

Министерство высшего образования и науки РФ  
Уфимский государственный авиационный технический  
университет

Кафедра сопротивления материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по выполнению  
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ  
по дисциплине  
«ОСНОВЫ МЕХАНИКИ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ»

**Проектирование 5-слойного композита**

Составил(и): Первушин Ю.С.  
Соловьев П.В.

Уфа – 2008 г.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение

1. Цель работы

2. Требования к содержанию и оформлению работы

3. Методика выполнения типовых заданий

Приложение

Список литературы

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основы механики, проектирования и изготовления изделий из композиционных материалов в настоящее время становятся одной из важнейших профессиональных дисциплин, изучаемых в высшей школе. Настоящее и будущее развитие материаловедения основывается сейчас и будет основываться на композиционных материалах.

Механика композиционных материалов решает важнейшие вопросы прочности, жесткости, устойчивости и долговечности элементов конструкций из композиционных материалов. Усвоение студентами теоретического материала с приложением его к решению конкретных практических задач возможно только при условии самостоятельного выполнения ими расчетного домашнего задания.

Задание состоит из двух частей. В первой части определяются эффективные упругие характеристики однонаправленного монослоя по известным характеристикам армирующих волокон и связующих. Во второй части – определяются упругие характеристики 5-слойного слоистого пластика заданной структуры по известным характеристикам однонаправленного слоя и углам армирования.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей работы является приобретение студентами практических навыков по проектированию и определению упругих характеристик многослойных композиционных материалов.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ

### ПОРЯДОК ВЫДАЧИ И ПРИЕМА РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

Выдача, консультация и прием работы производится преподавателем, ведущим практические занятия в группе.

Шифр работы состоит из четырех цифр. Первые две соответствуют варианту проектируемого КМ (прил. 1, табл. 1), третья цифра – типу армирующего материала (табл. 2), четвертая цифра – типу матрицы (табл. 3).

Сроки выполнения домашнего задания определяются календарным графиком учебного процесса.

При приеме задания преподаватель должен убедиться, что оно выполнено студентом самостоятельно и в соответствии с указанными ниже требованиями.

Принятые задания подписываются преподавателем и сохраняются на кафедре.

### ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

Выполненная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на бумаге формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105 ЕСКД «Общие требования к текстовым документам». Пояснительная записка состоит из обложки, титульного листа, содержания, текстовой части и списка литературы.

1. **Титульный лист** заполняется на лицевой стороне обложки формата А4. На нем чертежным (или печатным) шрифтом по ГОСТ 2.304-81 указывается: наименование министерства, наименование университета, наименование кафедры, тип работы (расчетно-графическая, курсовая), наименование задания, шифр пояснительной записки, фамилия, инициалы студента и шифр группы, фамилия и инициалы преподавателя, дата сдачи задания преподавателю, учебный год.

**2. Текстовая часть** оформляется на одной стороне формата А4 по форме 2а ГОСТ 2.105-95 (прил. V) чернилами, графики – карандашом в тексте или на отдельных вкладышах.

На первой странице текстовой части приводятся только условия задач и все данные, включая расчетные схемы и другие чертежи. На второй странице – содержание работы, в котором перечисляются названия всех разделов пояснительной записки и соответствующие им номера страниц текста.

**Нумерация страниц** должна быть сквозной. Первой страницей является титульный лист, на котором номер страницы не проставляется. Нумерация начинается с третьей страницы.

Текстовая часть делится на разделы и подразделы, которые должны иметь заголовки в строгом соответствии с содержанием работы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа и обозначаться цифрами (например: 1, 2 и т.д.). Подразделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого раздела. Например: 1.1; 1.2; ... - пункты первого раздела; 1.2.1; 1.2.2; ... - пункты подраздела 1.2 и т.д.

**Нумерация формул** производится цифрами (в скобках) и состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой.

**Расчетные формулы** сначала записываются в буквенном выражении, затем, по необходимости, в общем виде делаются преобразования, далее буквенные символы заменяются их числовыми значениями и, исключая промежуточные действия, приводится конечное значение расчетной величины с обязательным указанием размерности. Например,

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{1 \cdot 10^6}{0,5} = 2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2 \text{ МПа} . \quad (1.1)$$

Вычисления ограничиваются, как правило, тремя значащими цифрами.

