

**Университетские субботы 2021**  
**МГУ - школе**

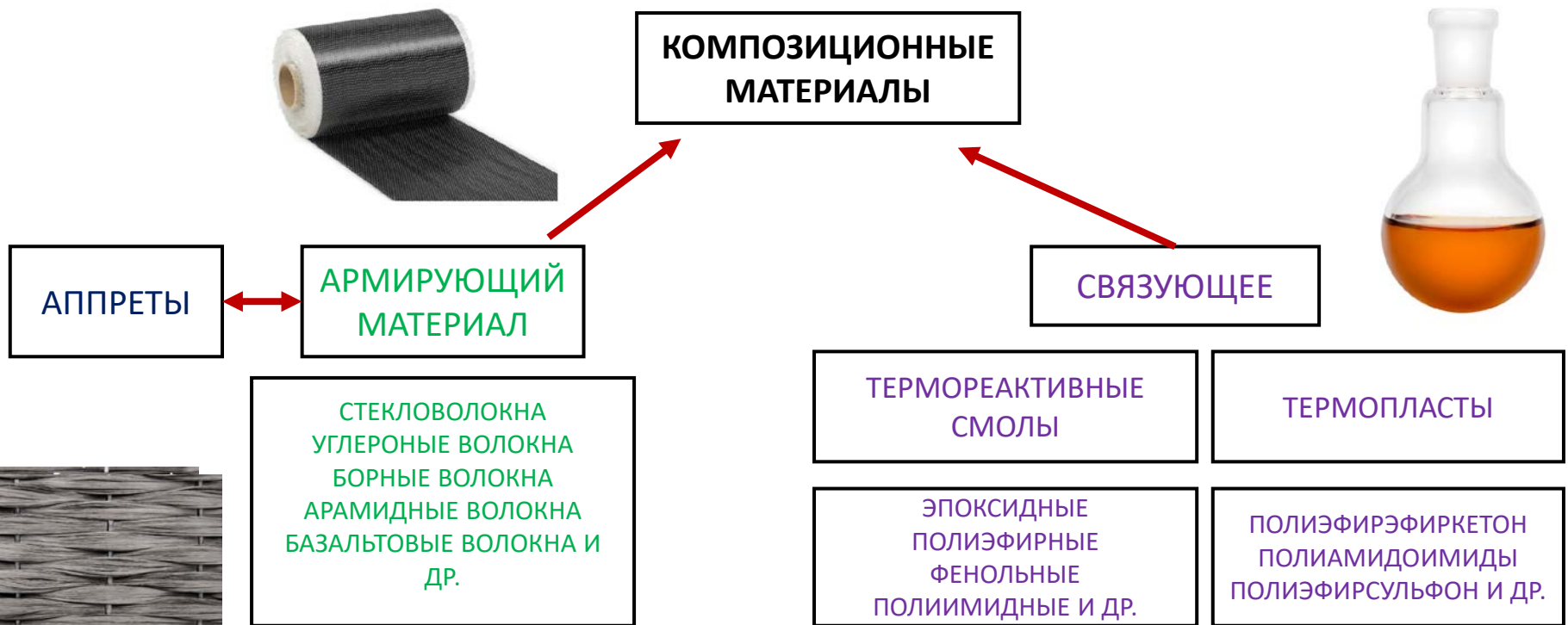
# **Полимерные композиционные материалы – материалы будущего**

**Максимова Наталья Владимировна, к.х.н., доцент**  
**Булгаков Борис Анатольевич, к.х.н., с.н.с.**

Кафедра химической технологии и новых материалов  
МГУ имени М.В. Ломоносова

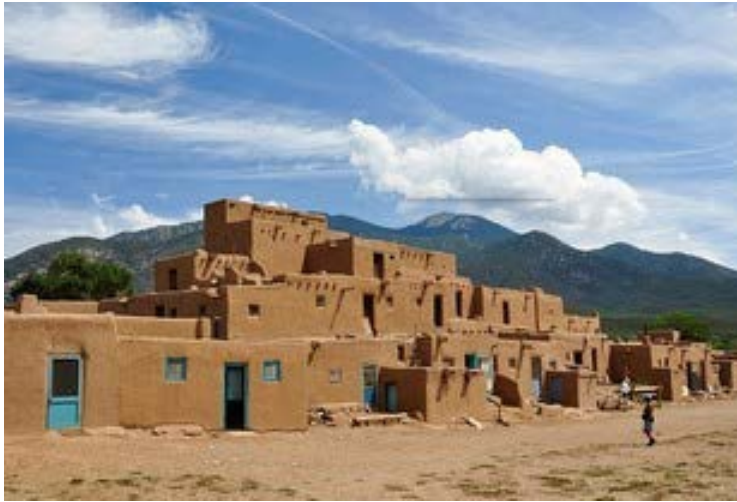
# Что такое композиционные материалы?

**Композит** (Композиционный материал, КМ) - неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела фаз, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов, в результате соединения которых возникает комплекс новых свойств, которыми компоненты по отдельности не обладают.





# История композитов



**Израильтяне использовали рубленную солому для армирования кирпичей**

Саман - кирпич-сырец из глинистого грунта с добавлением соломы или других волокнистых растительных материалов

**Египетские саркофаги отделаны клееным шпоном, а мумии завернуты в ткань смоченную смолой**



**Монгольские воины использовали высококачественные луки изготовленные из сухожилий волов, рогов, бамбуковых стеблей, шелка и смолы сосны. Прочность таких луков достигала 80% от современных стеклопластиковых аналогов.**



# Международный военно-технический форум «Армия-2021» Всероссийский научно-технический конкурс «ИнтЭРА»



Изготовление композитных дуг лука





# Композиционные материалы



Фото: <http://www.slavutich-media.ru>



Фото: [www.мастерок.жж.рф](http://www.мастерок.жж.рф)



# Общие сведения о композиционных материалах

Определение: Композиционные материалы (композиты) - представляют собой металлические и неметаллические матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц и др.); при этом эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиции. (БСЭ)

*Как правило, композиционные материалы обладают **улучшенными механическими свойствами**. При этом существуют композиционные материалы созданные с целью улучшения других свойств – электропроводности, оптических свойств, химических и других свойств, а также увеличения экономической эффективности .*

## Примеры композиционных материалов и изделий из них

Железобетон, древесина, танковая броня, автомобильная покрышка

## Преимущества композиционных материалов

Хорошие механические свойства

Низкий удельный вес

Стойкость к внешним воздействиям

Свойства материала могут задаваться целенаправленно

## Недостатки композиционных материалов

Высокая цена

Сложность ремонта и утилизации.

# Классификация композиционных материалов

## Варианты классификации

### 1) По типу матрицы

Полимерные, углеродные, стеклянные, металлические, керамические и др.

### 2) По типу наполнителя

Полимерные, углеродные, стеклянные, металлические, керамические и др.

### 3) По структуре (размерности)

Нульмерные (наполнители-частицы), одномерные, двухмерные

### 4) По технологии получения

Выкладка, RTM, экструзия, пултрузия, прессование, намотка и др.



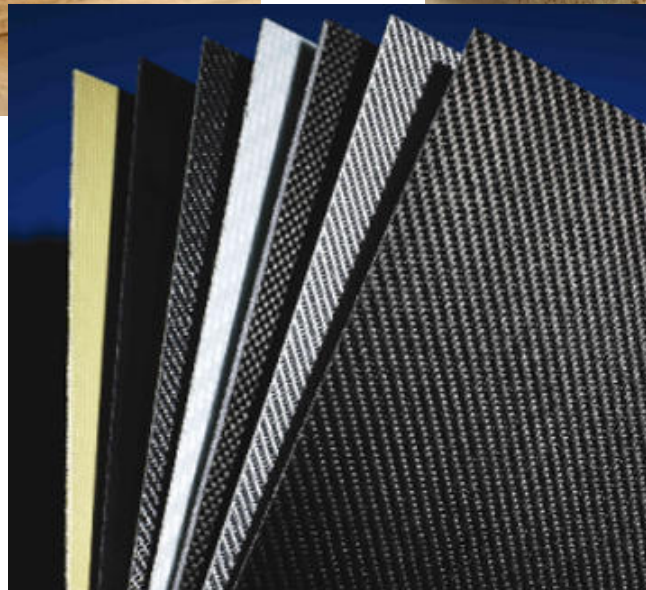
# Полимерные композиционные материалы (ПКМ)



Фанера



ДСП – древесно-стружечная плита





# Где вы встречались с ПКМ?

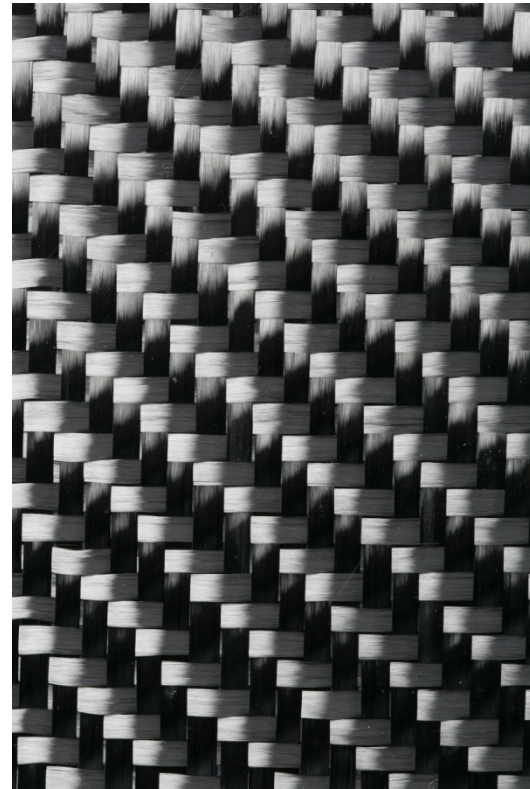


# Из чего состоят ПКМ?

**Связующее (Матрица)**



**Армирующий наполнитель**







# Полимерные матрицы (связующие)

## Функции матриц

Соединение и фиксация армирующих волокон в определенном порядке.  
Обеспечение совместной эффективной работы армирующих волокон при различных видах нагрузок.  
Защита армирующих волокон от воздействия различных внешних факторов.

## Свойства матриц, определяющие свойства ПКМ

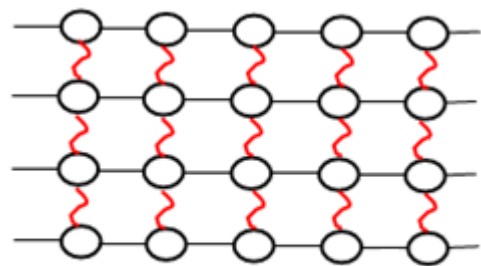
Температура эксплуатации  
Трещиностойкость  
Ударопрочность  
Стойкость к сдвиговым нагрузкам  
Стойкость к истиранию  
Влагопоглощение  
Химическая стойкость  
Электрические и др. специальные свойства (частично)  
Термическая и термоокислительная стабильность

## Требования к матрицам

Невысокая вязкость и хорошее смачивание волокна матрицей в процессе пропитки.  
Возможность предварительного изготовления полуфабрикатов  
Невысокие (приемлемые) значения параметров формования ПКМ (температура, время, давление).  
Обеспечение прочного взаимодействия на границе волокно-матрица.  
Небольшая усадка.

