

Лабораторная работа №3

Расчет упругих характеристик слоистого композита и оценка его прочности при заданном нагружении

Цель работы: спроектировать многослойный композиционный материал, определить его упругие характеристики в направлении осей выбранной системы координат, послойно оценить прочность КМ при заданном нагружении.

ДАНО: Тип армирующего материала, упругие и прочностные характеристики нитей, коэффициент армирования, тип матрицы и ее упругие характеристики, количество однонаправленных слоев, их толщины и углы укладки.

НЕОБХОДИМО:

- определить упругие и прочностные характеристики однонаправленного слоя;
- спроектировать многослойный компонент в соответствии с заданными углами укладки слоев и теорией армирования;
- определить коэффициенты обобщенного закона Гука для слоистого композита;
- определить упругие характеристики многослойного композита в направлении выбранных координатных осей;
- послойно оценить прочность КМ при заданном нагружении.

1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Спроектировать многослойный композит и определить его упругие характеристики.

ЗАДАНО:

1. Количество слоев n .
2. Толщины слоев h_i при $i = 1 \dots n$.
3. Углы укладки слоев φ_i/π при $i = 1 \dots n$.
4. Механические характеристики однонаправленного слоя определены в лабораторной работе №1

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА

1. Принимаем структуру композита по толщине симметричной относительно срединной поверхности (слоя) как по углу укладки слоев, так и по толщине, т.е. слою с углом укладки φ_1 и толщиной h_1 , расположенный с одной стороны срединного слоя, должен соответствовать слой с таким же углом укладки φ_1 и толщиной h_1 , расположенный по другую сторону от срединной поверхности на одинаковом расстоянии от нее (рис. 1).
2. Структура композита должна удовлетворять второму требованию: каждому слою с углом укладки $+\varphi_i$ должен соответствовать слой по другую сторону от срединного слоя с углом укладки $-\varphi_i$, расположенный на таком же расстоянии от срединного слоя.
Два этих требования по расстоянию удовлетворить не возможно. Как правило, в первую очередь удовлетворяется симметрия укладки.

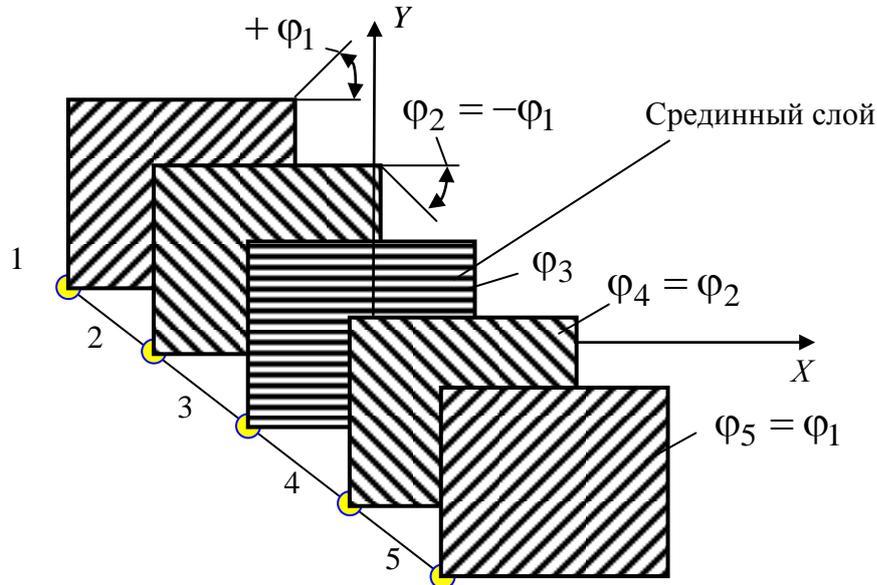


Рис. 1 Структура слоистого композита по толщине

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА

Варианты углов укладки и толщин однонаправленных слоев представлены в приложении в табл. П.1.

- Вычисление относительных толщин слоев:

$$\bar{h}_i = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (1)$$

- Вычисление коэффициентов обобщенного закона Гука для слоистого элемента:

$$A_{11} = \sum_{i=1}^n \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \cos^4 \varphi_i + 2 \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^4 \varphi_i + G_{12}^i \sin^2 2\varphi_i \right]; \quad (2)$$

$$A_{12} = \sum_{i=1}^n \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i + E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} (\sin^4 \varphi_i + \cos^4 \varphi_i) - G_{12}^i \sin^2 2\varphi_i \right]; \quad (3)$$

$$A_{22} = \sum_{i=1}^n \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^4 \varphi_i + 2 \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \cos^4 \varphi_i + G_{12}^i \sin^2 2\varphi_i \right]; \quad (4)$$

$$A_{66} = \sum_{i=1}^n \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i + E_2^i - 2E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + G_{12}^i \cos^2 2\varphi_i \right]. \quad (5)$$

$$A_{16} = A_{26} = 0.$$

- Определение упругих характеристик слоистого композита:

$$E_x = A_{11} - \frac{A_{12}^2}{A_{22}}; \quad E_y = A_{22} - \frac{A_{12}^2}{A_{11}}; \quad G_{xy} = A_{66} \quad (6)$$