**Расчетные схемы и эскизы**, поясняющие рисунки и чертежи, располагаются по тексту или на отдельных листках и выполняются в масштабе с помощью линейки и циркуля.

От начала до конца в тексте должна просматриваться логическая связь выполняемых операций.

**В заключительной части** задания обязательно делается анализ полученного результата.

Изложение ведется от первого лица во множественном числе, например, «вычисляем», «рассчитываем» и т.п.

3. **Список литературы:** приводится перечень книг и пособий, использованных при выполнении работы, по ГОСТ 7.1-84.

4. **Содержание:** перечисляются названия всех разделов пояснительной записки и соответствующие им номера страниц текста.

### 3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАНИЙ

#### ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ И СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

**ЗАДАНИЕ:** Спроектировать многослойный композиционный материал и определить его упругие характеристики в направлении осей выбранной системы координат.

**ЗАДАНЫ:** 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;

В соответствии с заданием пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

#### **1. Исходные данные**

1.1. Тип армирующего материала и его упругие и прочностные характеристики:

модуль продольной упругости  $E_{\epsilon 1}$ , модуль сдвига  $G_{\epsilon 12}$ , коэффициент Пуассона  $\nu_{\epsilon 12}$ , предельное относительное

удлинение  $\bar{\varepsilon}_{\varepsilon_1}^+$ , предел прочности при растяжении  $\bar{\sigma}_{\varepsilon_1}^+$ , коэффициент армирования  $\psi_{\varepsilon}$ .

1.2. Тип матричного материала и его упругие характеристики:

модуль упругости  $E_m$ , модуль сдвига  $G_m$ , коэффициент Пуассона  $\nu_m$ , предельное относительное удлинение  $\bar{\varepsilon}_m^+$ .

1.3. Толщины слоев  $h_1, h_2, \dots, h_n$  и углы укладки слоев (в рад.)  $\phi_1/\pi, \phi_2/\pi, \dots, \phi_n/\pi$ .

## 2. Определение упругих и прочностных характеристик однонаправленного слоя

2.1. Вычисление продольного модуля упругости вдоль волокон (направление 1).

2.2. Вычисление поперечного (в плоскости укладки) модуля упругости (направление 2).

2.3. Вычисление модуля сдвига в плоскости 1,2.

2.4. Вычисление коэффициента Пуассона.

2.5. Вычисление предела прочности однонаправленного слоя в направлении армирования.

## 3. Проектирование многослойного композита с заданным числом слоев

3.1. Выбирается срединная поверхность элемента.

3.2. Определяется структура и последовательность укладки слоев в соответствии с теорией армирования.

## 4. Определение упругих характеристик многослойного композита

4.1. Вычисление относительных толщин слоев.

4.2. Вычисление коэффициентов обобщенного закона Гука для слоистого элемента.

4.3. Определение модуля упругости в направлении оси  $X$  многослойного элемента.

4.4. Определение модуля упругости в направлении оси  $Y$ .

4.5. Определение модуля сдвига в плоскости  $XY$ .

4.6. Определение коэффициентов Пуассона  $\nu_{xy}, \nu_{yx}$ .

4.7. Выводы.

## 5. Список литературы

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ТИПОВОГО ЗАДАНИЯ

Спроектировать пятислойный композит и определить его упругие характеристики.

### ЗАДАНО:

1. Толщины слоев  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$ .
2. Углы укладки слоев  $\phi_1/\pi, \phi_2/\pi, \phi_3/\pi, \phi_4/\pi, \phi_5/\pi$ .
3. Тип армирующей нити и ее механические характеристики (например, стеклонить):

$E_{e1}$  - модуль упругости армирующей нити,

$G_{e12}$  - модуль сдвига,

$\nu_{e12}$  - коэффициент Пуассона,

$\bar{\epsilon}_{e1}^+$  - предельное относительное удлинение нити при растяжении,

$\bar{\sigma}_{e1}^+$  - предел прочности нити на растяжение,

$\psi_e$  - коэффициент армирования.

