^n (a_i + b_i) + LP_2 \sum_{j=1}^3 k_j H_j,$$

где δ – толщина обшивки листа; n – количество гофров на ширину пластины B ; L – длина пластины; l – длина участков поперечного сечения пластины с одинаковыми параметрами гофров; a_i – ширина полки i -го гофра; k_j – количество гофров на j -том участке поперечного сечения пластины; H_j – расстояние между геометрическими осями обшивок; H_0 – толщина слоя заполнителя, подкрепляющего внутренние полки профиля обшивок; b_i – длина наклонной стенки i -го трапецеидального гофра. Кроме того математическая модель представляется областью допустимых значений в пространстве $M_x, M_y, M_{xy}, T_x, T_y$ определяемой ограничениями.

В качестве ограничений приняты [2]: – уравнение равновесия для k -той точки дискретной модели пластины; – выражения приведенных толщин относительно осей O_x и O_y ; – условие Хилла [3] с матрицей текучести; – условия прочности для заполнителя; – условие местной устойчивости для сжатых полок гофра, условия теплотехнического расчета и технологической осуществимости.

Ограничения в виде равенств и неравенств составлялись для всех точек конечно разностной сетки. Для рассмотренной четвертой части пластины задача имеет 48 неизвестных (25 моментов, 10 сдвигающих усилий, 13 геометрических параметров) и 97 ограничений (19 равенств и 78 неравенств).

Результаты расчетов по определению оптимальных параметров трехслойной пластины с трапецеидальными гофрированными обшивками показали, что увеличение нагрузки с 2,5 кН/м² до 4,0 кН/м² приводит к увеличению минимальной толщины среднего слоя для различного количества гофров но не более чем в 2 раза. С увеличением нагрузки до 4,0 кН/м² стоимость трехслойной пластины с трапецеидальными гофрами увеличивается в среднем на 20%. При этом минимальное изменение стоимости на 10,4% приходится на пластину с количеством гофров $n = 15$ и толщиной листа обшивки $\delta = 0,12$ см. Максимально увеличилась стоимость (на 32,8%) в пластине с количеством гофров $n = 30$ и толщиной листа обшивки $\delta = 0,02$ см. Выборочные результаты расчетов по определению оптимальных параметров трехслойной пластины с трапецеидальными гофрированными обшивками приведены в [4].

Результаты оптимизации пластины с круговой формой гофров внешних обшивок

Нагрузка q , кН/м ²	Угол раскрытия волны гофра, α , град			Высота гофров, см			min толщина среднего слоя H_0 , см	Стоимость материала пластины, \$
	α_1	α_2	α_3	h_1	h_2	h_3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\delta = 0,10$ см								
2,5	80,26	80,00	80,38	3,83	1,98	1,21	2,42	73,73
3,0	80,40	80,10	80,30	3,87	1,91	1,04	3,59	82,20
4,0	80,80	80,06	80,50	3,75	1,97	1,37	5,96	100,94
$\delta = 0,12$ см								
2,5	80,28	79,89	80,66	4,02	1,99	1,59	1,91	78,62
3,0	80,30	79,84	79,90	3,87	2,00	1,56	2,64	83,89
4,0	80,40	80,00	80,20	3,75	1,86	1,43	4,32	95,65

Результаты расчетов (выборочные) по определению оптимальных параметров трехслойных пластин с волнистыми гофрами внешних обшивок приведены в таблице.

Анализ результатов оптимизации трехслойных пластин с волнистыми гофрами показал, что изменение минимальной толщины среднего слоя H_0 и стоимости пластины изменяются по линейному закону. С увеличением нагрузки до $4,0 \text{ кН/м}^2$ минимальная толщина среднего слоя увеличивается до 2,5 раз, а стоимость пластины увеличивается на 20–30%.

Список литературы

1. Райзер В.Д., Должиков В.Н., Должикова Е.Н. Определение оптимальных параметров составных пластин методом нелинейного программирования // Строительная механика и расчет сооружений. – 1987. – № 1. – С. 21–23.
2. Должикова Е.Н. Оптимизация параметров ортотропных составных пластин: дис...канд.техн.наук. – М.: МИСИ, 1986. – С. 58–85.
3. Хилл Р. Математическая теория пластичности. – М.: Гостехиздат, 1956. – 407 с.
4. Должиков В.Н., Должикова Е.Н. Оптимальное проектирование трехслойных пластин с гофрированными металлическими обшивками // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 12. – С. 30–31.