# Полимерные матрицы. Термопласты

Твердый



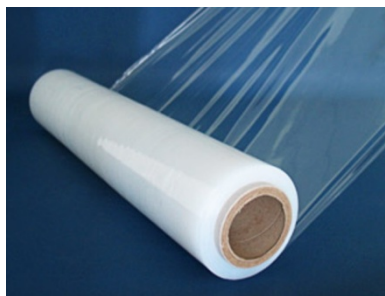
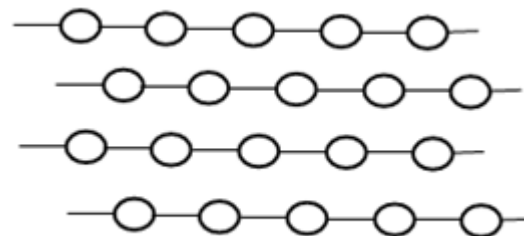
Нагрев



Охлаждение



Текущий



Полиэтилен



ПЭТФ



ПВХ



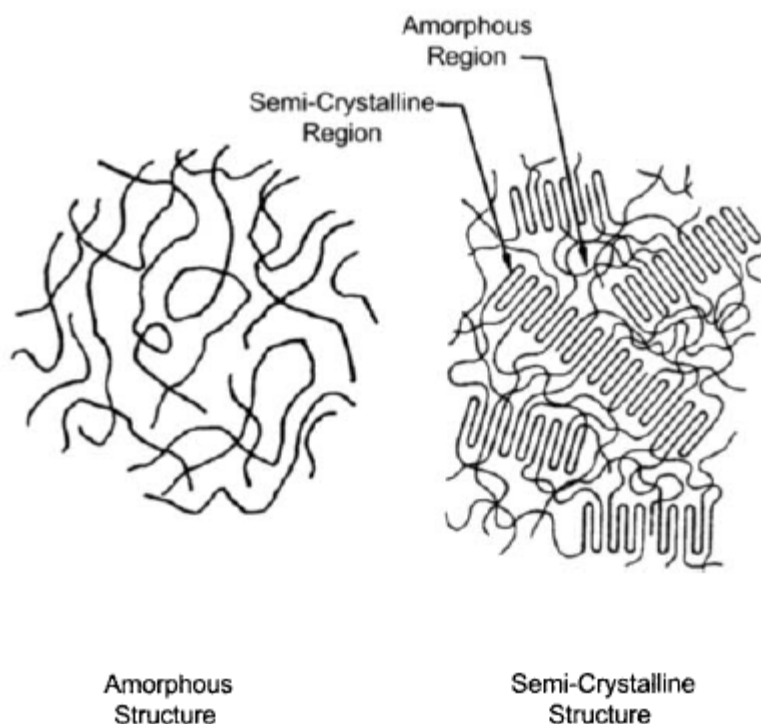
Полиуретан



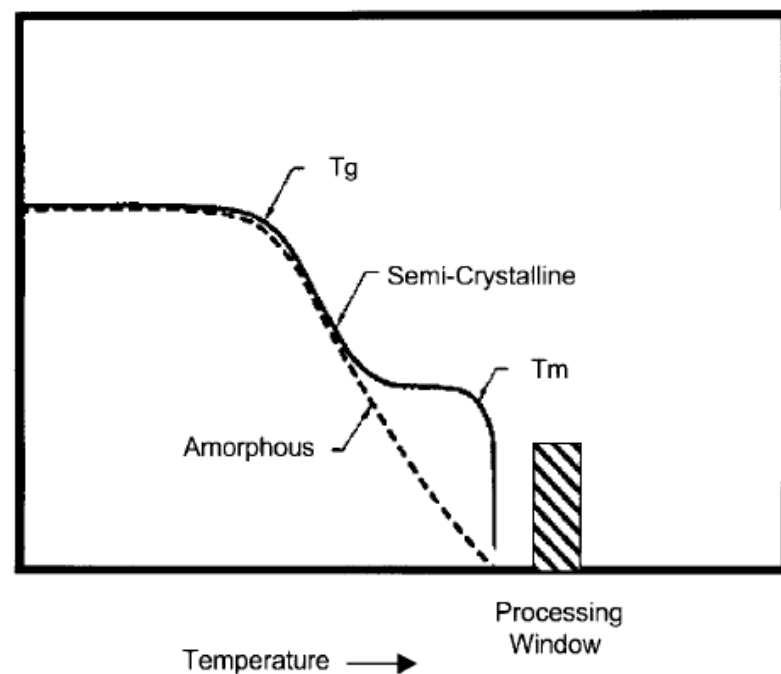
# Морфология термопластичных полимеров

- Кристаллические ( $T_{пл}$ ).
  - Жесткость
  - Устойчивость к растворителям
  - Переход в жидкое состояние после превышения  $T_{пл}$
- Аморфные ( $T_c$ )
  - Размягчаются с повышением температуры
  - Резко теряют механические свойства после  $T_c$

# Морфология термопластичных полимеров

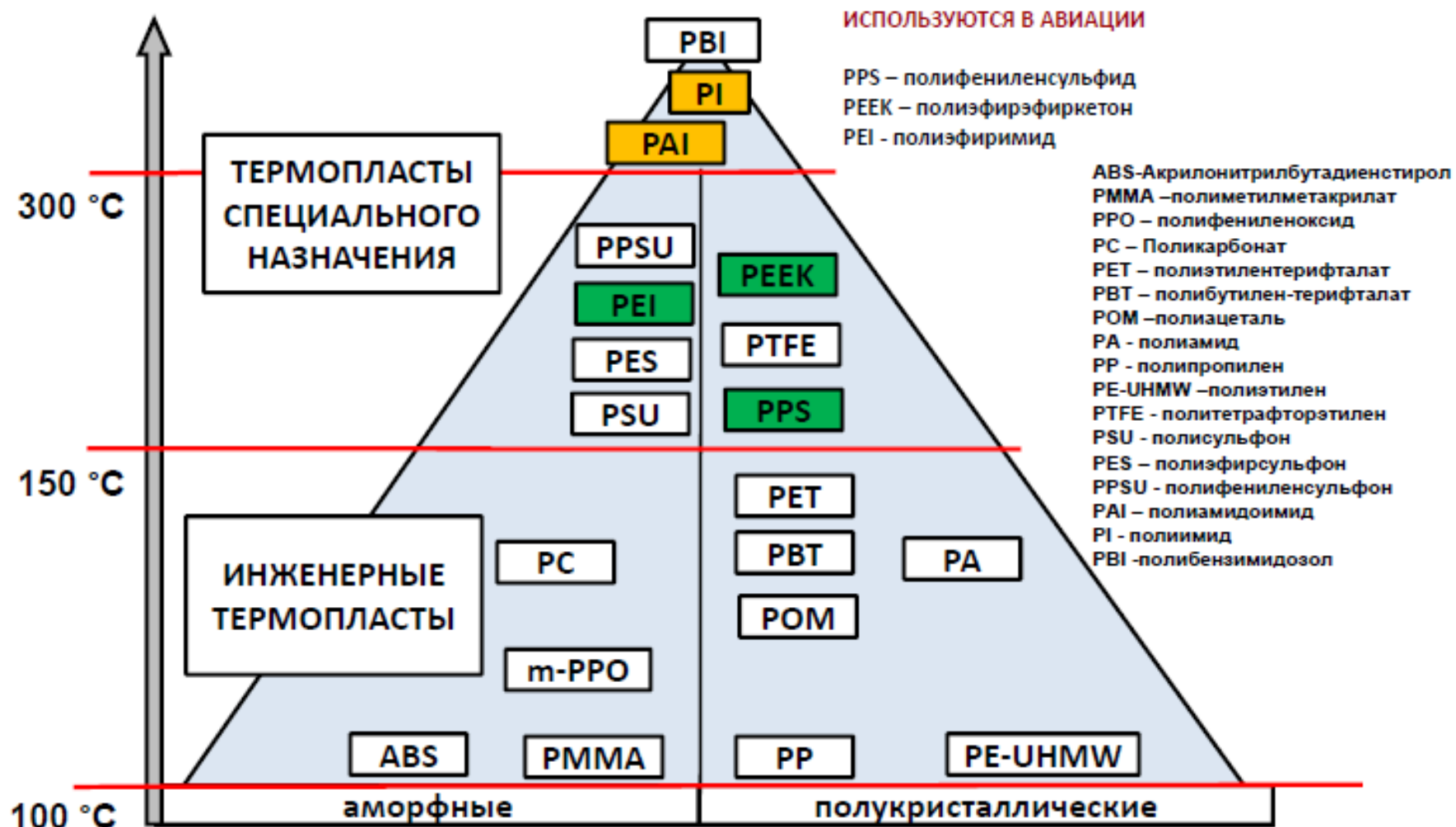


Dynamic Modulus





# Термопластичные полимеры



# Термопластичные матрицы



панель грузового пола  
PEI, Фокер 70 и 100



Акустический лайнер  
PEI, A380



Панели пола  
PEI, Gulfstream 650



Руль PPS,  
Gulfstream 650



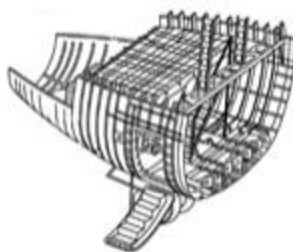
Демонстратор панели  
стабилизатора PEEK

| 1995 | 2000 | 2002 | 2003 | 2005 | 2008 | 2010 | 2012 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
|------|------|------|------|------|------|------|------|

передняя кромка  
PPS, A330/340



Панели пола кабины  
PEEK, A400M



Спинка кресла,  
PPS

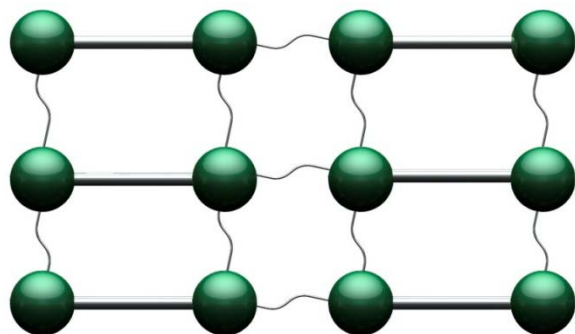


Демонстратор  
интегрированной  
панели фюзеляжа



# Полимерные матрицы. Реактопласты.

Вязкий или твердый



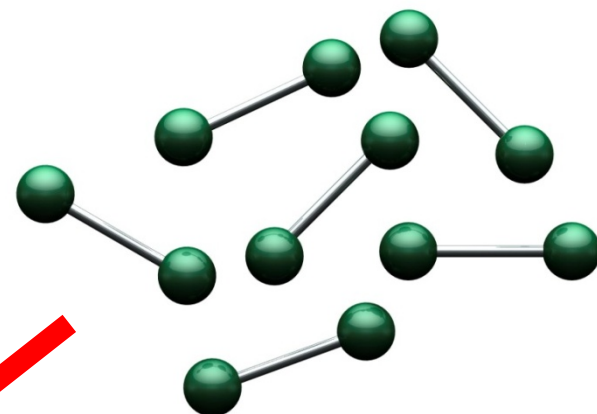
Нагрев



Охлаждение



Текущий



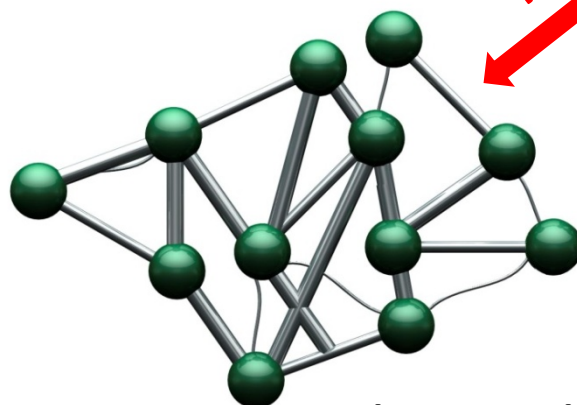
Нагрев



Нагрев



Сшитый полимер (твердый)