Коэффициент армирования необходимо самостоятельно выбрать из рекомендованного диапазона  $\psi_e = 0,3 \div 0,7$  в зависимости от нагруженности конструкции из выбранного материала. Например, если композит используется для элементов интерьера и несилowych деталей, то коэффициент армирования можно взять ближе к нижнему рекомендованному значению, а для силовых несущих элементов – ближе к верхнему.

4. Тип матрицы (например, эпоксидная) и ее механические характеристики:

$E_m$  - модуль упругости при растяжении,

$G_m$  - модуль сдвига,

$\nu_m$  - коэффициент Пуассона.

5. Определяются упругие и прочностные характеристики однонаправленного слоя

- 5.1. Модуль упругости в направлении армирования:

$$E_1 = E_{e1}\psi_e + E_m(1 - \psi_e)$$

- 5.2. Поперечный модуль упругости  $E_2$ :

$$\frac{1}{E_2} = \frac{\psi_e}{E_{e2}} + \frac{1 - \psi_e}{E_m};$$

### 5.3. Модуль сдвига $G_{12}$ :

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{\psi_{\epsilon}}{G_{\epsilon 12}} + \frac{1 - \psi_{\epsilon}}{G_M};$$

### 5.4. Коэффициенты Пуассона

$$\nu_{12} = \nu_{\epsilon 12} \psi_{\epsilon} + \nu_M (1 - \psi_{\epsilon})$$

( $\nu_{12}$  - первый индекс указывает направление действия напряжения, второй – направление поперечной деформации);

Обратный коэффициент Пуассона вычисляется из условия ортотропности по формуле:

$$\frac{\nu_{21}}{E_2} = \frac{\nu_{12}}{E_1}; \quad \nu_{21} = \frac{\nu_{12} E_2}{E_1^i}$$

### 5.5. Предел прочности в направлении армирования

$$\bar{\sigma}_1^+ = \bar{\sigma}_{\epsilon 1}^+ \left( \psi_{\epsilon} + \frac{E_M}{E_{\epsilon 1}} (1 - \psi_{\epsilon}) \right).$$

5.6. Формулы, полученные в п. 5.2 и 5.3 не учитывают форму и расположение волокон, поэтому на практике дают достаточно большую погрешность.

**Уточненные выражения для определения поперечного модуля упругости и модуля сдвига однонаправленного слоя, полученные по моделям теории упругости для неоднородной среды, выглядят следующим образом:**

$$E_2 = E_M \left[ \frac{(1 + \zeta_E \psi_{\epsilon}) E_{\epsilon 2} + \zeta_E (1 - \psi_{\epsilon}) E_M}{(1 - \psi_{\epsilon}) E_{\epsilon 2} + (\zeta_E + \psi_{\epsilon}) E_M} \right],$$
$$G_{12} = G_M \left[ \frac{(1 + \zeta_G \psi_{\epsilon}) G_{\epsilon 12} + \zeta_G (1 - \psi_{\epsilon}) G_M}{(1 - \psi_{\epsilon}) G_{\epsilon 12} + (\zeta_G + \psi_{\epsilon}) G_M} \right].$$

где  $\zeta_E, \zeta_G$  – коэффициенты влияния волокон на жесткость композита. В качестве первого приближения рекомендуется принять значения  $\zeta_E = 2, \zeta_G = 1$ .

