

или герметика. Образовавшаяся водонепроницаемая мембрана фиксируется на месте балластом из окатанной гальки диаметром 25–40 мм из расчета 50 кг / кв. м или щебня с предохранительной прокладкой из «Дорнита». Система используется при уклонах кровли не больше 15 % и в зданиях, способных выдержать нагрузку балласта;

2) *кровельная с полностью приклеенными поверхностями*. Листы наклеиваются на основание с помощью полимерной мастики, а швы склеиваются с помощью шовного клея или герметика. Система подходит для кровель со сложной конфигурацией или имеющей ограниченную несущую способность;

3) *механического крепления*. По периметру кровли листы могут быть либо приклеены, либо прикреплены механически. Рулоны на кровле крепятся механически с помощью шайб или реек, которые помещаются внутри швов соседних рулонов. Рулоны имеют перехлест 120 мм и склеиваются с помощью шовного герметика с образованием непрерывной водонепроницаемой мембраны. Система требует расчета крепления на выдергивание из основания под кровлю и чтобы плиты утеплителя крепились отдельно от мембраны;

4) *инверсионная*. Применяется в сочетании с влагостойким утеплителем с закрытой структурой, для гидроизоляции эксплуатируемых кровель и устройства зеленых крыш.

Следует отметить, что при одной и той же нагрузке и эксплуатационных воздействиях конструкция мягкой кровли с учетом физико-механических характеристик применяемых материалов может быть: при использовании рубероида – 5 слоев, наплавляемых битумно-полимерных материалов – 2 слоя, а полимерных мембран – 1 слой.

Стоимость ПКГМ и наплавляемых битумно-полимерных материалов сегодня сравнимы, а показатель «цена – качество» явно указывает на приоритет выбора полимерных материалов.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ НЕСУЩИХ СЛОЕВ ТРЕХСЛОЙНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАГРУЗОК

И. И. ПРОТУРО

Белорусский государственный университет транспорта

Приводится математическая постановка задачи для прямоугольной трехслойной ортотропной пластины, аналитическое решение этой задачи в перемещениях, учитывающее локальный характер действующих нагрузок. Исследуется влияние механических характеристик несущих слоев пластины на изменение деформаций при локализации поверхностных нагрузок.

Постановка задачи проводится в прямоугольной системе координат x, y, z , связанной со срединной плоскостью заполнителя. Принято, что пластина шарнирно оперта по контуру. На пластину действует внешняя распределенная поверхностная нагрузка, проекции которой на координатные оси $p_x(x, y)$, $p_y(x, y)$, $q(x, y)$. Через $w(x, y)$ и $u_x(x, y)$, $u_y(x, y)$ обозначены прогиб и продольные перемещения срединной плоскости заполнителя вдоль координатных осей; h_k – толщина k -го слоя ($h_3 = 2c$, $k = 1, 2, 3$); l_x, l_y – размеры пластины вдоль соответствующих осей.

Для описания кинематики пакета приняты гипотезы ломаной нормали: в несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа, в несжимаемом по толщине заполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол, составляющий с координатными осями x, y величины $\Psi_x(x, y)$ и $\Psi_y(x, y)$ соответственно. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев. Деформации малые.

Уравнения равновесия следуют из введенных геометрических гипотез, принципа возможных перемещений Лагранжа и закона Гука для ортотропного тела:

$$\begin{aligned} a_1 u_{x,yy} + a_2 u_{y,xy} + a_3 u_{x,xx} + a_4 \Psi_{x,yy} + a_5 \Psi_{y,xy} + a_6 \Psi_{x,xx} - a_7 w_{,xxx} - a_8 w_{,xyy} + p_x &= 0; \\ a_1 u_{y,xx} + a_9 u_{x,xy} + a_{10} u_{y,yy} + a_4 \Psi_{y,xx} + a_{11} \Psi_{x,xy} + a_{12} \Psi_{y,yy} - a_{13} w_{,yyx} - a_{14} w_{,xyy} + p_y &= 0; \\ a_7 u_{x,xxx} + a_{13} u_{y,yyy} + a_{15} u_{x,xyy} + a_{16} u_{y,xx} + \\ + a_{17} \Psi_{x,xxx} + a_{18} \Psi_{y,yyy} + a_{19} \Psi_{x,xyy} + a_{20} \Psi_{y,xx} - a_{21} w_{,xxx} - a_{22} w_{,yyy} - a_{23} w_{,xyy} + q &= 0; \\ a_6 u_{x,xx} + a_5 u_{y,xy} + a_4 u_{x,yy} + a_{24} \Psi_{x,xx} + a_{25} \Psi_{y,xy} + a_{30} \Psi_{x,yy} - a_{26} w_{,xyy} - a_{27} w_{,xxx} + G_{yz}^{(3)} c \Psi_y &= 0; \\ a_{12} u_{y,yy} + a_{11} u_{x,xy} + a_4 u_{y,xx} + a_{28} \Psi_{y,yy} + a_{29} \Psi_{x,xy} + a_{30} \Psi_{y,xx} - a_{31} w_{,yxx} - a_{32} w_{,yyy} - G_{yz}^{(3)} c \Psi_x &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где коэффициенты a_i выражаются через геометрические и упругие характеристики материалов слоев.