(E_x - модуль упругости слоистого композита в направлении оси X , E_y - модуль упругости слоистого композита в направлении оси Y , G_{xy} - модуль сдвига в плоскости XY).

- Находим коэффициенты Пуассона ν_{xy}, ν_{yx} :

$$v_{xy} = \frac{A_{12}}{A_{22}}, \quad v_{yx} = \frac{A_{12}}{A_{11}}. \quad (7)$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА

Коэффициенты термического расширения для слоистого композита определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle\langle \alpha_X(T) \rangle\rangle &= A_{11}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{11}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \bar{Q}_{12}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{16}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k + A_{12}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{12}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{22}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \bar{Q}_{26}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k + \\ &+ A_{16}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{16}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \bar{Q}_{26}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{66}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \langle\langle \alpha_Y(T) \rangle\rangle &= A_{21}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{11}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \bar{Q}_{12}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{16}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k + A_{22}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{12}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{22}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \bar{Q}_{26}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k + \\ &+ A_{26}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{16}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \bar{Q}_{26}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{66}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \langle\langle \alpha_{XY}(T) \rangle\rangle &= A_{61}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{11}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \bar{Q}_{12}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{16}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k + A_{62}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{12}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{22}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \bar{Q}_{26}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k + \\ &+ A_{66}^*(T) \sum_{k=1}^n \bar{h}_k \cdot [\bar{Q}_{16}(T) \cdot \langle\alpha_X(T)\rangle + \bar{Q}_{26}(T) \cdot \langle\alpha_Y(T)\rangle + \\ &+ \bar{Q}_{66}(T) \cdot \langle\alpha_{XY}(T)\rangle]_k; \end{aligned} \quad (10)$$

В этих формулах приняты следующие обозначения:

$$A_{11}^*(T) = \frac{1}{\Delta} [A_{22}(T) \cdot A_{66}(T) - A_{26}^2(T)]; \quad (11)$$

$$A_{12}^*(T) = \frac{1}{\Delta} [A_{16}(T) \cdot A_{26}(T) - A_{22}(T) \cdot A_{66}(T)]; \quad (12)$$

$$A_{22}^*(T) = \frac{1}{\Delta} [A_{11}(T) \cdot A_{66}(T) - A_{16}^2(T)]; \quad (13)$$

$$A_{16}^*(T) = \frac{1}{\Delta} [A_{12}(T) \cdot A_{26}(T) - A_{22}(T) \cdot A_{16}(T)]; \quad (14)$$

$$A_{26}^*(T) = \frac{1}{\Delta} [A_{12}(T) \cdot A_{16}(T) - A_{11}(T) \cdot A_{26}(T)]; \quad (15)$$

$$A_{66}^*(T) = \frac{1}{\Delta} [A_{11}(T) \cdot A_{22}(T) - A_{12}^2(T)]; \quad (16)$$

$$\Delta = A_{11}(T) [A_{22}(T) \cdot A_{66}(T) - A_{26}^2(T)] - A_{12}(T) [A_{66}(T) \cdot A_{12}(T) - A_{16}(T) \cdot A_{26}(T)] + A_{16}(T) [A_{12}(T) \cdot A_{26}(T) - A_{22}(T) \cdot A_{16}(T)]; \quad (17)$$

где $A_{ij}(T) = \sum_{k=1}^n [\bar{Q}_{ij}(T)]_k \bar{h}_k$.