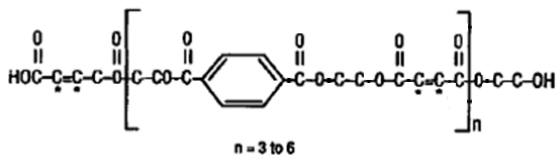


# Полимерные матрицы

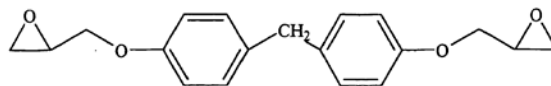
## Реактопласты



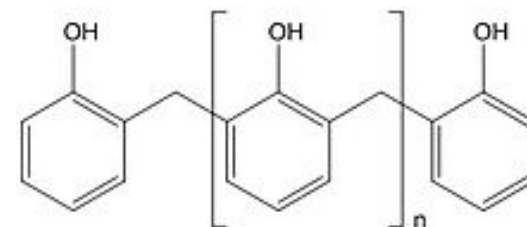
Полиэфирные смолы



Эпоксидные смолы



Фенолформальдегидные  
смолы

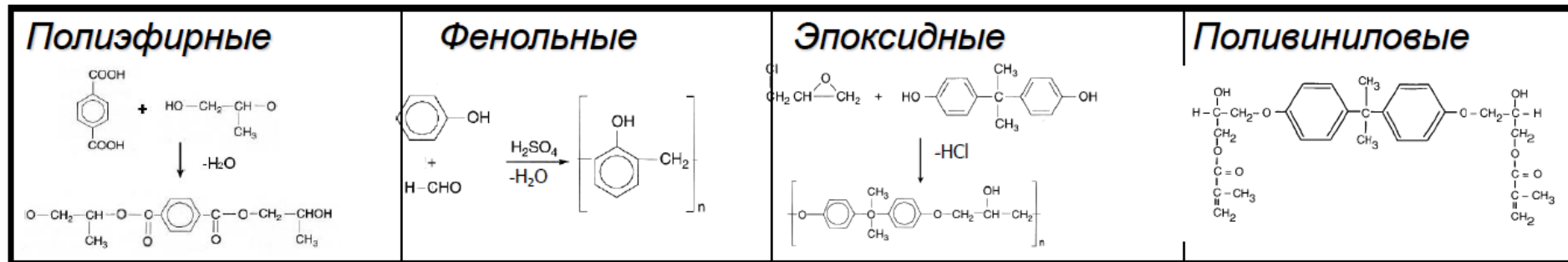




# Полимерные матрицы

## Реактопласты

**Термореактивные смолы** – смолы отверждаемые в результате химической реакции, как правило, при повышенных температурах

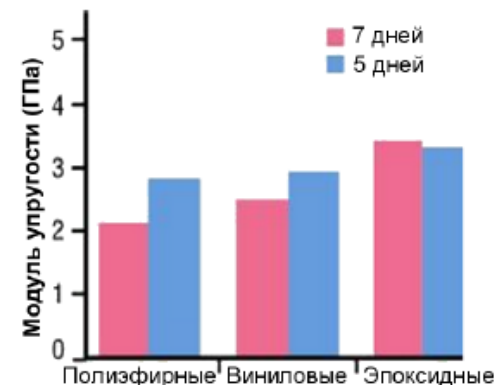
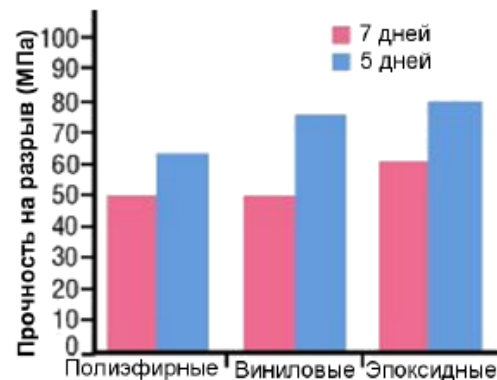


### Полиэфирные и фенольные смолы

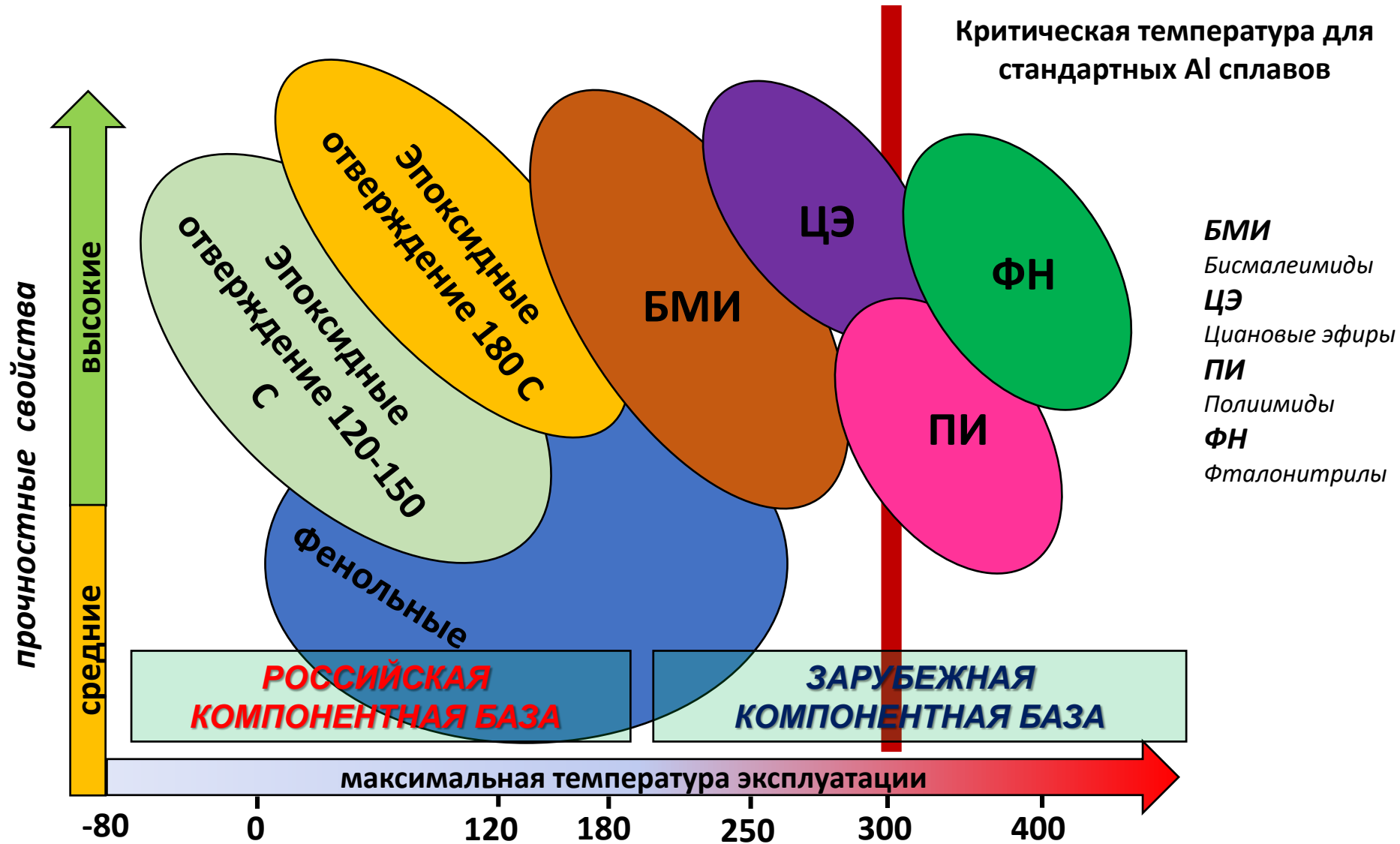
дешевы и просты в применении. Они занимают 90% рынка термореактивных смол. Их недостатки — низкая прочность и модуль упругости, хрупкость.

Для композитов на основе углеродных волокон применяют более прочные и дорогие **эпоксидные и поливиниловые смолы**.

Перспективными материалами являются **полиимидные смолы**.



# Термореактивные связующие



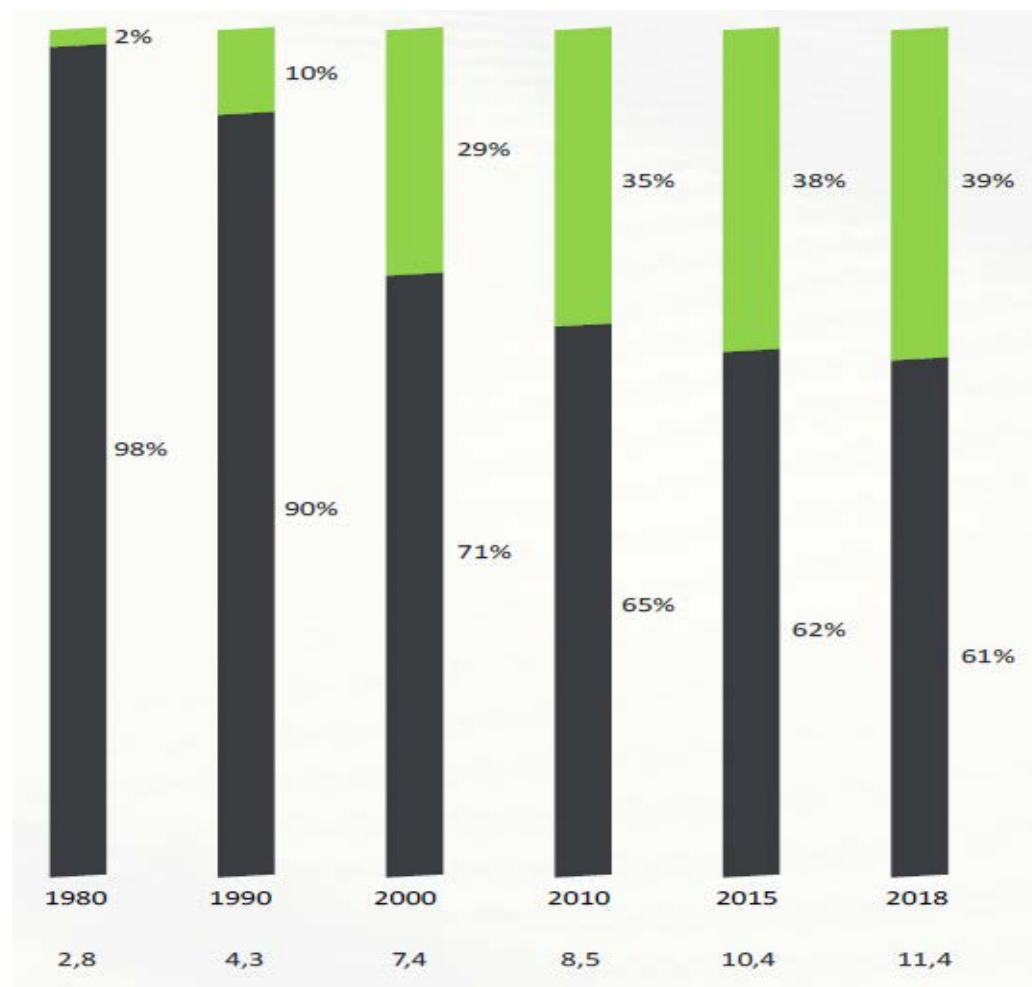
| Термореактивные полимерные матрицы:                       | Термопластичные полимерные матрицы:                                                  |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Достоинства</i>                                        |                                                                                      |
| Низкая вязкость исходных мономеров (~10 Пз)               | Высокая ударопрочность                                                               |
| Хорошая смачиваемость волокон компонентами связующего     | Высокое удлинение при разрыве (стойкость к образованию микротрещин)                  |
| Термическая стабильность                                  | Неограниченная жизнеспособность                                                      |
| Химическая стойкость<br>(благодаря химической сшивке)     | Сокращенное время переработки                                                        |
| Низкая ползучесть и релаксация напряжений                 | Возможность многократной переработки                                                 |
|                                                           | Возможность формовки предварительно изготовленных изделий и их объединения           |
|                                                           | Ремонтопригодность                                                                   |
|                                                           | Низкое влагопоглощение                                                               |
|                                                           | Огнестойкость (наличие ароматических колец в цепи)                                   |
| <i>Недостатки</i>                                         |                                                                                      |
| Ограниченная жизнеспособность                             | Высокая вязкость ( $10^4$ - $10^7$ Пз, сложность изготовление ПКМ с непр. волокнами) |
| Длительность процесса отверждения                         | Высокая зависимость механических свойств от Т                                        |
| Наличие в составе низкомолекулярных токсичных компонентов | Низкая химическая стойкость (аморфные)                                               |
| Низкое удлинение при разрыве                              |                                                                                      |

