

УДК 621.396:681.3

А. Б. ТЕРЕХОВИЧ, О. А. ИЛЬЮТЕНКО

## ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОСКИХ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ АНТЕННЫХ УКРЫТИЙ

В процессе проектирования антенного радиопрозрачного укрытия необходимо преодолеть ряд противоречивых требований [1], чтобы оптимально сочетать прочностный и радиотехнические расчеты. Как правило, с увеличением прочности укрытия происходит ухудшение его радиотехнических характеристик (уменьшение коэффициента прохождения и др.), и наоборот, при улучшении радиотехнических характеристик уменьшается механическая прочность. Определение количества, геометрических размеров и взаимного расположения конструктивных элементов укрытия в первую очередь зависит от требований высокой радиопрозрачности.

Для решения задачи проектирования плоского укрытия требуется прежде всего так выбрать математические модели для прочностного и электродинамического расчетов, чтобы они по своему уровню наиболее оптимально соответствовали друг другу, особенно при машинном диалоговом проектировании. В настоящей работе рассмотрены результаты исследований прочностной модели для плоского радиопрозрачного укрытия с заданной радиопрозрачностью.

Рассмотрим элементы радиопрозрачного укрытия в форме косоугольных пластин. В основе расчета пластинок косоугольной формы малого прогиба, как и прямоугольных пластин, используются гипотезы теории упругости [2].

1. Линейные элементы пластинки, перпендикулярные к срединной плоскости до и после изгиба, остаются прямолинейными и нормальными к срединной плоскости.

2. Срединная плоскость не испытывает никаких растяжений и играет роль нейтрального слоя.

Дифференциальное уравнение изгиба рассматриваемой пластины в косоугольной системе координат имеет вид [3]:

$$\nabla^4 W = \frac{Q}{D} \sin^4 \gamma, \quad (1)$$

где

$$\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2(1 + 2 \cos^2 \gamma) \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} - 4 \cos \gamma \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial^4}{\partial y^4}; \quad (2)$$

$W$  — прогиб;  $Q$  — нагрузка;  $D$  — цилиндрическая жесткость пластины;  $\gamma$  — угол скоса пластины.

Это уравнение аналогично уравнению изгиба прямоугольных жестких пластин в прямоугольной системе координат. Граничные условия на

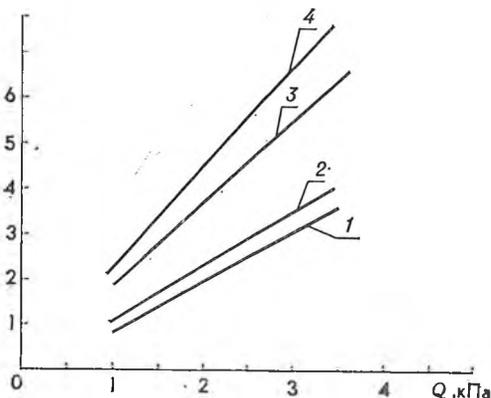
кромках пластины также соответствуют граничным условиям прямоугольных пластин аналогичного опирания.

Возьмем пластинку с жестко заделанными кромками. Оси координат расположим в центре пластины. Ось  $x$  направим вдоль стороны длиной  $2a$ , ось  $y$  вдоль стороны длиной  $2b$ , ось  $z$  вниз. В этом случае на жестко заделанных краях прогибы равны нулю ( $W = 0$ ), а прямая, лежащая в срединной плоскости и перпендикулярная к кромке, не поворачивается. Граничные условия имеют вид:

$$\text{при } x = \pm a \quad W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial W}{\partial y} \cos \gamma = 0; \quad (3)$$

$$\text{при } y = \pm b \quad W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial y} - \frac{\partial W}{\partial x} \cos \gamma = 0.$$

$\sigma, 10^2 \text{ Па}$



Зависимость напряжений  $\sigma$  от внешней нагрузки  $Q$  в центре (1, 2) и середине закрепленной стороны (3, 4):

1, 4 — для рассмотренного метода; 2, 3 — точное значение

Решение (1) в общем виде и в некоторых частных случаях затруднительно, а для диалогового режима расчета плоского укрытия при заданных ограничениях на его радиопрозрачность и другие радиотехнические параметры — невозможно, поэтому предлагается использовать приближенное решение уравнения.

Рассмотрим плоское антенное укрытие, находящееся под воздействием равномерно распределенного по всей поверхности давления интенсивностью  $Q$ , с граничными условиями (3). Решение возьмем в виде ряда алгебраических полиномов [3]. Согласно методу Бубнова — Галеркина, уравнение (1) решается в виде ряда

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^N A_i \varphi_i(x, y). \quad (4)$$

Функции  $\varphi_i(x, y)$  удовлетворяют граничным условиям (3). Параметры  $A_i$  определяются из системы алгебраических уравнений:

$$\int_{-a}^a \int_{-b}^b \left( \sum_{i=1}^N A_i \nabla^4 \varphi_i - \frac{Q}{D} \sin^4 \gamma \right) \varphi_k dx dy, \quad (5)$$

где  $\varphi_i$  и  $\varphi_k$  — любые функции из ряда при  $i=1, 2, 3, \dots, N$  и  $k=1, 2, 3, \dots, N$ .