Здесь

$$\bar{Q}_{11} = Q_{11} \cos^4 \varphi + 2(Q_{12} + Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{22} \sin^4 \varphi, \quad (18)$$

$$\bar{Q}_{22} = Q_{11} \sin^4 \varphi + 2(Q_{12} + Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{22} \cos^4 \varphi, \quad (19)$$

$$\bar{Q}_{12} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{12} (\sin^4 \varphi + \cos^4 \varphi), \quad (20)$$

$$\bar{Q}_{66} = (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{66} (\sin^4 \varphi + \cos^4 \varphi), \quad (21)$$

$$\bar{Q}_{16} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin \varphi \cos^3 \varphi + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin^3 \varphi \cos \varphi, \quad (22)$$

$$\bar{Q}_{26} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^3 \varphi \cos \varphi + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \varphi \cos^3 \varphi; \quad (23)$$

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} = \frac{\nu_{21}E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad (24)$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad Q_{66} = G_{12};$$

5. РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

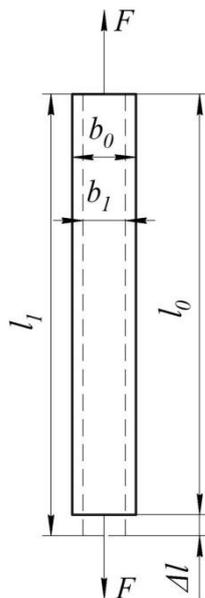


Рис. 1. Схема нагружения образца

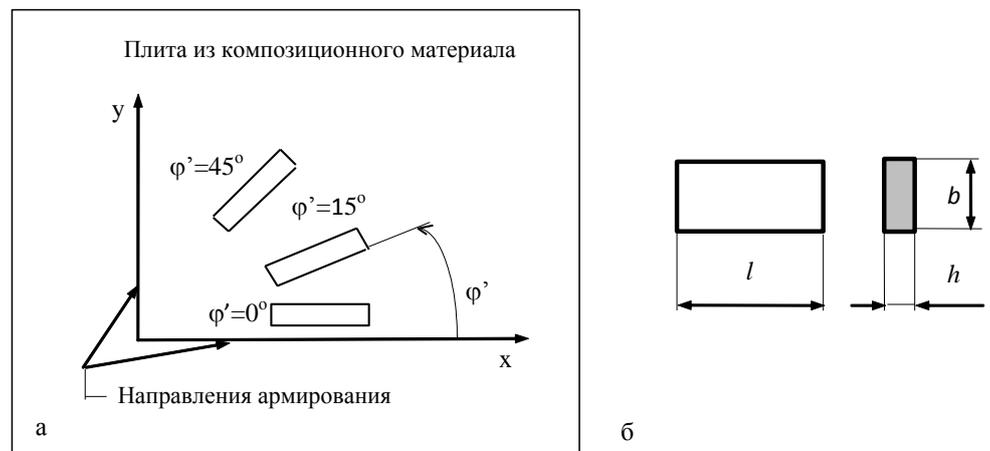


Рис. 2. Метод получения образцов путем вырезки из плиты

Параметры образца: $250 \times 15 \times h_z$ мм. Варианты нагрузки и угол вырезки образца φ' из плиты выбираются из таблицы 1.

Таблица 1

Таблица нагрузок и углов вырезки

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
F , Н	100	200	300	400	500	600	700	800
φ' , °	120	105	90	75	60	45	30	15

Главная ось упругости композита – X , ось нагружения – X_1 .

Средние напряжения в композите в системе координат $X_1O_1Y_1$ определяются по формулам:

$$\sigma_{x1} = \frac{F}{A}, \text{ где } A \text{ – площадь поперечного сечения образца} \quad (25)$$

$$\sigma_{y1} = \tau_{x1y1} = 0. \quad (26)$$

Средние напряжения в композите в системе координат XOY определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_{x1} \cos^2 \varphi' + \sigma_{y1} \sin^2 \varphi' + \tau_{x1y1} \sin 2\varphi', \\ \sigma_y &= \sigma_{x1} \sin^2 \varphi' + \sigma_{y1} \cos^2 \varphi' - \tau_{x1y1} \sin 2\varphi', \\ \tau_{xy} &= \frac{\sigma_{y1} - \sigma_{x1}}{2} \sin 2\varphi' + \tau_{x1y1} \cos 2\varphi'. \end{aligned} \quad (27)$$

Деформации слоистого композита в системе координат XOY определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E_x} - \nu_{yx} \frac{\sigma_y}{E_y} + \frac{\eta_{x,xy}}{G_{xy}} \tau_{xy}, \\ \varepsilon_y &= \frac{\sigma_y}{E_y} - \nu_{xy} \frac{\sigma_x}{E_x} + \frac{\eta_{y,xy}}{G_{xy}} \tau_{xy}, \\ \gamma_{xy} &= \frac{\eta_{xy,x}}{G_{xy}} \sigma_x + \frac{\eta_{xy,y}}{G_{xy}} \sigma_y + \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}}, \end{aligned} \quad (28)$$

Для ортотропного композита коэффициенты взаимного влияния $\eta_{x,xy}, \eta_{y,xy}, \eta_{xy,x}, \eta_{xy,y} = 0$.