# Мировой рынок ПКМ по типу связующих

Термопласты

Термореактивные

Объем рынка,  
млн. тонн/год





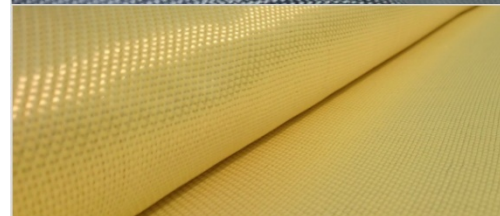
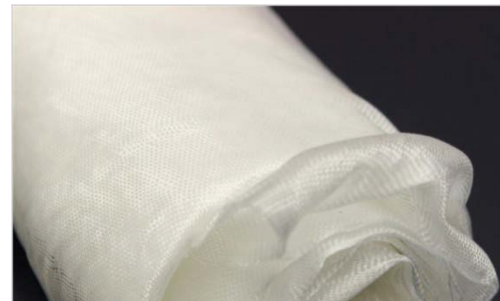
# Чем армировать?

Стекловолокно

Углеродное волокно

Арамидное волокно

Базальтовое волокно



# Стекланные волокна для ПКМ



Основной компонент  $\text{SiO}_2$  (50-99%), присутствуют  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{ZrO}_2$

Диаметр филаментов 3-100 мкм



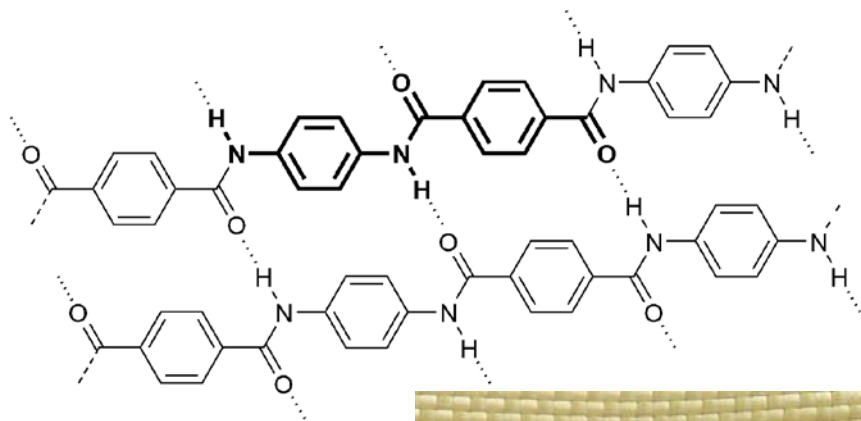
Вытягивание волокон из расплавленной стекломассы через фильеры (одностадийный процесс)

Вытягивание волокон из стеклянных штабиков (двухстадийный процесс)

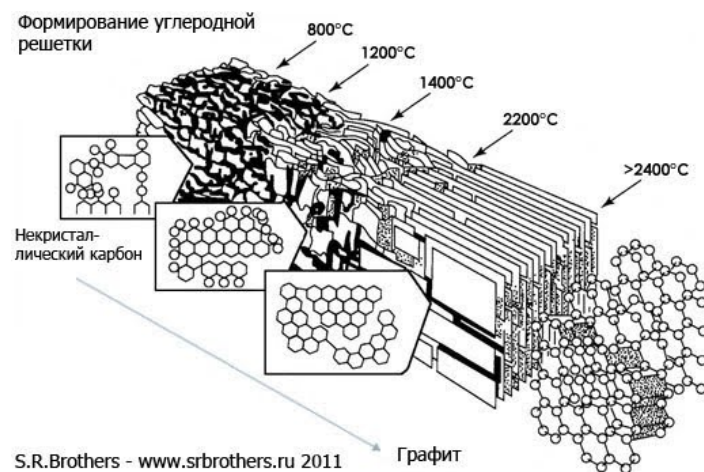
# Арамидные волокна

**Кевлар** – полипарафенилен-терефталамид, DuPont, 1964

жесткоцепной высокоориентированный полимер  
85% амидных групп связаны с двумя  
ароматическими кольцами;

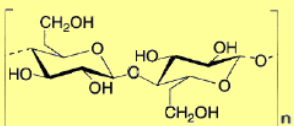


# Углеродные волокна

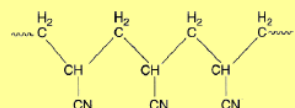


## УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА

### На основе вискозного волокна



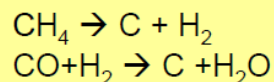
### На основе ПАН волокна



### На основе пекового волокна



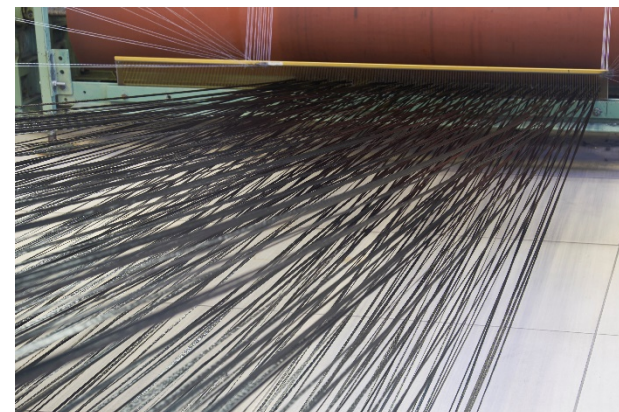
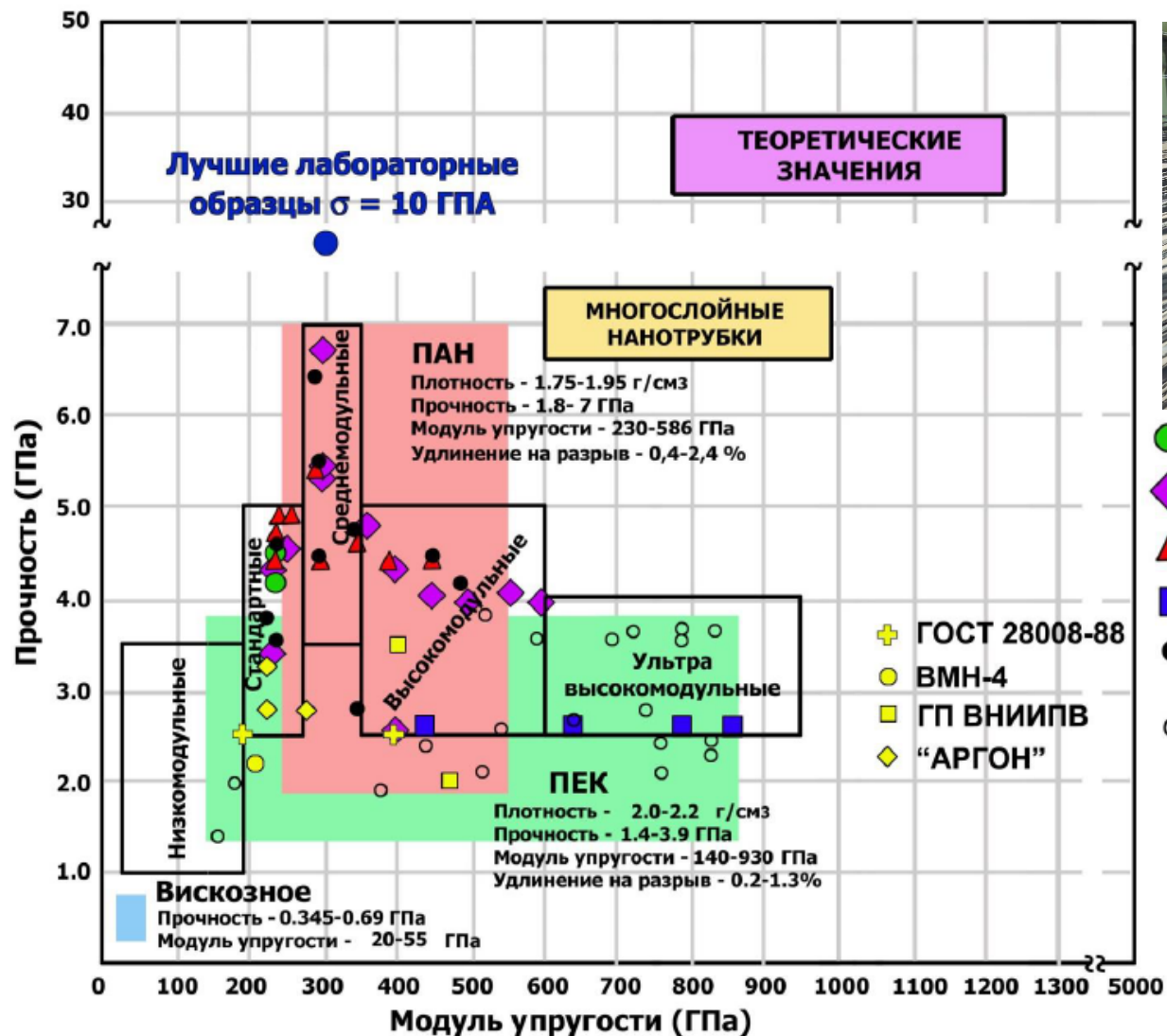
### Волокна из газовой фазы



|   |                                                                     |                                                                                 |                                                                                                   |                                                     |
|---|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| + | <b>Низкая цена исходного сырья</b>                                  | <b>УВ на основе ПАН обладают высокой прочностью и высоким модулем упругости</b> | <b>УВ на основе пека обладают высоким модулем упругости</b><br><b>Низкая цена исходного сырья</b> | <b>Простой и недорогой способ получения волокон</b> |
| — | <b>Получаемое УВ обладает низкими прочностными характеристиками</b> | <b>Высокая цена исходного ПАН волокна</b>                                       | <b>Низкая прочность на разрыв и изгиб углеродного волокна</b>                                     | <b>Сложность получения непрерывных волокон</b>      |