Из полученной системы уравнений, учитывая граничные условия $w = u_{x,x} = u_{y,y} = w_{,xx} = u_{,yy} = 0$ находим неизвестные перемещения.

Действие локальных нагрузок. Поверхностная нагрузка равномерно распределена по площадке, заключенной между прямыми $x = x_1, x = x_2$ ($x_2 > x_1$); $y = y_1, y = y_2$ ($y_2 > y_1$):

$$q(x, y) = q_0 (H_0(x_2 - x) - H_0(x_1 - x))(H_0(y_2 - y) - H_0(y_1 - y)),$$

где q_0 – постоянная величина, H_0 – функция Хевисайда нулевого порядка.

Сосредоточенная сила P приложена в точке $x = x_p, y = y_p$. Предполагается, что ранее рассмотренная локальная поверхностная нагрузка $q(x, y)$ действует в некой малой окрестности точки (x_p, y_p) с размерами ξ_x, ξ_y . Тогда выражение для нагрузки принимает вид

$$q(x, y) = q_0 (H_0(x_p + \xi_x - x) - H_0(x_p - \xi_x - x))(H_0(y_p + \xi_y - y) - H_0(y_p - \xi_y - y)).$$

Решение получаем предельным переходом при $\xi_x, \xi_y \rightarrow 0$, учитывая, что равнодействующая нагрузки $P = 4q_0\xi_x\xi_y$.

Далее, используя полученные выражения для $q(x, y)$ при решении системы уравнений (1), находим неизвестные перемещения $w(x, y), u_x(x, y), u_y(x, y), \Psi_x(x, y)$ и $\Psi_y(x, y)$ от действия локальных нагрузок.

Численные результаты. Получены для трёхслойной квадратной ортотропной пластины, пакет которой составлен из следующих материалов: несущие слои – различные материалы (наименования и механические характеристики приведены в таблице 1); заполнитель – политетрафторэтилен. Толщины слоёв приняты: $h_1 = 0,03, h_2 = 0,03, c = 0,1$ м, линейные размеры – $l_x = l_y = 1$ м.

Исследован максимальный прогиб пластины при действии локальных нагрузок с различной интенсивностью и площадью действия, но одинаковой равнодействующей; в таблице 1, для столбцов: 1 – нагрузка с интенсивностью $q_0 = 0,1$ МПа, равномерно распределенная по всей внешней поверхности слоя 1 пластины; 2 – $q_0 = 0,4$ МПа, равномерно распределена по площадке $x \in [0,25; 0,75], y \in [0,25; 0,75]$; 3 – сосредоточенная сила $P = 100$ кН, действующая в середине пластины.

Таблица 1 – Прогибы при различных нагрузках и материалах несущих слоёв

Наименования материалов	Механические характеристики					Прогиб в центре пластины, мм		
	E_x	E_y	E_{xy}	ν_{xy}	ν_{yx}	1	2	3
	ГПа							
Сплав Д16Т	72	72	26,7	0,35	0,35	0,4361	0,9367	1,3444
Борные волокна в алюминиевой матрице	232	147	49,2	0,21	0,146	0,4183	0,8846	1,2335
Борные волокна на эпоксидном связующем	210,5	21	4,92	0,21	0,02	0,50306	1,1107	1,6947
Высокопрочные углеродные волокна на эпоксидном связующем	126,5	10,5	5,62	0,27	0,02	0,6775	1,5044	2,3807

Как видно из таблицы 1, на прогиб, неизменно увеличивающийся при стягивании площади нагружения к центру, влияет совокупность механических характеристик несущих слоёв как в направлении армирования (параллельном оси ox), так и в направлении перпендикулярном ему.

УДК 624.21/8:004

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ПАРКА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

С. Н. СВИРИДОВИЧ, О. С. ШИМАНСКАЯ
Белорусский национальный технический университет

Современные экономические условия требуют скорейшего перехода отрасли транспортных коммуникаций на путь инновационного развития. Для этого активно разрабатываются и внедряются автоматизированные информационные системы. Методологией и программным инструментарием моделирования и хранения