

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»**

**Дисциплина «Механика композиционных материалов»**

# **Лекция 2. Классификация КОМПОЗИТОВ. Волокна и матрицы. Структура и назначение**

**Лектор:**  
д.т.н., профессор  
Полилов А.Н.

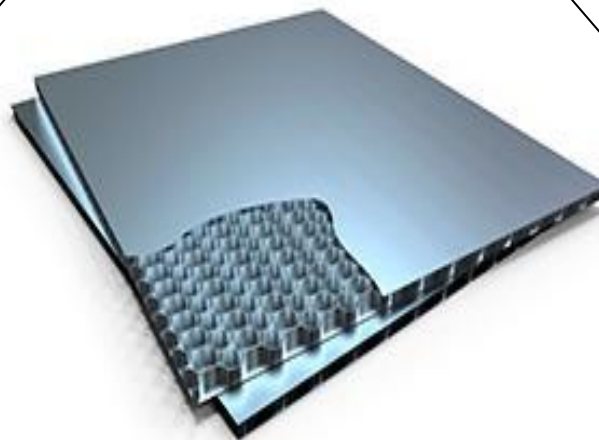
# План лекции №2:

- 1. Общие сведения о композитах.**
- 2. Структура композитов. Свойства волокон и матриц.**
- 3. Классификация композитов по семи признакам.**



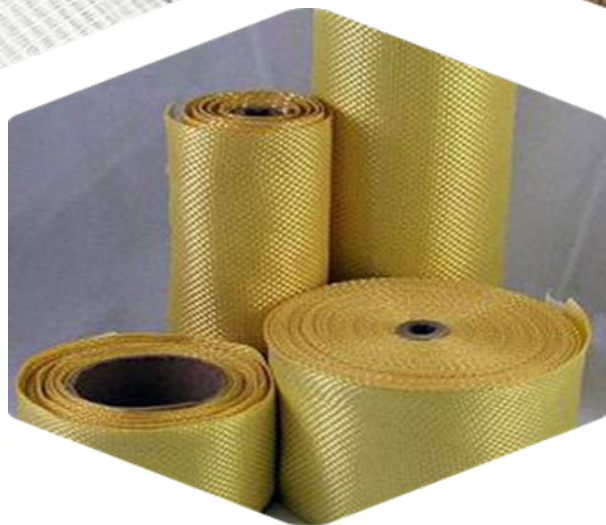
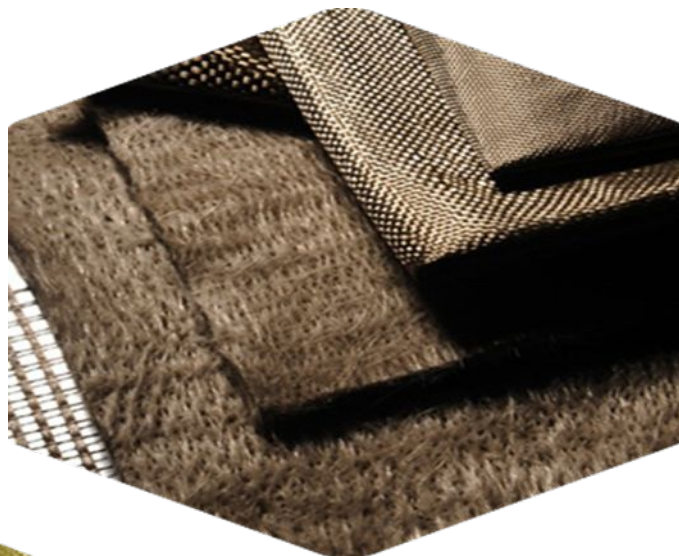
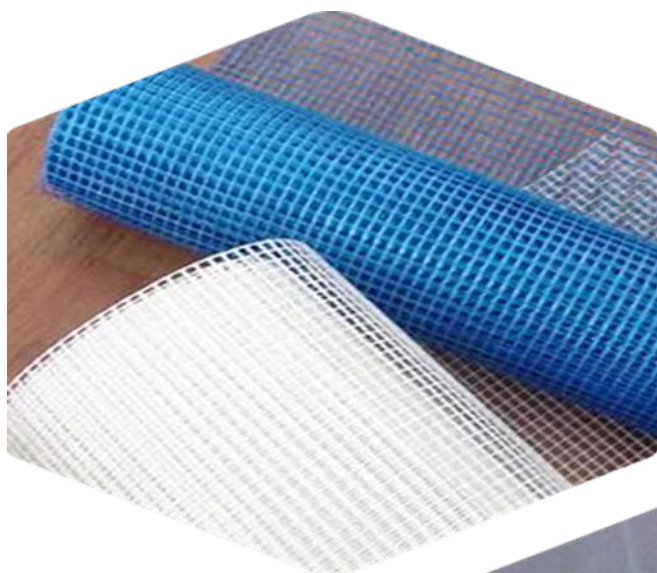
# Введение