# Углеродные волокна



- GRAFIL (HYSOL, ПАН)
- ◆ TORAYCA (TORAY)
- ▲ PYROFIL (MITSUBISHI RAYON, ПАН)
- DIALED (MITSUBISHI RAYON, пек)
- Cytec, Hexel (Hexel, USA), Fortafil (Fortafil, USA), Grafil (Grafil Inc, USA)
- Мезофазные пековые и пековые (Nypon, Cytec, Mitsubishi)

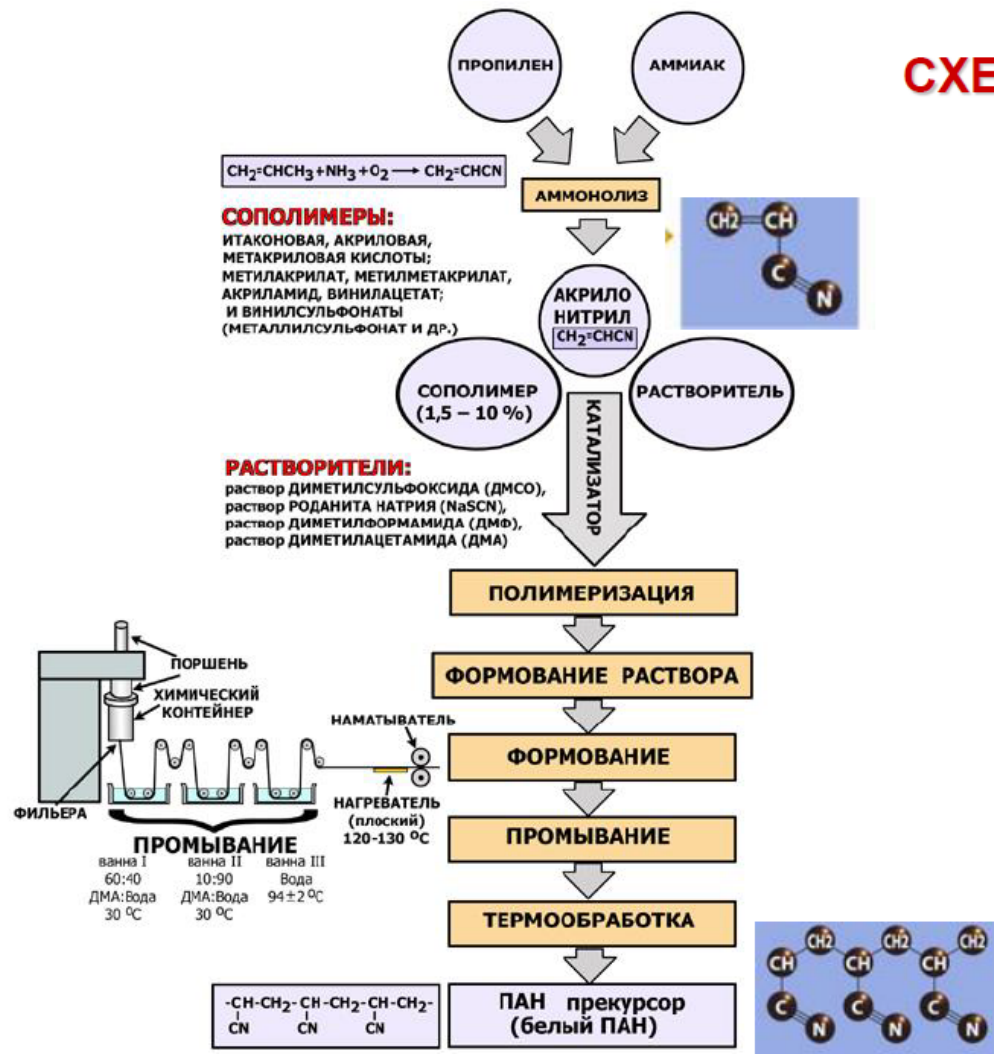


Лучшие отечественные волокна



# Производство углеродных волокон на основе ПАН-прекурсора

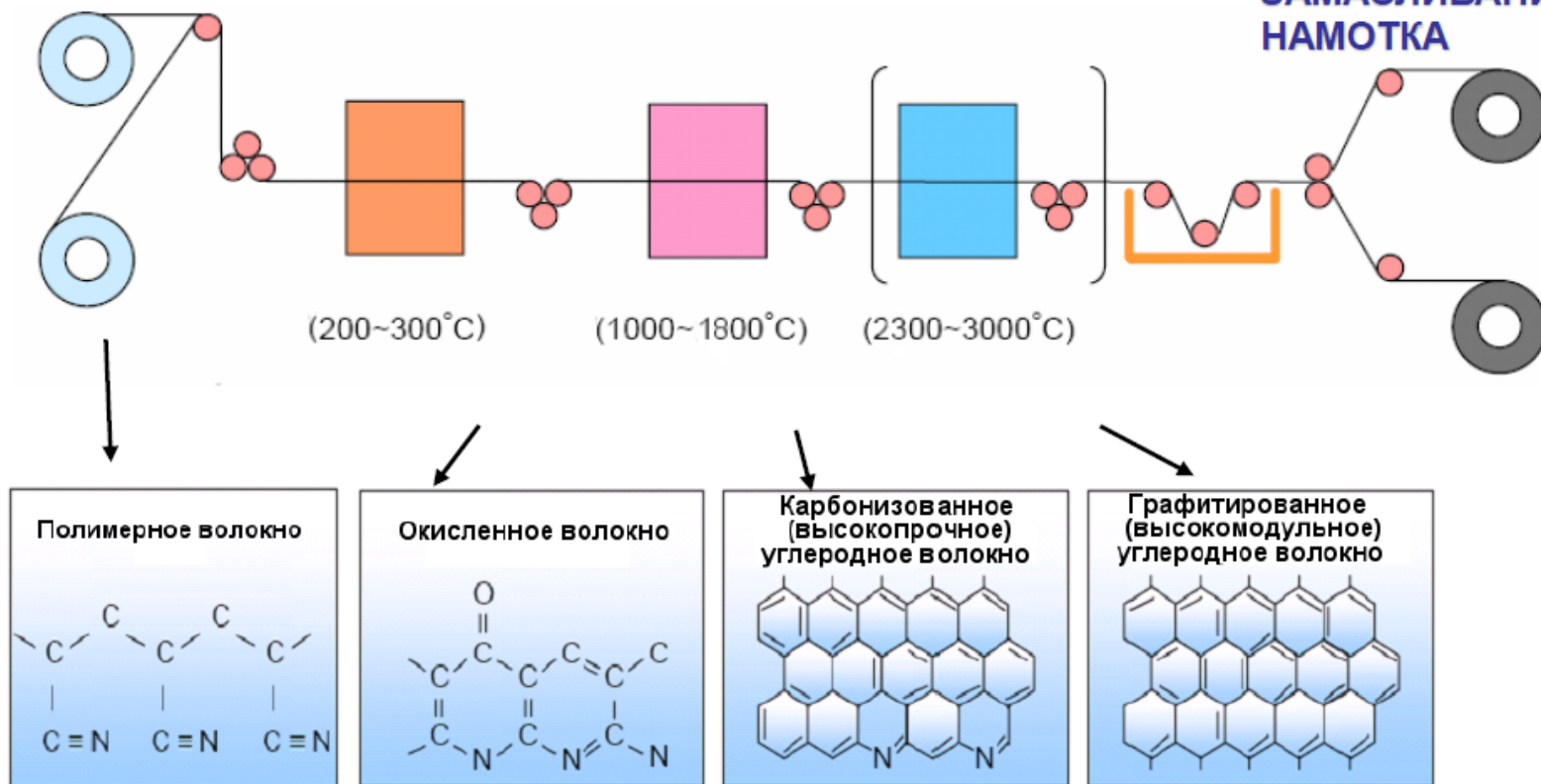
## СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ПАН ВОЛОКОН



# Технологическая схема получения углеродных волокон

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ; КАРБОНИЗАЦИЯ; ГРАФИТАЦИЯ

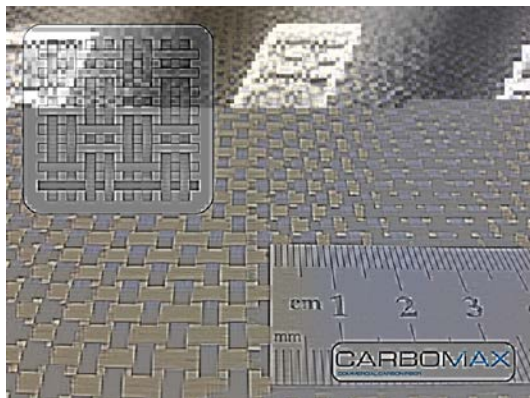
Э/Х ОБРАБОТКА;  
ЗАМАСЛИВАНИЕ;  
НАМОТКА



