УДК 539.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯРНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТОНКОЙ ПЛАСТИНЫ

Н. А. ЛОКТЕВА [1,2], С. А. БОРШЕВЕЦКИЙ [1]
[1]Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация
[2]НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

В данной работе выполнено исследование микрометеороидной защиты (ММЗ). Она представляет собой тонкостенную оболочку, призванную защищать аппаратуру на носу космического летательного аппарата от микрометеоритов. Однако не меньшую опасность для оборудования представляет космонавт, который может случайным образом воздействовать на оболочку во время ремонтных работ и повредить аппаратуру. Для противодействия этому оболочка специальным образом подкрепляется подпорками изнутри. Для разработки метода расчета количества опор и их положения рассматривается упрощенный вариант задачи. Изучается взаимодействие шарнирно опертой по краям и имеющей дополнительные опоры по площади пластины со специальной нагрузкой в виде дельта-функции. В качестве модели пластины была выбрана пластина Кирхгофа – Лява [1]. Начало координат помещено в левый верхний угол пластины (рисунок 1).

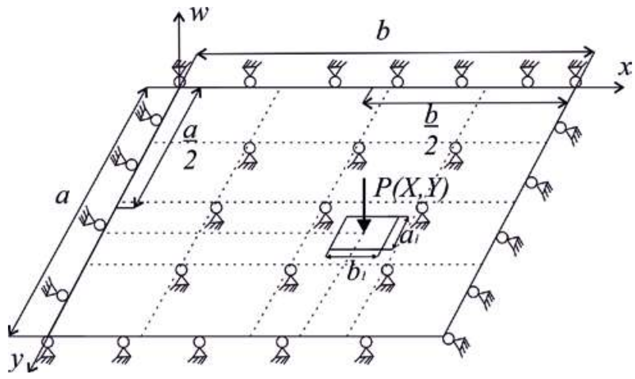

Рисунок 1 – Шарнирно опертая пластина с дополнительными подкреплениями под воздействием внешней нагрузки *P*

Имеется тонкая прямоугольная пластинка с размерами a и b с началом координат в одной из вершин. На данную пластину в произвольном месте с координатами (X, Y) на небольшую площадку с размерами a_1 и b_1 действует сосредоточенная сила. Пластина шарнирно закреплена по периметру и регулярно подкреплена внутри, образуя равные сегменты, таким образом, что максимальное значение прогиба не превышает величину w_0, установленную условием прочности. Необходимо определить геометрические характеристики регулярного закрепления. Задача решается в два этапа.

На первом этапе рассматривается только шарнирно опёртая прямоугольная пластина, на которую действует сосредоточенная нагрузка. Прикладывается она в центр пластины, так как он максимально удален от закреплений на кромках. Задача, поставленная на данном этапе работы, заключается в определении оптимального расположения опор, которые будут располагаться относительно точки приложения нагрузки и находятся на окружности с радиусом $y_{\max}$, центр которой совпадает с точкой приложения внешней нагрузки. За основу берётся опора с координатами $\left(b/2 + y_{\max}\cos(\pi/4),\ a/2 + y_{\max}\sin(\pi/4)\right)$, а остальные три опоры выстраиваются относительно неё по окружности, образуя квадратную ячейку.

Далее записывается уравнение движения пластины (1). Функция прогиба определяется как сумма сверток функций влияния с соответствующей внешней нагрузкой и реакциями в дополнительных опорах:

$$w = -G(x,y)P + \sum_{i=1}^{3} G(x,y)P_i, \tag{1}$$

где $G\ (x,\ y)$ – функция Грина при воздействии дельта-функции на шарнирно опертую пластину; P – внешняя нагрузка; P_i – реакции в точках расположения дополнительных опор.