Для слоистого композита справедливо следующее соотношение между деформациями всего композита в целом и отдельных однонаправленных слоев:

$$\varepsilon_x = \langle \varepsilon_x \rangle_k, \varepsilon_y = \langle \varepsilon_y \rangle_k, \gamma_{xy} = \langle \gamma_{xy} \rangle_k. \quad (29)$$

Напряжения в однонаправленном слое в системе координат XOY определяются по формулам:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \end{bmatrix}, \quad (30)$$

где компоненты матрицы упругости $[\bar{Q}]$ в произвольных осях имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11} \cos^4 \varphi + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{22} \sin^4 \varphi, \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11} \sin^4 \varphi + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{22} \cos^4 \varphi, \\ \bar{Q}_{12} &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + Q_{12} (\sin^4 \varphi + \cos^4 \varphi), \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \\ &\quad + Q_{66} (\sin^4 \varphi + \cos^4 \varphi), \\ \bar{Q}_{16} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin \varphi \cos^3 \varphi + \\ &\quad + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \cos \varphi \sin^3 \varphi, \\ \bar{Q}_{26} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \cos \varphi \sin^3 \varphi + \\ &\quad + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \varphi \cos^3 \varphi. \end{aligned} \quad (31)$$

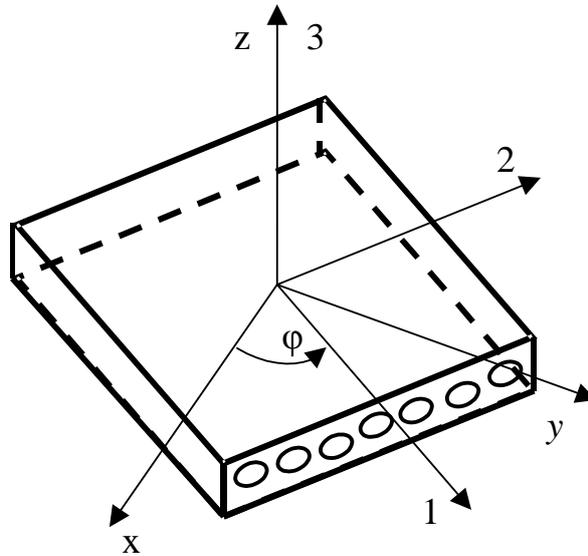


Рис. 3. Оси упругой симметрии (1, 2, 3) и произвольные ортогональные оси x, y, z

Напряжения в однонаправленном слое в главной системе координат определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_{1,k} &= \sigma_{x,k} \cos^2 \varphi + \sigma_{y,k} \sin^2 \varphi + \tau_{xy,k} \sin 2\varphi, \\ \sigma_{2,k} &= \sigma_{x,k} \sin^2 \varphi + \sigma_{y,k} \cos^2 \varphi - \tau_{xy,k} \sin 2\varphi, \\ \tau_{12,k} &= \frac{\sigma_{y,k} - \sigma_{x,k}}{2} \sin 2\varphi + \tau_{xy,k} \cos 2\varphi. \end{aligned} \quad (32)$$

Для оценки прочности однонаправленного слоя при плоском напряженном состоянии в качестве критерия прочности на практике в основном используется критерий Хилла:

$$H_{cr} = \left(\frac{\sigma_1}{\bar{\sigma}_1} \right)^2 - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\bar{\sigma}_1 \bar{\sigma}_2} + \left(\frac{\sigma_2}{\bar{\sigma}_2} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{\bar{\tau}_{12}} \right)^2 = 1, \quad (33)$$

! Необходимо оценить запас прочности каждого слоя в отдельности и сделать вывод о прочности слоистого композита в целом.

6. Некоторые тонкости работы в программе MS EXCEL

В программе MS EXCEL можно производить умножение матрицы на матрицу. Осуществляется это так, как показано на рис. далее.

Умножение матриц

Задание. Даны матрицы A и B (рис.4). Найти их произведение $C=A*B$.

	A	B	C	D	E	F	G
1		1	4	7		9	6
2	A=	2	5	8	B=	8	5
3		3	6	9		7	4

Рисунок 4.

Ход работы:

1. Выделяем мышкой при нажатой левой кнопке соответствующий диапазон ячеек D5:E7 (строк такое же количество как в матрице A, а столбцов такое же количество как в матрице B).
- 2.

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Рис. 5.

3. Вызываем мастер функций (меню «Вставка-Функция» или значок «Вставить функцию» в строке формул) и в категории «Полный алфавитный перечень» находим функцию «МУМНОЖ» и нажимаем ОК.
4. В появившемся окне вводим диапазон значений исходных матриц A и B (рис.6).