# Углеродное волокно и текстиль



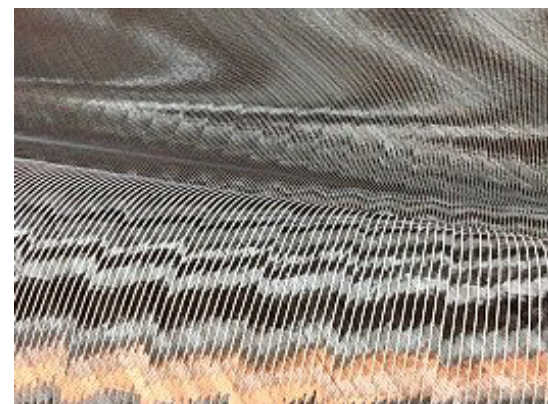
Плотняное



Саржа

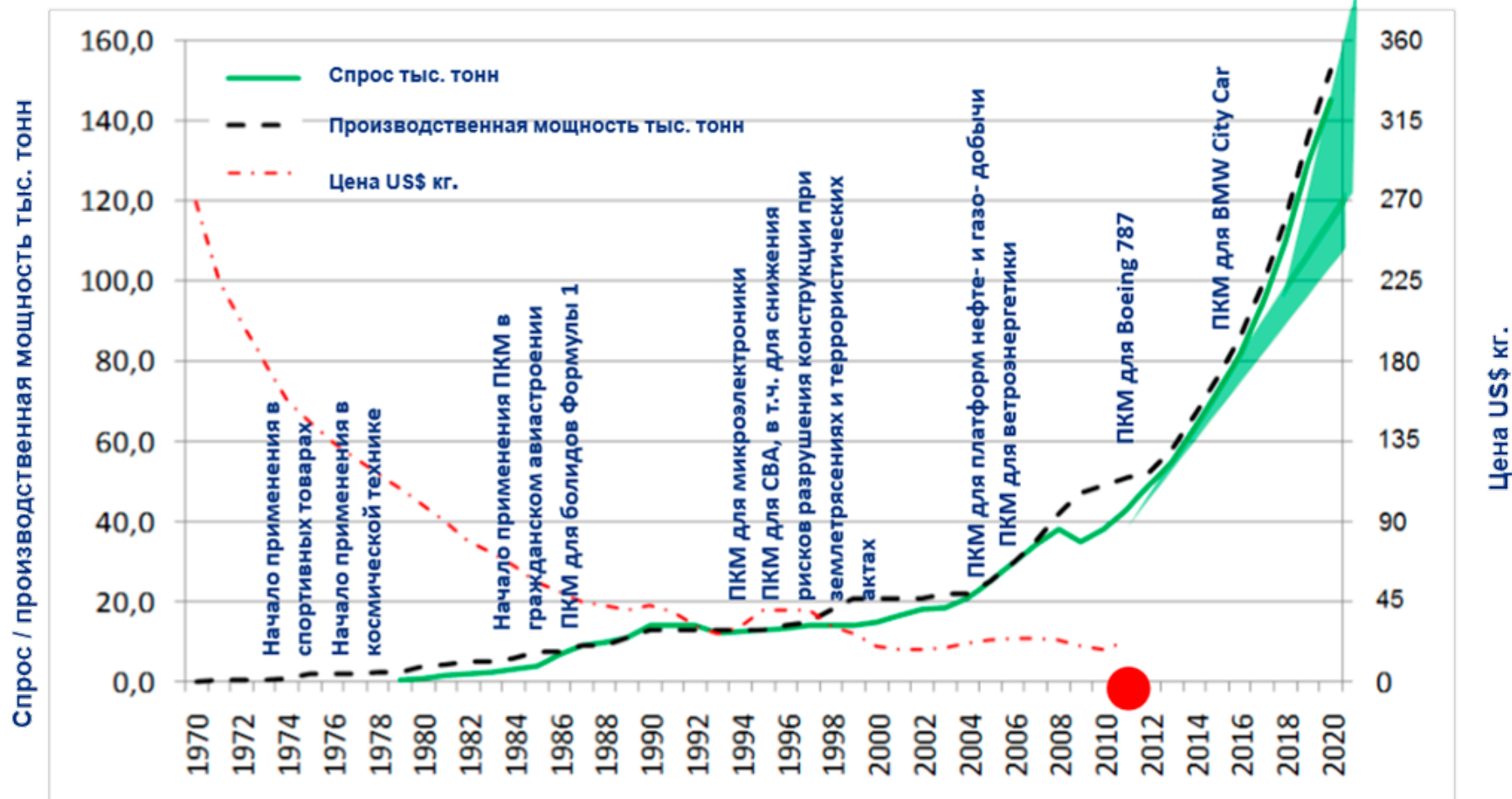


Биаксиальное





## Рост спроса на углеродные волокна в течении 50 лет (1970-2020)



1975-2004

2005-2020

Ежегодный рост спроса

5-8%

10-15%

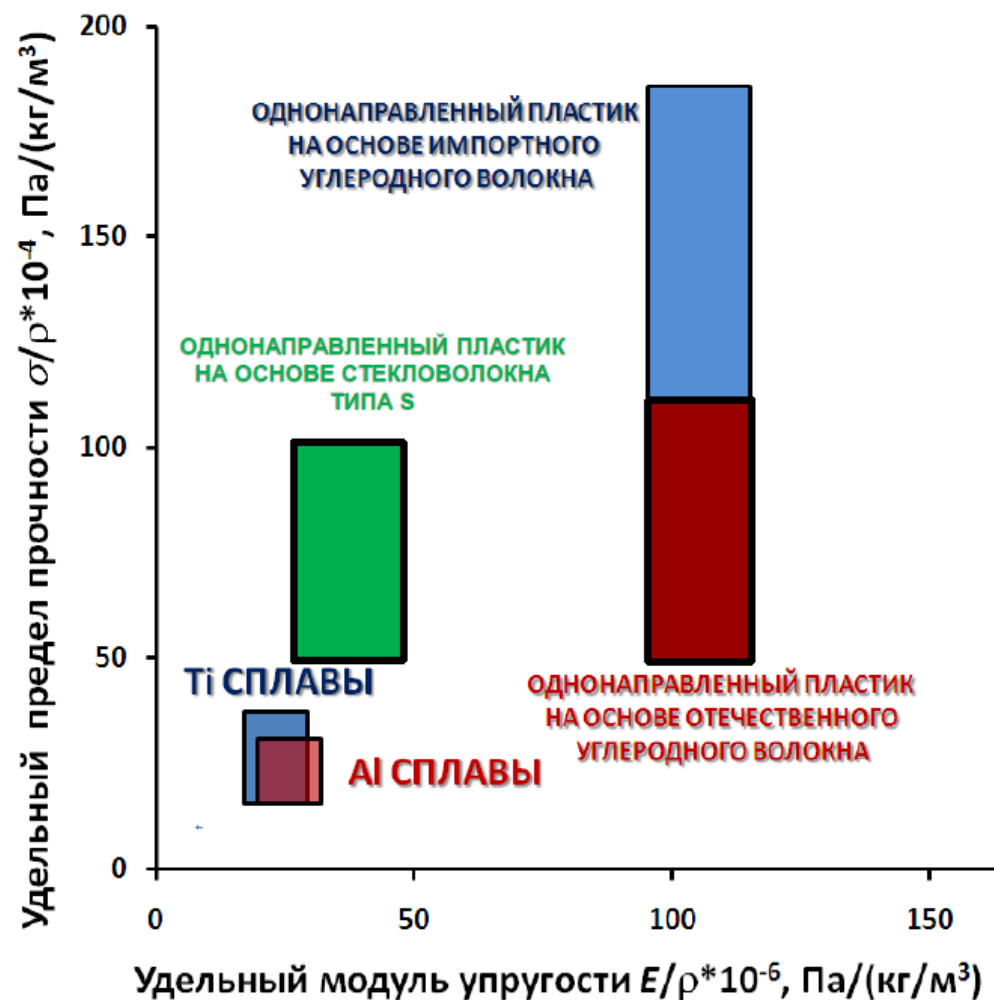




# Сравнение различных типов армирующих волокон

| Армирующие волокна            | Прочность, ГПа | Модуль упругости, ГПа | Удлинение при разрыве, % | Плотность г/см <sup>3</sup> | Стоимость \$/кг |
|-------------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Стекло E                      | 1.5-3.0        | 72                    | 1.8-3.2                  | 2.55                        | 2-4             |
| Стекло S                      | 3.5-4.0        | 86                    | 4-5                      | 2.5                         | 15-20           |
| Арамидные волокна             | 2.7-4.5        | 60-180                | 2-4                      | 1.45                        | 30-60           |
| Высокомолекулярный полиэтилен | 3.0-3.5        | 120                   | 2-3                      | 0.95                        | 30-40           |
| Высокопрочные УВ из ПАН       | 4.0-7.3        | 220-300               | 1.5-2                    | 1.7-1.8                     | 30-200          |
| Высокомодульные УВ из ПАН     | 2.5-5.5        | 300-620               | 0.5-1.5                  | 1.8-1.9                     | 150-400         |
| Высокомодульные УВ из пека    | 0.5-3.5        | 600-900               | 0.5-1                    | 1.9-2.0                     | Нет данных      |
| Волокна SiC                   | 2.1-2.5        | 480                   |                          | 3.18                        | Нет данных      |
| Алюминий                      | 0.15-0.62      | 70                    |                          | 2.7                         | 2.5             |
| Сталь                         | 0.34-2.1       | 210                   |                          | 7.8                         | 0.6-1.5         |
| Полиэфирные нити              | 0.3-0.7        | 3-5                   | 20-40 %                  | 1.35                        | 0.8-1.5         |
| Хлопковые нити                | 0.3-0.7        | 3-5                   | 6-10 %                   | 1.5                         | 1-1.5           |

# Сравнение удельной прочности ( $\sigma/\rho$ ) и модуля упругости ( $E/\rho$ )



# Технологии формования ПКМ

НАПЫЛЕНИЕ  
spray lay-up



ПРЕССОВАНИЕ  
DMC, BMC, SMC



РУЧНАЯ ВЫКЛАДКА  
hand lay-up



ПРОПИТКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ  
В ФОРМЕ (RTM)



ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
VIP, VIMP, RI, VARTM, RFI, ...



**ТЕХНОЛОГИИ  
ФОРМОВАНИЯ**

АВТОКЛАВНОЕ ФОРМОВАНИЕ  
autoclave molding



НАМОТКА  
filament winding



ПУЛТРУЗИЯ  
pultrusion



# РУЧНАЯ ВЫКЛАДКА



## Описание процесса

Армирующий материал в виде ткани пропитывается вручную. Связующее обычно наносится с помощью кисти или валика. Далее слои армирующего материала прикатываются друг к другу до полного удаления излишков смолы и воздушных пузырей. Пакет обычно отверждается при комнатной температуре и нормальном давлении.

## Используемые материалы

Связующее: любые виды связующих, эпоксидные, полиэфирные, фенольные смолы.

Волокно: любые виды волокон

## Области применения

Производство лодок, яхт, архитектурных элементов, лопастей ветрогенераторов.



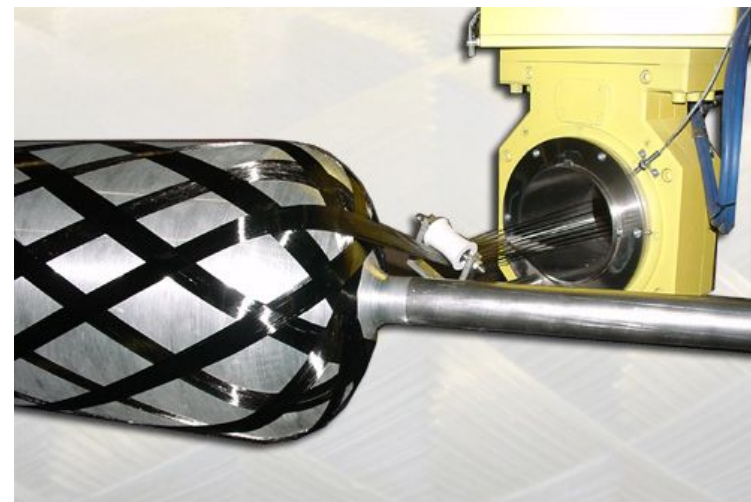
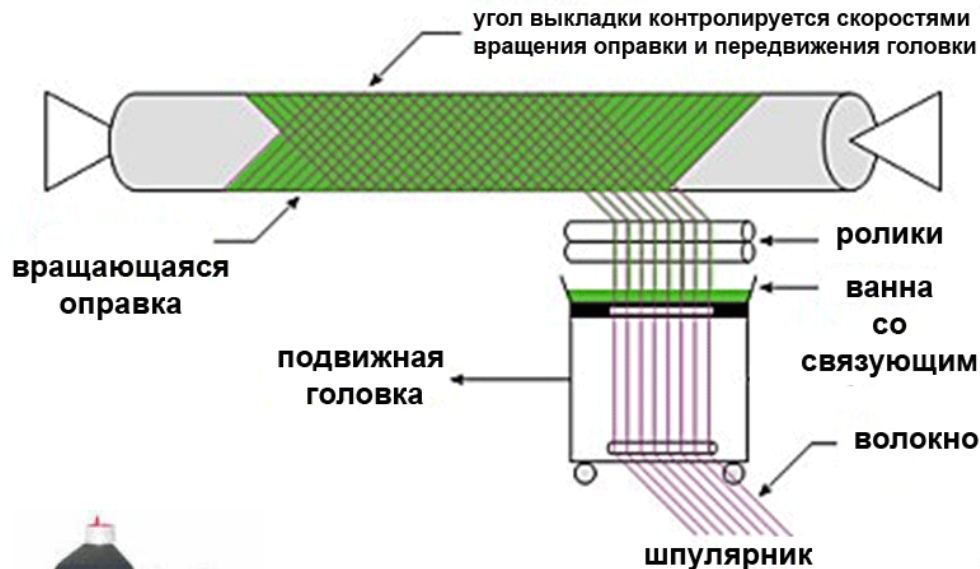
# Горячее прессование