КОМПОЗИТЫ



# Свойства композитных материалов

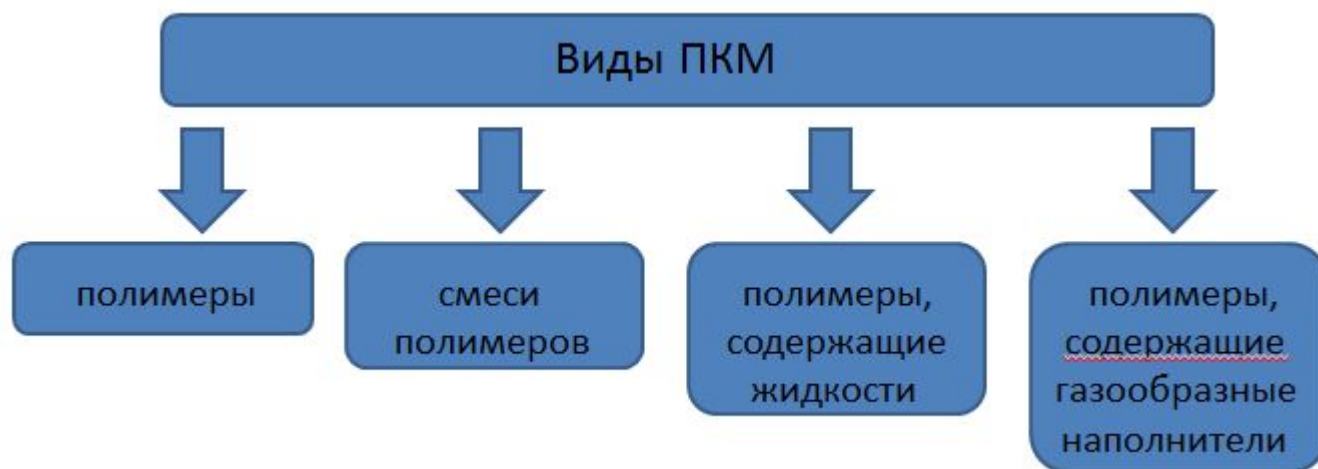
Армирующие материалы для  
КОМПОЗИТОВ:



МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ

# Свойства КМ

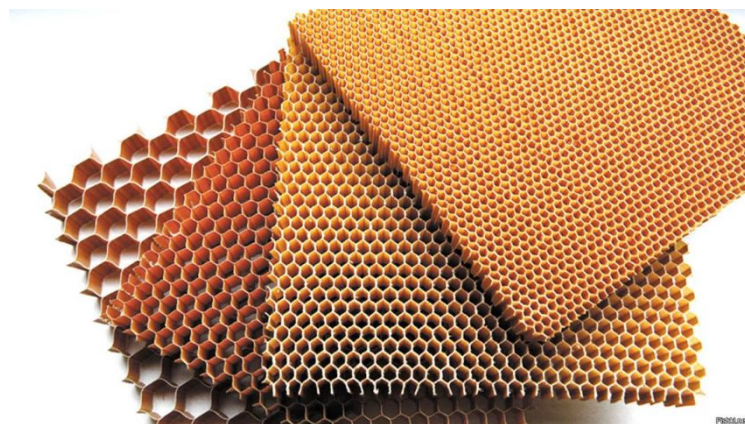
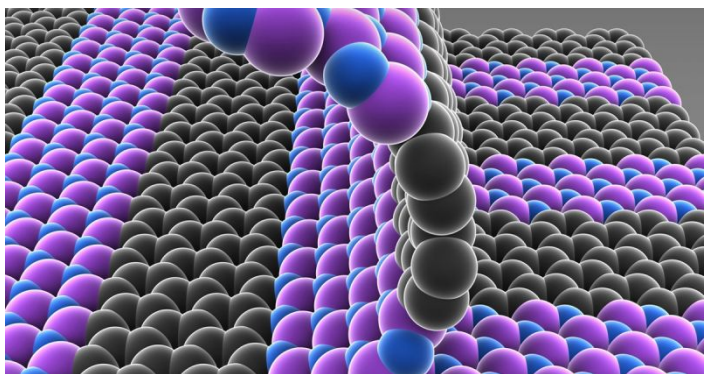
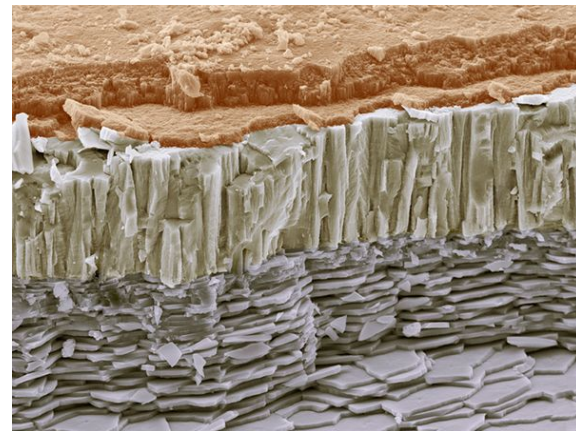
Механические свойства композиционных материалов определяются не только свойствами самих волокон, но и их ориентацией, объёмным содержанием, способностью матрицы передавать волокнам приложенную нагрузку и др.



# Структура композитов. Свойства волокон и матриц

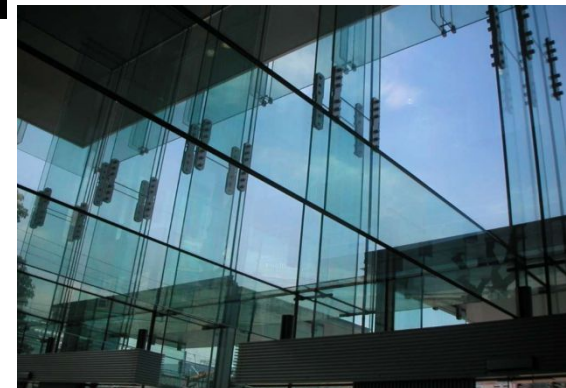
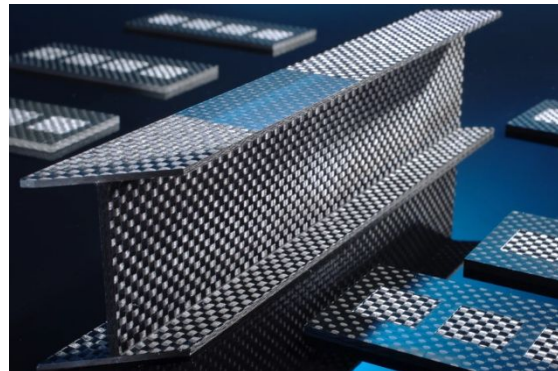
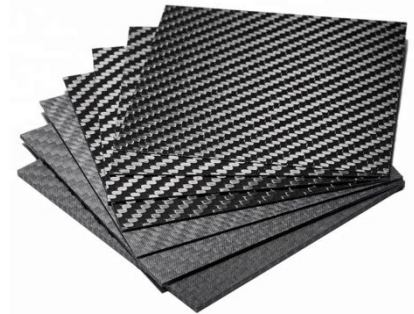
## Классификация КМ по семи признакам, (почему 7?) по:

1. химическому составу матрицы,
2. форме армирующих элементов,
3. химическому составу волокон,
4. типу полуфабриката,
5. структуре армирования,
6. технологии изготовления,
7. области применения.