Возьмем аппроксимирующую функцию в виде ряда алгебраических полиномов

$$W(x, y) = \sum_{i=2}^N A_i \varphi_i, \quad (6)$$

где  $\varphi_i = (x^2 - a^2)^i (y^2 - b^2)^i$ . Видно, что каждая функция  $\varphi_i$  удовлетворяет граничным условиям (3) при  $i \geq 2$ .

Рассмотрим решение в первом приближении:

$$W(x, y) = A_2 \varphi_2(x, y) = A_2 (x^2 - a^2)^2 (y^2 - b^2)^2. \quad (7)$$

Подставив (7) в (5), учитывая, что  $\varphi_i = \varphi_k = \varphi_2$ , вычислив интегралы и сделав преобразования, получим значение

$$A_2 = \frac{49Q \sin^4 \gamma}{128[7a^4 + 4a^2 b^2(1 + 2 \cos^2 \gamma) + 7b^4] D}. \quad (8)$$

Подставив (8) в (7), получим выражение для определения прогиба  $W(x, y)$ :

$$W(x, y) = \frac{49Q \sin^4 \gamma (x^2 - a^2) (y^2 - b^2)}{128 [7a^4 + 4a^2b^2(1 + 2 \cos^2 \gamma) + 7b^4] D}. \quad (9)$$

Составим выражения для изгибающих и крутящего моментов:

$$\begin{aligned} M_x &= -4A_2 [(3x^2 - a^2) (y^2 - b^2)^2 + (3y^2 - b^2) \times \\ &\times (x^2 - a^2)^2 (\cos^2 \gamma + \mu \sin^2 \gamma) - 8xy (x^2 - a^2) (y^2 - b^2) \cos \gamma], \\ M_y &= -4A_2 [(3y^2 - b^2) (x^2 - a^2)^2 + (3x^2 - a^2) (y^2 - b^2)^2 \times \\ &\times (\cos^2 \gamma + \mu \sin^2 \gamma) - 8xy (x^2 - a^2) (y^2 - b^2) \cos \gamma], \\ M_{x,y} &= -4A_2 \{ 4xy (x^2 - a^2) (y^2 - b^2) (1 + \cos^2 \gamma - \mu \sin^2 \gamma) - \\ &- \cos \gamma [(3x^2 - a^2) (y^2 - b^2)^2 + (3y^2 - b^2) (x^2 - a^2)^2] \}. \end{aligned}$$

С помощью рассмотренного метода рассчитывалось плоское антенное укрытие с  $\gamma = \pi/2$ ,  $a = 0,4$  м,  $b = 0,4$  м,  $h = 1,5 \cdot 10^{-2}$  м из изотропного материала, имеющего  $\epsilon = 4$ ,  $\text{tg } \delta = 0,01$ ,  $E = 2,17 \cdot 10^7$  кН/м<sup>2</sup>,  $\mu = 0,3$  при заданном коэффициенте прохождения по мощности  $|T|^2 = 0,96$  для электромагнитной волны длиной  $\lambda = 6$  см при различных нагрузках (см. рисунок). Анализ результатов показывает, что значения прогибов и напряжений  $\sigma$  отличаются от точных [2] не более чем на 5,4 и 19,6 % соответственно, что вполне удовлетворяет требованиям при проектировании. Следовательно, учитывая небольшое время счета и получаемую точность вычислений, изложенный метод можно использовать в диалоговых системах проектирования совместно с электродинамическими моделями соответствующего уровня.

### Список литературы

1. Замятин В. И., Ключников А. С., Швецов В. И. Антенные обтекатели. Минск, 1980.
2. Тимошенко С. П., Войновский — Криггер С. Пластинки и оболочки. М., 1963.
3. Замышляев В. И. / Тр. Риж. высш. инж.-авиацион. воен. училища. 1956. Вып. 7. С. 22.

Поступила в редакцию 02.06.87.

УДК 621.373.8

В. В. ГРУЗИНСКИЙ, КИМ У ХЕН, А. В. КУХТО

### ЛАЗЕРНЫЕ АКТИВНЫЕ СРЕДЫ — НАФТАЛИМИДЫ — ДЛЯ СИНЕЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Длительное время отсутствовали достаточно эффективные и фотостойкие активные среды на основе сложных органических соединений для области спектра около 530 нм.

Задача была решена при использовании растворов нафталимидов [1], которые нашли применение в лабораторных и полевых условиях. В дальнейшем круг таких активных сред на нафталимидах существенно расширился [2, 3], среди них найдены достаточно фотостойкие активные среды и их излучением перекрыт диапазон спектра 545—620 нм, поэтому представляло практический интерес получить генерацию на нафталимидах и в синей области спектра. С этой целью нами использовано новое соединение 4-метокси-N-метилнафталимид, на котором получена генерация в области 470 нм и изучены ее свойства.

Накачка растворов производилась по поперечной схеме излучением импульсного азотного лазера ( $\lambda_n = 337$  нм) АЛ-202 и второй гармоники рубинового ( $\lambda_n = 347$  нм) мощностью 0,1 и 5 МВт. Излучение накачки фокусировалось цилиндрической линзой в узкую линию в активной среде. Концентрация растворов подбиралась такой, чтобы на длине волны накачки оптическая плотность раствора составляла  $D \sim 1,0$  на