- Может использоваться при переработке «мокрых» препрегов.
- Процесс:
  - Вырезаются листы препрега нужной геометрии и выкладываются в пресс-форму
  - Пресс-форма нагревается и прикладывается давление
  - Пресс-форма охлаждается, композит извлекается

## Прессование в форму



# Намотка волокна



Автономный  
дыхательный аппарат  
со сжатым воздухом –  
**2 кг УВ**



Баллон со сжатым природным  
газом – **10-20 кг УВ**



# Намотка волокна



[https://www.youtube.com/watch?v=\\_GDqxnahwbk](https://www.youtube.com/watch?v=_GDqxnahwbk)



# Автоклавное формование



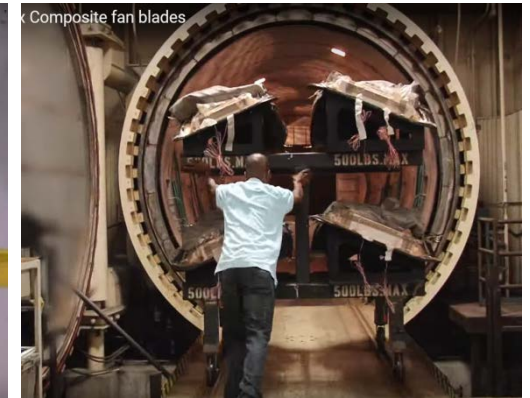


# Автоклавное формование

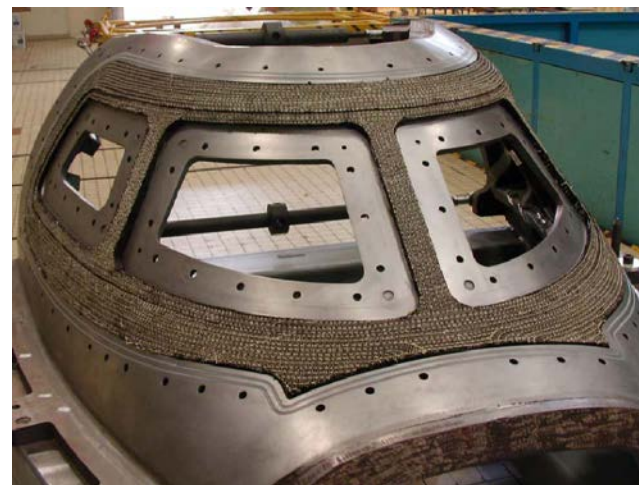
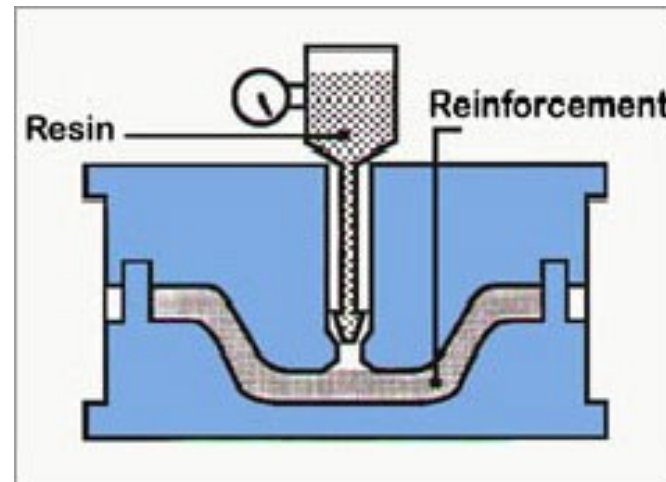
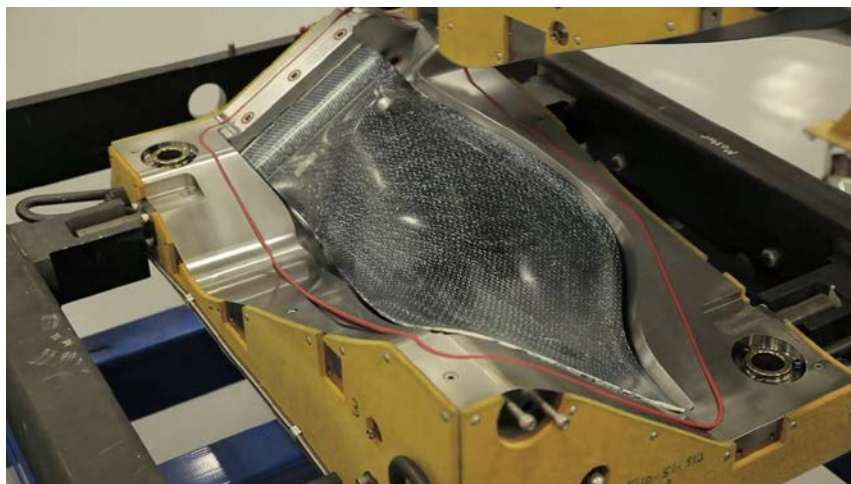


- GE90 – ручная выкладка препрега. Вес лопасти составляет 14,5 кг,
- Лопатка вентилятора GE90 состоит из 400 слоёв, разбитых на 1700 кусков препрега.
- Для полной выкладки лопатки в пресс-форме рабочему требуется около 340 часов.

<https://www.youtube.com/watch?v=eoNySabChvA>



# Формование деталей пропитка под давлением в форме

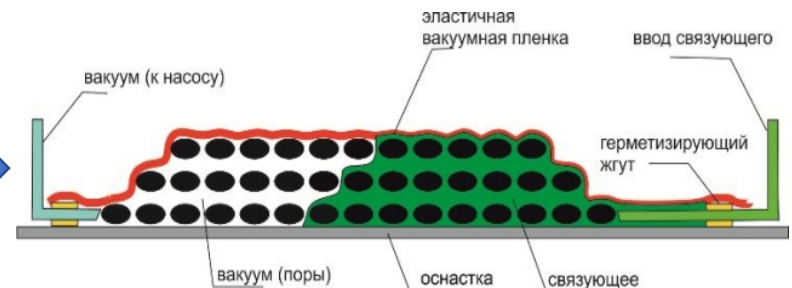
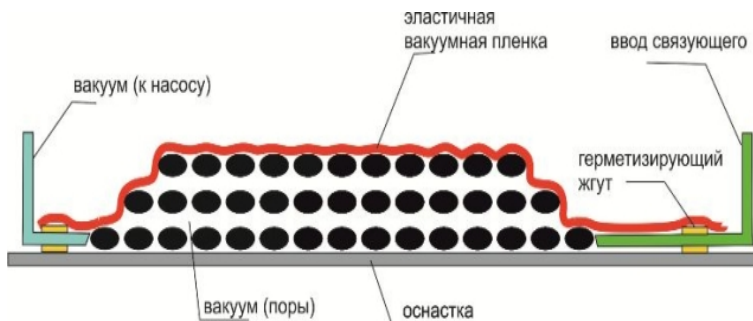




# Формование деталей – вакуумная инфузия



Фото: [compositesworld.com](http://compositesworld.com)