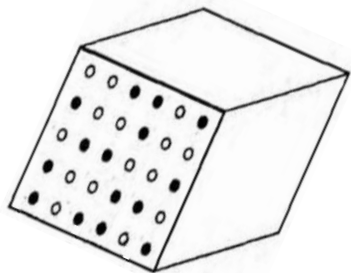
# 1. По химическому составу матрицы

- 1.1 ПКМ - полимерные композитные материалы
- 1.2 МКМ – металлические композитные материалы
- 1.3 КKM – керамические композитные материалы
- 1.4 УУКМ – углерод – углеродные композитные материалы
- 1.5 Стекланные и цементные матрицы



МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ

# Матрицы композитов



Матрица

Полимерная

полимерные матрицы делятся на термореактивные и термопластичные

Углеродная

Композиты с углеродной матрицей имеют высокую термпрочность, стойкость к тепловому удару и облучению

Керамическая

Керамики являются материалами с высоким модулем упругости, высокой температурой плавления и высокой твердостью

Металлическая

Имеют более высокие по сравнению с полимерными композитами жесткость и прочность при нагружении поперек волокон и при сдвиге

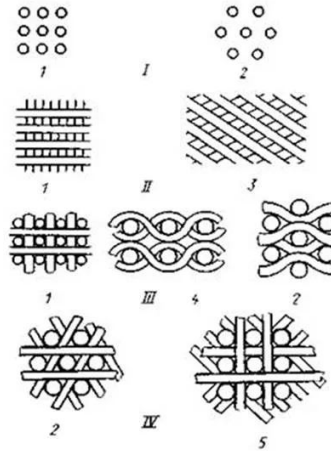


# 2. По форме армирующих элементов

2.1 Частицы – нульмерные  $a=v=c$

2.2 Волокна – одномерные  $a \gg b, c$

2.3 Пленки, фольги, чешуйки, ленты – двумерные:  $c \ll a, b$



*Схемы армирования композиционных материалов:*

- I - однонаправленная;
- II - двухнаправленная;
- III - трехнаправленная;
- IV - четырехнаправленная.

*Укладка волокон:*

- 1 - прямоугольная,
- 2 - гексагональная,
- 3 - косоугольная,
- 4 - с искривленными волокнами,
- 5 - система из  $n$  нитей

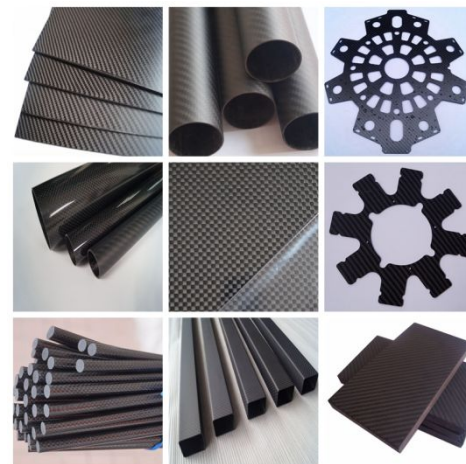
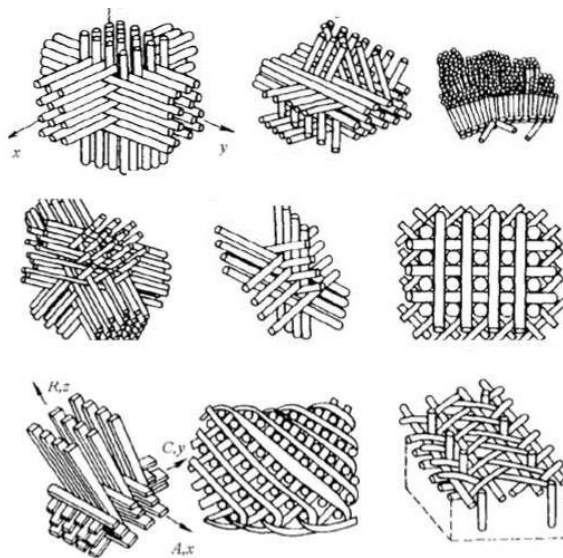
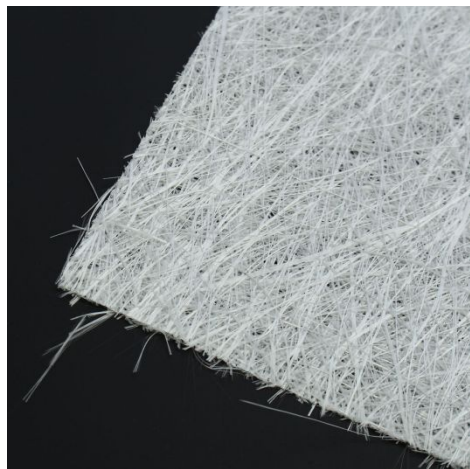


МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ



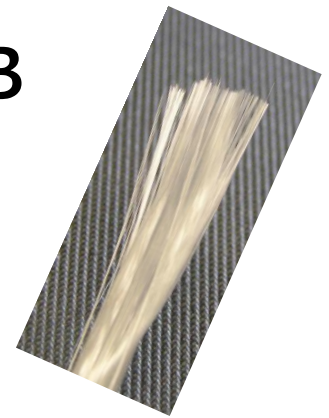
# 3. По химическому составу волокон

- 3.1 Стекланные
- 3.2 Углеродные
- 3.3 Органические
- 3.4 Керамические
- 3.5 Борные
- 3.6 Базальтовые
- 3.7 «Натуральные»  
(Биоволокна)



МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ

# Волокна для композитов



Волокно

Стеклоанное

Углеродное

Органическое

Металлическое

При сравнительно малой плотности они имеют высокие прочность, теплостойкость, предельные деформации

Обладают комплексом ценных, а по ряду показателей, уникальных механических и физико-химических свойств

Хорошо воспринимают растягивающие нагрузки

Являются экономичными и весьма эффективными армирующими материалами

# 4. По форме полуфабриката

Препреги

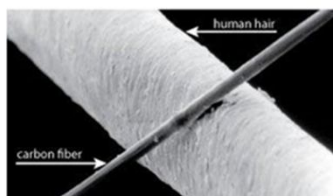


Маты из рубленной пряжи

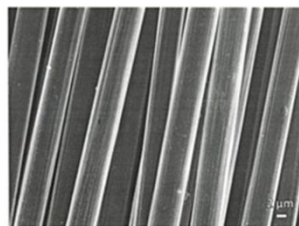


- 4.1 Нити, жгуты, пряжи
- 4.2. Ровинг, ленты
- 4.3. Ткани (плетение)
- 4.4. Препреги
- 4.5. Пропит. жгут

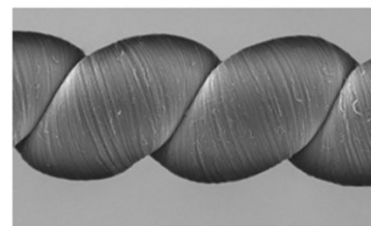
Моноволокно



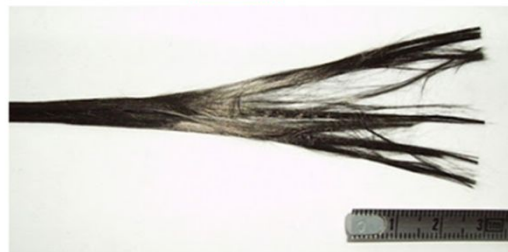
Нити



Жгуты



Ровинг



Ткани



## 5. По структуре армирования

- 0-мерная (частицы, скаляр)
- 1-мерная (нити, условный вектор)
- 2-мерная (нити в двух и более направлениях (но в одной плоскости), 2 и более условных вектора)
  - 3-мерная (нити в трёх и более некомпланарных направлениях, 3 и более условных не компланарных вектора)
- Многонаправленная (14-ти направленный, 27-ми направленный, но структур 2-мерная или 3-мерная)



# Международная форма записи структуры армирования

- *international notation*):  $(\pm\alpha_{ni}^i / \pm\alpha_{nj}^j / \dots)$ .

Знак  $\pm$  не обязателен, он отражает симметричную укладку волокон под углами  $+\alpha$  и  $-\alpha$ , что необходимо для получения ортотропного (симметричного, «хорошего») материала, в котором при растяжении вдоль выбранной оси детали не возникает сдвигов, закручивания.