Для определения значения функции влияния на основании [2, 3] все входящие в выражения движения пластины функции раскладываются в ряды Фурье таким образом, чтобы удовлетворялись граничные условия по краям пластины. Значения реакций в опорах определяется из граничных условий в дополнительных шарнирных опорах:

$$w_i(x_i, y_i) = w_i''(x_i, y_i) = 0, \qquad i = 1, 2, 3. \tag{2}$$

После этого определяется функция прогиба пластины в коэффициентах рядом Фурье, где координаты расположения опор являются параметрами.

Подставив граничные условия в функцию прогиба, получаем СЛАУ относительно реакций в опорах, решение которой находится методом Крамера, что позволяет определить величины реакционных сил.

На втором этапе за счет установленных выше зависимостей расположения опор, вписанных в окружность, исходя из значения полученного радиуса y_{max} определяется оптимальный размер сегмента. После этого определяется количество сегментов, а соответственно и опор, необходимых для выполнения условия жесткости. Допускается уменьшение размера сегмента (для целочисленного разбиения) или установка на одну опору больше по направлению. Выполнив размежевание пластины, производим те же действия, что и на первом этапе: записывание граничных условий для всех опор, представление прогиба в виде функций влияния, решения СЛАУ правилом Крамера, разложение функций влияния в ряды, определение коэффициентов разложения и подстановку найденного в функцию прогиба $w(x, y)$.

Вывод. В результате выполненных выше действий получена функция прогиба $w(x, y, X, Y)$, где величины X и Y появляются из коэффициентов рядов и определяют координаты приложения нагрузки на пластину. Задавая их различные значения, получим разные графики прогибов пластины. Однако ни в одном из них не будет нарушаться условие прочности конструкции: непревышение прогибом заданной величины w_0.

Рассматривалась пластина размером 900 на 1400 мм. В результате получены значения прогиба для данной пластины при условии жесткости w_0 = 6 мм (рисунок 2).

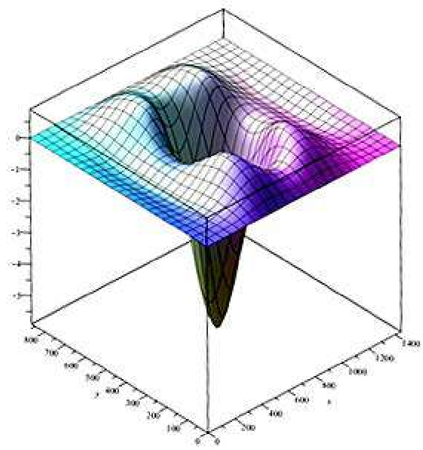

Рисунок 2 – Нормальное перемещение $w(x, y)$ пластины с дополнительными опорами при воздействии сосредоточенной силы по центру пластины

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 19-08-00968 А.

Список литературы

1 Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков [и др.] – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.

2 **Чернина, В. С.** Статика тонкостенных оболочек вращения / В. С. Чернина. – М. : Наука, 1968. – 456 с.

3 **Корн, Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974.– 832 с.

УДК 539.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ С ПРЕГРАДОЙ В ВИДЕ СЕГМЕНТА ОБОЛОЧКИ В АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Н. А. ЛОКТЕВА[1,2], С. И. ИВАНОВ[1]

[1] Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

[2] НИИ Механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Негативное влияние повышенного шумового фона давно доказано и сомнению не подлежит. Однако расширение в первую очередь транспортной инфраструктуры в рамках уже существующей застройки в современных городах не позволяет расположить трассы и железнодорожные полотна на таком расстоянии от жилых домов и офисных зданий, чтобы отрицательное влияние шума от движущегося транспорта было минимальным. Частичное решение данной проблемы найдено и заключается оно в установке звукоизолирующих преград в виде панелей различной конфигурации.

В данной работе изучается взаимодействие сегмента оболочки с волной, распространяющейся в акустическом пространстве.

Рассматривается сегмент тонкой упругой изотропной оболочки типа Кирхгофа – Лява постоянной толщины h и радиуса r, угол $\alpha = \pi/6$ (рисунок 1). Задача решается в цилиндрической системе