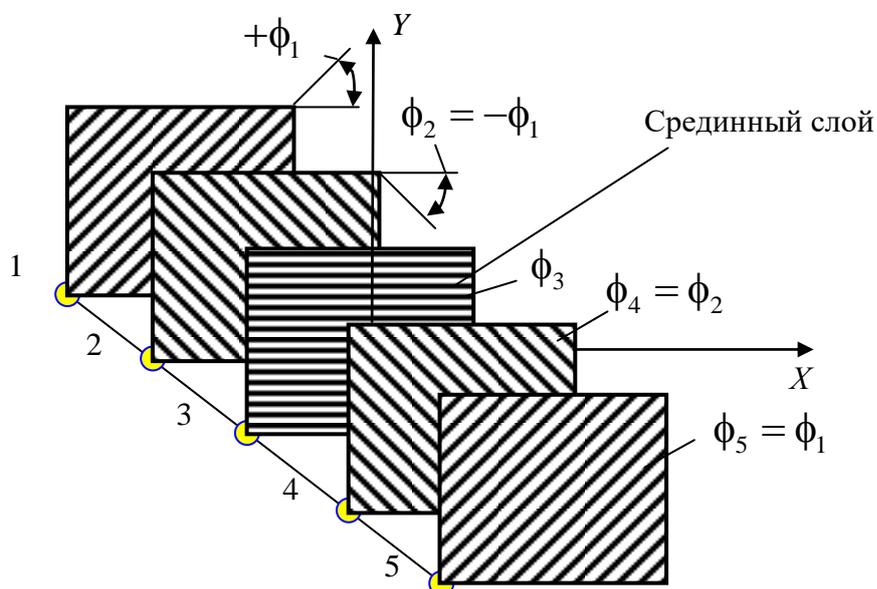
Необходимо сравнить результаты, полученные по формулам п. 5.2 и 5.3 с вышеуказанными и определить **погрешность**  $\delta$  в %. Например, погрешность определения поперечного модуля упругости будет вычисляться по формуле:

$$\delta_{E_2} = \frac{|E_2^{(5.6)} - E_2^{(5.2)}|}{E_2^{(5.6)}} \cdot 100\% .$$

Аналогичным образом находим погрешность определения модуля сдвига.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЯТИСЛОЙНОГО 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  $\phi_1$  и толщиной  $h_1$ , расположенный с одной стороны срединного слоя, должен соответствовать слой с таким же углом укладки  $\phi_1$  и толщиной  $h_1$ , расположенный по другую сторону от срединной поверхности на одинаковом расстоянии от нее (рис. 1).



**Рис. 1.** Структура пятислойного композита по толщине

2. Структура композита должна удовлетворять второму требованию: каждому слою с углом укладки  $+\phi_i$  должен соответствовать слой по другую сторону от срединного слоя с углом укладки  $-\phi_i$ , расположенный на таком же расстоянии от срединного слоя.  
Два этих требования по расстоянию удовлетворить не возможно. Как правило, в первую очередь удовлетворяется симметрия укладки.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА

- Вычисление относительных толщин слоев:

$$\begin{aligned}\bar{h}_1 &= \frac{h_1}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}, & \bar{h}_2 &= \frac{h_2}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}, \\ \bar{h}_3 &= \frac{h_3}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}, & \bar{h}_4 &= \frac{h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}, \\ \bar{h}_5 &= \frac{h_5}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}.\end{aligned}$$

- Вычисление коэффициентов обобщенного закона Гука для пятислойного элемента:

$$\begin{aligned}B_{11} &= \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[ \frac{E_1^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \cos^4 \phi_i + 2 \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \phi_i \cos^2 \phi_i + \right. \\ &\quad \left. + \frac{E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^4 \phi_i + G_{12}^i \sin^2 2\phi_i \right];\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}B_{12} &= \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[ \frac{E_1^i + E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \phi_i \cos^2 \phi_i + \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} (\sin^4 \phi_i + \cos^4 \phi_i) - \right. \\ &\quad \left. - G_{12}^i \sin^2 2\phi_i \right];\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}B_{22} &= \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[ \frac{E_1^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^4 \phi_i + 2 \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \phi_i \cos^2 \phi_i + \right. \\ &\quad \left. + \frac{E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \cos^4 \phi_i + G_{12}^i \sin^2 2\phi_i \right];\end{aligned}$$

$$B_{33} = \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[ \frac{E_1^i + E_2^i - 2E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \phi_i \cos^2 \phi_i + G_{12}^i \cos^2 2\phi_i \right].$$

- Определение упругих характеристик пятислойного композита:

$$E_x = B_{11} - \frac{B_{12}^2}{B_{22}}; \quad E_y = B_{22} - \frac{B_{12}^2}{B_{11}}; \quad G_{xy} = B_{33}$$

( $E_x$  - модуль упругости в направлении оси  $X$ ,

$E_y$  - модуль упругости в направлении оси  $Y$ ,

$G_{xy}$  - модуль сдвига в плоскости  $XY$ ).