Пример записи структуры армирования:  $(0_5 / \pm 45_5 / 90_5)$  –  $(0 / \pm 45 / 90)_5$  одинаковое число слоев (по пять) в каждом из направлений - изотропия

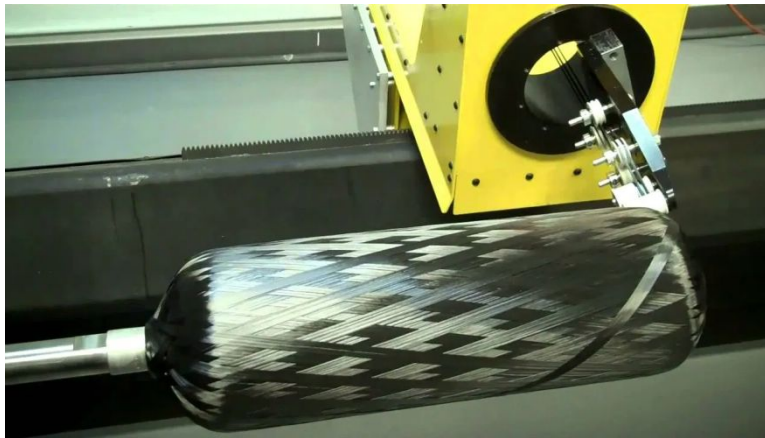
$(0 / +45 / -45 / 90 / 90 / -45 / +45 / 0)$  иначе при изгибе, чем  $(90 / +45 / -45 / 0 / 0 / -45 / +45 / 90)$

Если укладка симметрично ( $s$ ) повторяется  $n$  раз, то после скобки ставится индекс  $ns$ :  $(\dots)_6 = (\dots)_{3s}$ .

Трехмерное, но многонаправленное  
*3-d – three-dimension, 5-D – five-direction.*

# 6. По технологии

- намотка;
- выкладка;
- прессование;
- контактное формование;
- вакуумная инфузия;
- автоклавное формование;
- пултрузия (ролтрузия, пулформинг);
- экструзия;
- плетение.



# ОСНОВЫ КОМПОЗИТНЫХ ТЕХНОЛОГИИ

1. Изготовление волокон и их свойства.

-Стекланные волокна (фильерные)

-Пековые волокна

Технология – полимер + композит:

1. Вид полуфабрикатов

2. Как подается полуфабрикат в рабочую зону

3. Что формует изделие

4. Что создает усилие (атмосферное давление или газ)(ротационное формование: раскручивание)

5. Как задается температура

6. Как меняется усилие во времени  $P(t)$

7. Как меняется температура во времени  $T(t)$

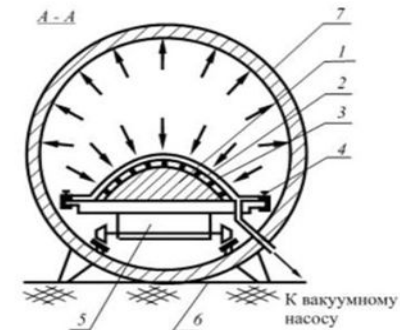
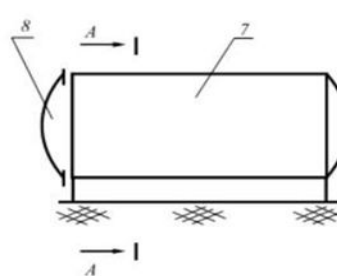
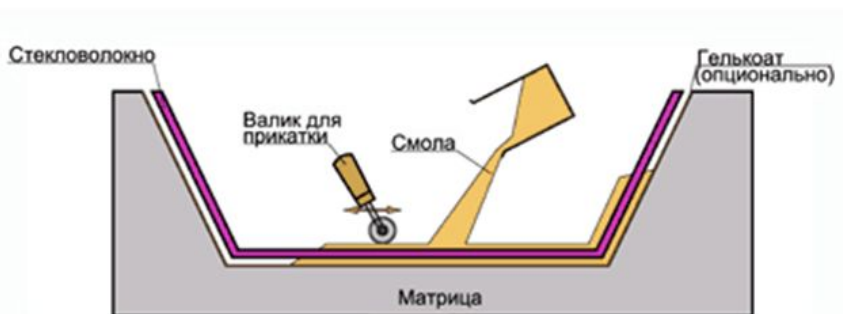


Важнейшим технологическим методом изготовления композиционных материалов является: пропитка армирующих волокон матричным материалом.



# Технологии изготовления

Ручное формование Автоклавное формование



1 – форма; 2 – препрег; 3 – эластичная мембрана; 4 – уплотнители;  
5 – тележка; 6 – рельсы; 7 – корпус автоклава; 8 – крышка.