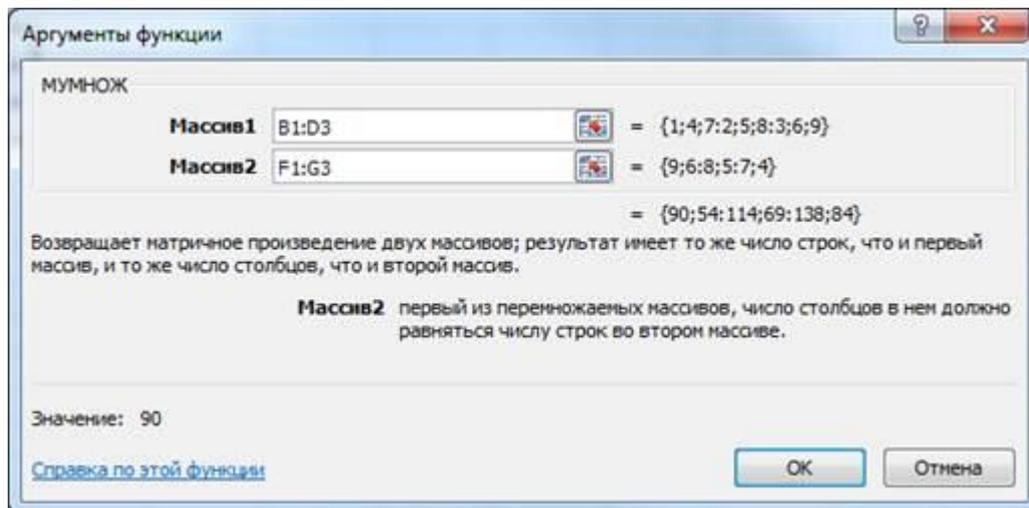


Рисунок 6.

5. Для получения результата нажимаем сочетание клавиш «Shift»+«Ctrl»+«Enter».
- 6.

	90	54
C=A*B=	114	69
	138	84

Рисунок 7

Приложение

Таблица П.1

№ слоя	Толщина (мм) и угол укладки (рад) по отношению к оси X	Варианты														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	h_1 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_1/π	1/3	1/4	1/5	1/6	1/9	1/6	1/9	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5	1/6	1/3	1/9
2	h_2 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_2/π	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/4	-1/5	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/3	-1/9
3	h_3 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_3/π	1/4	1/3	0	1/4	1/3	1/4	1/3	1/3	0	1/4	1/3	0	1/4	1/4	1/3
4	h_4 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_4/π	-1/4	-1/3	0	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	-1/3	0	-1/4	-1/3	0	-1/4	-1/4	-1/3
5	h_5 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_5/π	0	0	1/2	0	1/2	0	1/2	0	1/2	0	0	1/2	0	0	1/2
6	h_6 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_6/π	-1/4	-1/3	0	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	-1/3	0	-1/4	-1/3	0	-1/4	-1/4	-1/3
7	h_7 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_7/π	1/4	1/3	0	1/4	1/3	1/4	1/3	1/3	0	1/4	1/3	0	1/4	1/4	1/3
8	h_8 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_8/π	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/4	-1/5	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/3	-1/9
9	h_9 (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,35	0,3	0,4
	φ_9/π	1/3	1/4	1/5	1/6	1/9	1/6	1/9	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5	1/6	1/3	1/9

Продолжение таблицы П.1

№ слоя	Толщина (мм) и угол укладки (рад) по отношению к оси X	Варианты														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	h_1 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_1/π	1/5	1/6	1/9	1/6	1/9	1/5	1/6	1/9	1/6	1/9	1/6	1/9	1/6	1/9	1/5
2	h_2 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_2/π	-1/5	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/5	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/5
3	h_3 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_3/π	0	1/4	1/3	1/4	1/3	0	1/4	1/3	1/4	1/3	1/4	1/3	1/4	1/3	0
4	h_4 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_4/π	0	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	0	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	0
5	h_5 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_5/π	1/2	0	1/2	0	1/2	1/2	0	1/2	0	1/2	0	1/2	0	1/2	1/2
6	h_6 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_6/π	0	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	0	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	-1/4	-1/3	0
7	h_7 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_7/π	0	1/4	1/3	1/4	1/3	0	1/4	1/3	1/4	1/3	1/4	1/3	1/4	1/3	0
8	h_8 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_8/π	-1/5	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/5	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/6	-1/9	-1/5
9	h_9 (мм)	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,2
	ϕ_9/π	1/5	1/6	1/9	1/6	1/9	1/5	1/6	1/9	1/6	1/9	1/6	1/9	1/6	1/9	1/5