- Находим коэффициенты Пуассона  $\nu_{xy}$ ,  $\nu_{yx}$ :

$$\nu_{xy} = \frac{B_{12}}{B_{22}}, \quad \nu_{yx} = \frac{B_{12}}{B_{11}}.$$

- **Проверяем правильность** нахождения упругих характеристик через выполнение **условия ортотропности** для слоистого композита (см. п. 5.4).

**ВЫВОД:** спроектированный композит имеет следующие упругие характеристики:

$$E_x = ;$$

$$E_y = ;$$

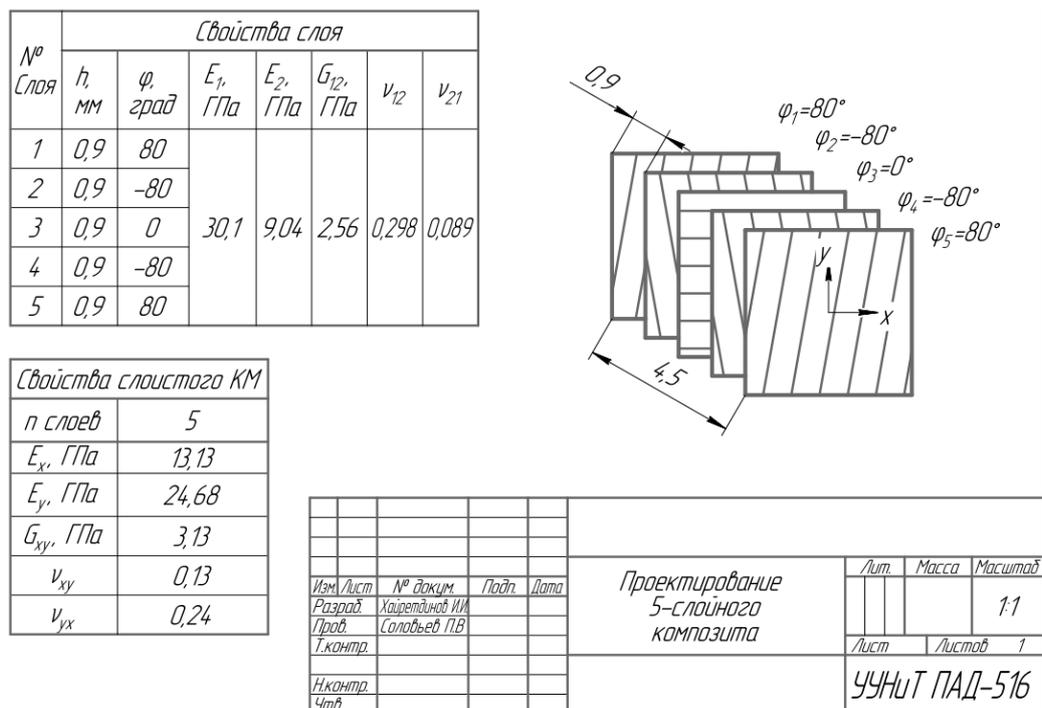
$$G_{xy} = ;$$

коэффициенты Пуассона:

$$\nu_{xy} = ;$$

$$\nu_{yx} = .$$

В **приложении** к расчетно-графической работе прикладываем **схему** полученного слоистого композита с указанием углов укладки всех слоев пакета, их толщины и суммарной толщины композита, а также с таблицей, в которой приведены все рассчитанные характеристики однонаправленного слоя и многослойного композита (см. рис. 2).