## Вакуумное формование

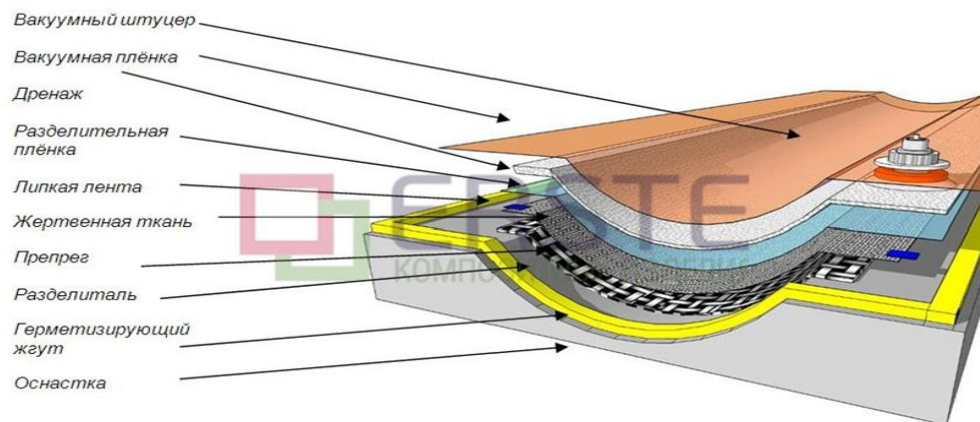


Рисунок 1



# 7. По назначению

Конструкционные



Триботехнические



Отделочные



Радио-и электротехнические



Медицинские



# Объекты и эффекты применения КОМПОЗИТОВ

Области применения композиционных материалов многочисленны; кроме авиационно-космической, ракетной и других специальных отраслей техники.

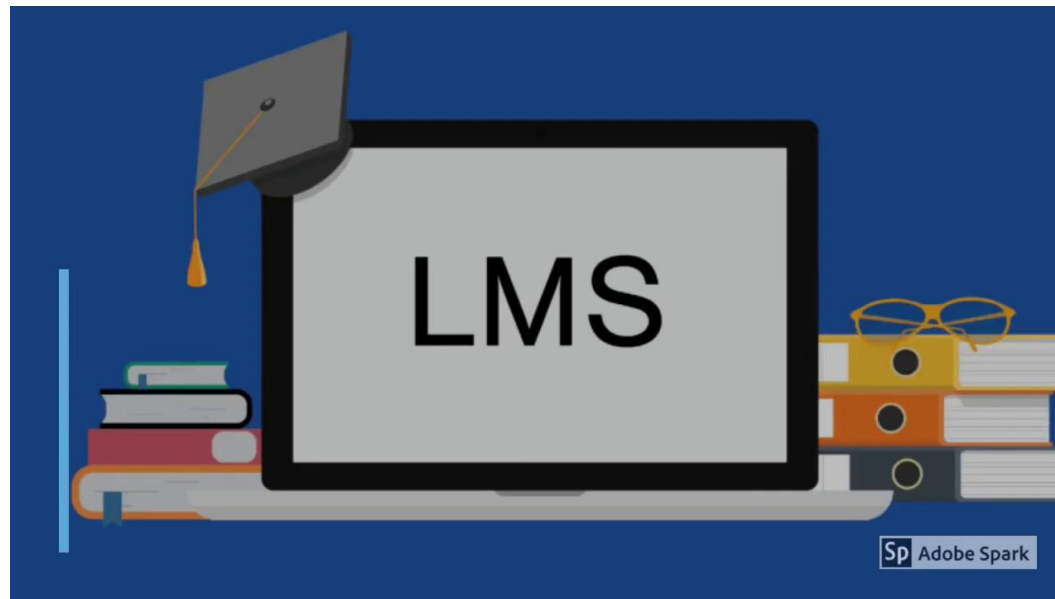
В массовых отраслях гражданского машиностроения применения волокнистых композитов типа стекло-, угле-, органопластиков оказывается не только из-за снижения веса, но и из-за упрощения конструкции.



Эффекты применения КМ делятся на:  
-прямые эффекты (снижение массы);  
-технологические эффекты (уменьшить число деталей);  
-конструкционные эффекты (повышение прочности и жесткости).

# Заключение

Предлагаем студентам просмотреть дополнительные материалы, размещенные в LMS Политеха (<https://lms.mospolytech.ru>)



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**