**Рис. 2.** Схема полученного композита с указанием упругих свойств однонаправленного слоя и слоистого КМ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Таблица 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	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,25	0,3	0,4
	$\phi_1/\pi$	1/3	1/4	1/5	1/6	1/9	1/12	1/4	2/9	5/18	7/18	4/9	4/9	1/3	1/5	1/9
2	$h_2$ (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,3	0,2	0,3
	$\phi_2/\pi$	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/9	-1/12	-1/4	-2/9	-5/18	-7/18	-4/9	-4/9	-1/3	-1/5	-1/9
3	$h_3$ (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,5	0,4	0,3
	$\phi_3/\pi$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	$h_4$ (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,3	0,2	0,3
	$\phi_4/\pi$	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/9	-1/12	-1/4	-2/9	-5/18	-7/18	-4/9	-4/9	-1/3	-1/5	-1/9
5	$h_5$ (мм)	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,25	0,3	0,4
	$\phi_5/\pi$	1/3	1/4	1/5	1/6	1/9	1/12	1/4	2/9	5/18	7/18	4/9	4/9	1/3	1/5	1/9

Продолжение табл. 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)	0,4	0,3	0,35	0,5	0,25	0,4	0,5	0,5	0,3	0,6	0,7	0,5	0,4	0,6	0,7
	$\phi_1/\pi$	1/3	1/4	1/5	1/6	1/12	2/9	1/12	5/12	5/18	7/18	4/9	1/3	1/5	1/9	7/18
2	$h_2$ (мм)	0,2	0,2	0,25	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,25	0,5	0,5
	$\phi_2/\pi$	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/12	-2/9	-1/12	-5/12	-5/18	-7/18	-4/9	-1/3	-1/5	-1/9	-7/18
3	$h_3$ (мм)	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,35	0,45	0,25	0,65	0,85	0,75	0,85
	$\phi_3/\pi$	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
4	$h_4$ (мм)	0,2	0,2	0,25	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,25	0,5	0,5
	$\phi_4/\pi$	-1/3	-1/4	-1/5	-1/6	-1/12	-2/9	-1/12	-5/12	-5/18	-7/18	-4/9	-1/3	-1/5	-1/9	-7/18
5	$h_5$ (мм)	0,4	0,3	0,35	0,5	0,25	0,4	0,5	0,5	0,3	0,6	0,7	0,5	0,4	0,6	0,7
	$\phi_5/\pi$	1/3	1/4	1/5	1/6	1/12	2/9	1/12	5/12	5/18	7/18	4/9	1/3	1/5	1/9	7/18

Таблица 2

## Упругие и прочностные характеристики армирующих волокон

Упругие и прочностные характеристики	Вариант			
	1	2	3	4
	Стеклонить	Угленить	Органонить	Бороволокно
$E_{e1}$ , ГПа	70	250	131	300-400
$E_{e2}$ , ГПа	$= E_{e1}$	9	$= E_{e1}/10$	$= E_{e1}/2,5$
$G_{e12}$ , ГПа	24	12	20	100
$\nu_{e12}$	0,22	0,15	0,25	0,11
Прочность при растяжении, $\bar{\sigma}_{e1}^+$ , МПа	2500	2400-3500	2000-2500	3000-3500
Предельное удлинение $\bar{\varepsilon}_{e1}^+$ , %	3,0-3,5	1,0	3-4	$\leq 1,0$

Таблица 3

## Упругие и прочностные характеристики матриц

Упругие и прочностные характеристики	Вариант			
	1	2	3	4
	Полиэфирное связующее	Эпоксидное связующее	Эпоксифенольное связующее	Фенолформальдегидное связующее
$E_m$ , ГПа	2,1-4,6	2,8-4,2	2,8-4,1	2,8-4,6
$G_m$ , ГПа	1,0-1,9	0,8-1,5	1,1-1,6	1,0-1,4
$\nu_m$	0,35-0,42	0,34-0,4	0,33-0,4	0,35
Прочность при растяжении, $\bar{\sigma}_m^+$ , МПа	42-70	28-91	33-86	42-63
Предельное удлинение $\bar{\varepsilon}_m^+$ , %	6	2-6	1,8-3,2	1,5-2,0

## Список литературы

1. Ю.С. Первушин, В.С. Жернаков. Основы проектирования и технологии изготовления изделий из слоистых композиционных материалов: учеб. пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2008-201с.
2. Ю.С. Первушин, В.С. Жернаков. Проектирование и прогнозирование механических свойств однонаправленного слоя из композиционных материалов: учеб. пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2002-127с.