# Вакуумная инфузия





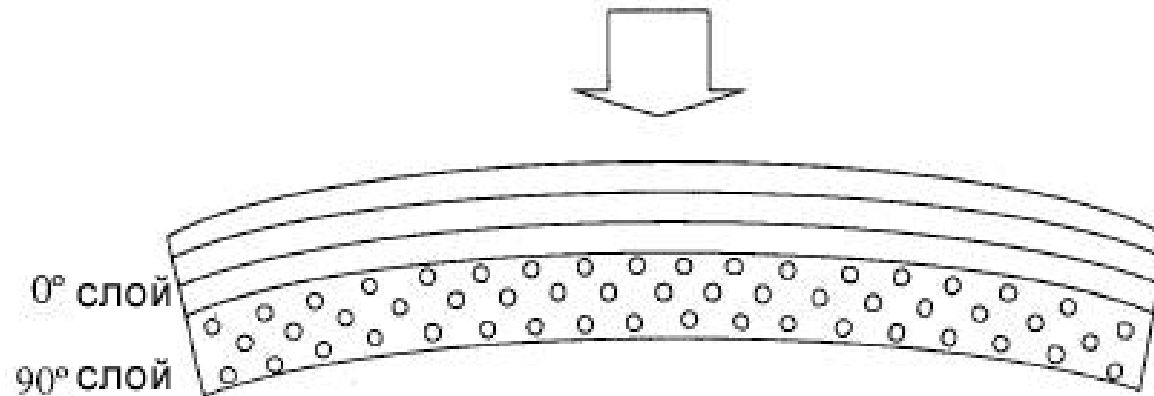
# Вакуумная инфузия



# Вакуумная инфузия



# Технологическая оснастка

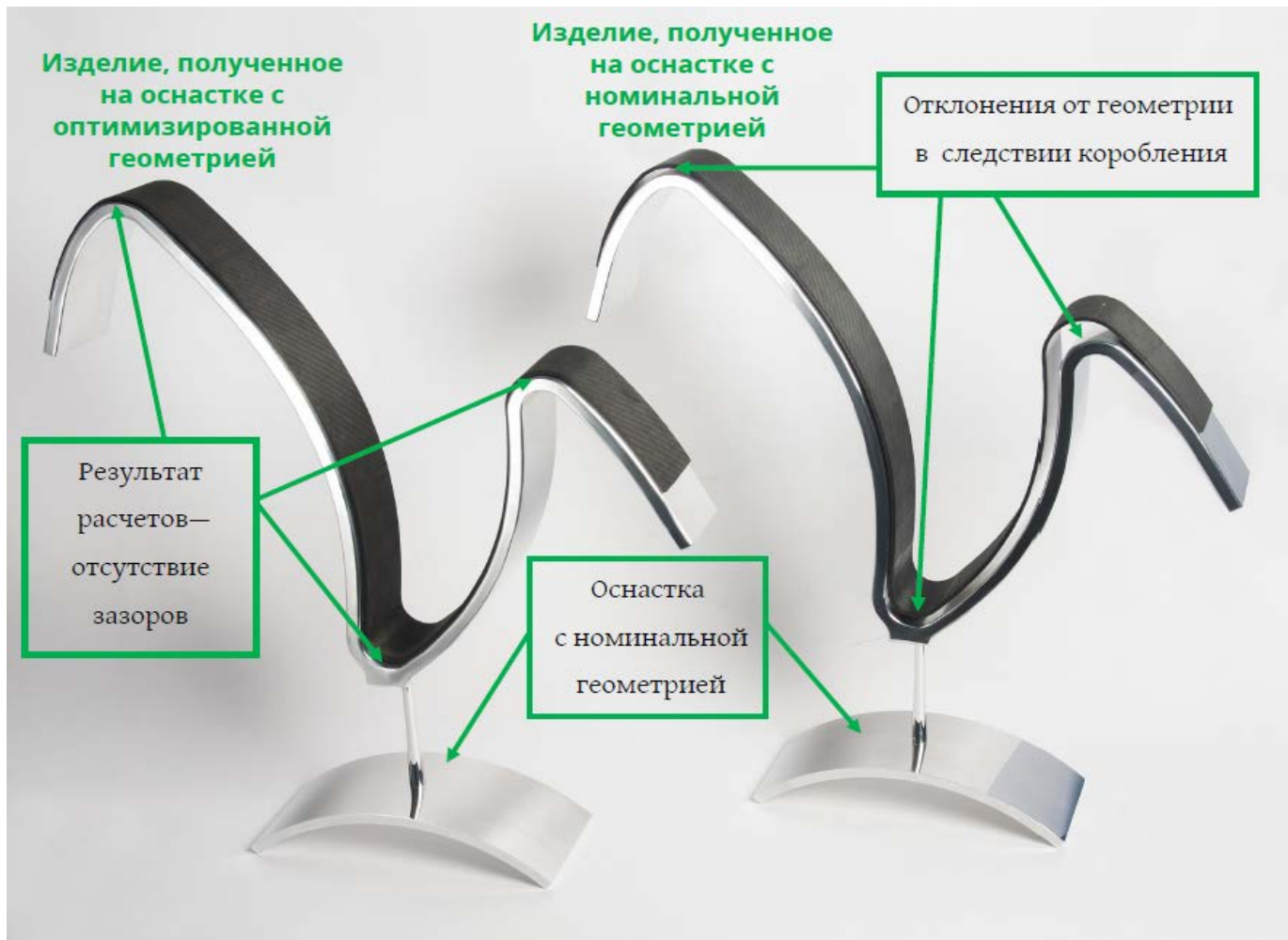


**Схема влияния несимметричности  
на коробление  $[0_n, 90_n]_t$  композита**





# Технологическая оснастка





# Композиты – это...



# Применение ПКМ. Авиастроение

Легкие и прочные силовые детали  
летательных аппаратов



- Снижение веса на 15-30%
- Уменьшение расхода топлива
- Увеличение дальности полета
- Улучшение экологических показателей

**Доля ПКМ (по массе)**

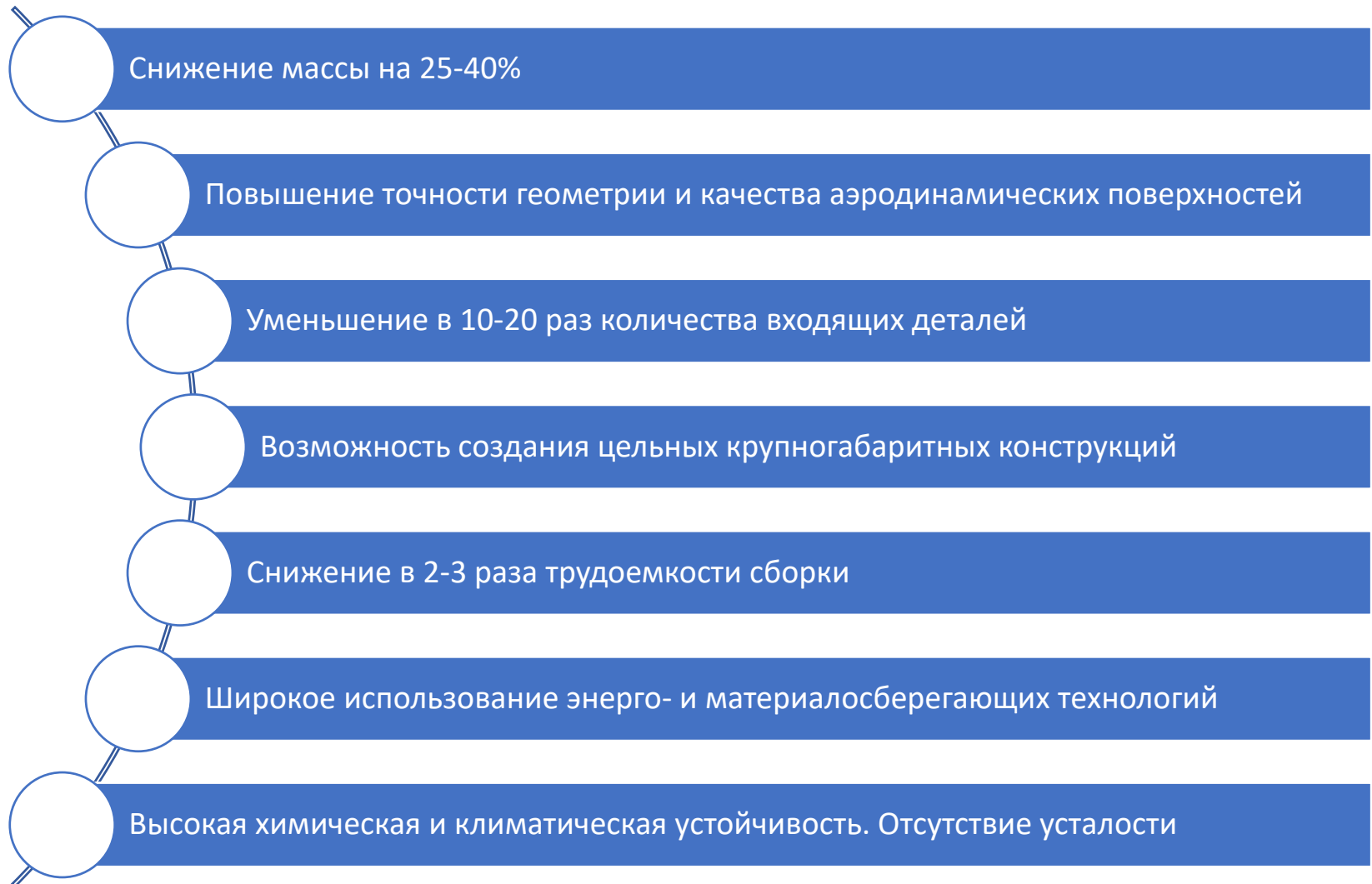
**Аэробус А-380 – 22%**

**Боинг 787 – до 60%**

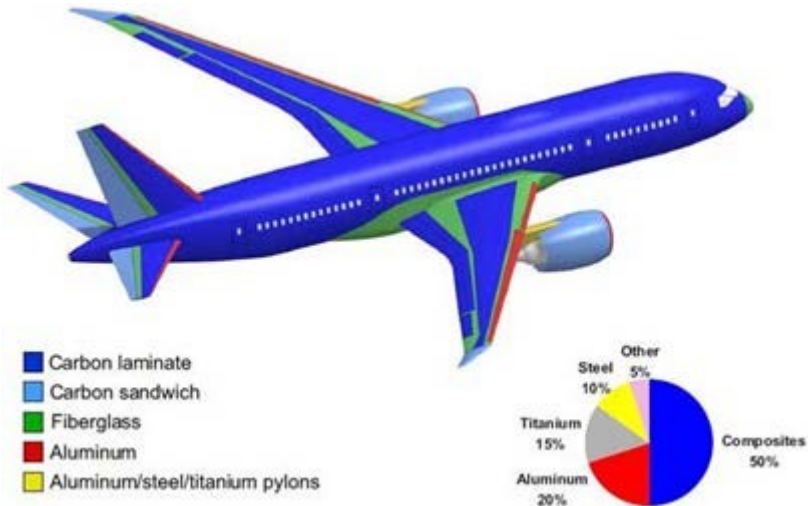
**Военные самолеты – не более 40%**



# Зачем?



# Применение ПКМ. Авиастроение



**Boeing 787 Dreamliner**  
**50% ПКМ**



**Airbus A350XWB**  
**53% ПКМ**



# Применение ПКМ. Авиастроение

## Намотка волокна

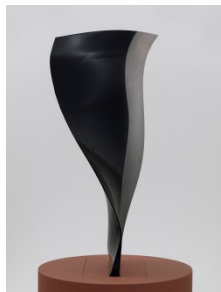


[https://www.youtube.com/watch?v=\\_GDqxnahwbk](https://www.youtube.com/watch?v=_GDqxnahwbk)

# Применение ПКМ. Авиастроение

Масса лопатки вентилятора значительно влияет на вес всей установки

- Увеличение веса лопасти вентилятора на 1 кг требует увеличения веса внешнего защитного корпуса на 0,5 кг
- Увеличение массы вентилятора на 1 кг ведет к увеличению массы двигателя и крыльев самолёта в сумме на 2,25 кг
- Вентилятор и защитный корпус, изготовленные из композитов, позволяют сэкономить более 500 кг массы двигателя



- 1кг =



- 0,5 кг =



- 3,375 кг

# Применение ПКМ. Авиастроение



## **Eurofighter Typhoon**

Начало серийной эксплуатации: 2003 г.

Использование углеродных композитов: **70 %**

Всего использовано композитов: **82 %**



## **МиГ-35**

Первый полет: 2007 г.

Использование композитов: **16 %**

# Применение ПКМ. Космонавтика

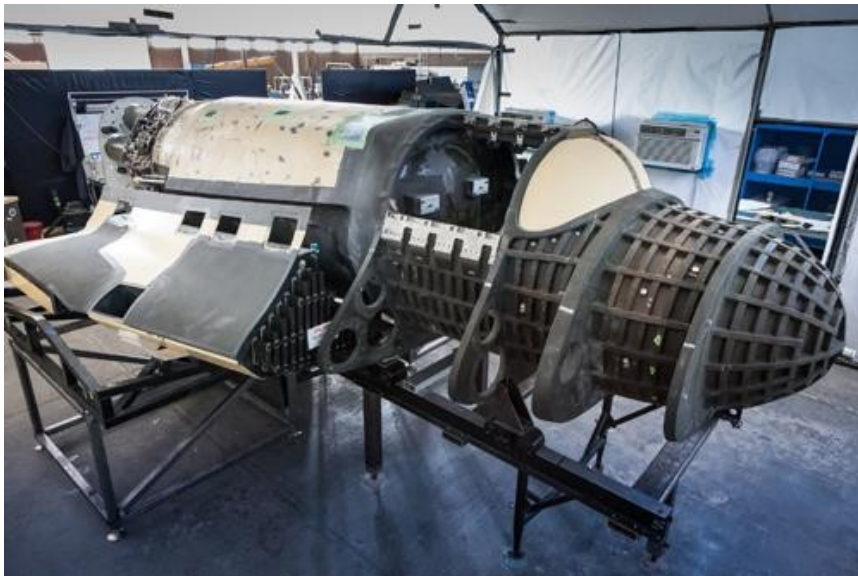
Частный пилотируемый суборбитальный космический корабль  
многоразового использования компании “Virgin Galactic’s”  
**преимущественно изготовлен из композиционных материалов**





# Применение ПКМ. Космонавтика

Частный пилотируемый, двухместный корабль семейства Lynx компании “XCORAerospace”, пригодный для многократного использования с жидкостным ракетным двигателем, способный осуществлять горизонтальные взлет и посадку, преимущественно изготовлен из композиционных материалов



# Применение ПКМ. Космонавтика

## NASA композитный отсек возвращаемого аппарата



- Экономия веса 10-15% по сравнению с алюминием
- Снижение себестоимости производства
- Увеличение полезной нагрузки на 10%
- Комфорт космонавтов





# Применение ПКМ. Формула-1





# Применение ПКМ - автопром



**BMW i3, 2013**



# Применение ПКМ - автопром

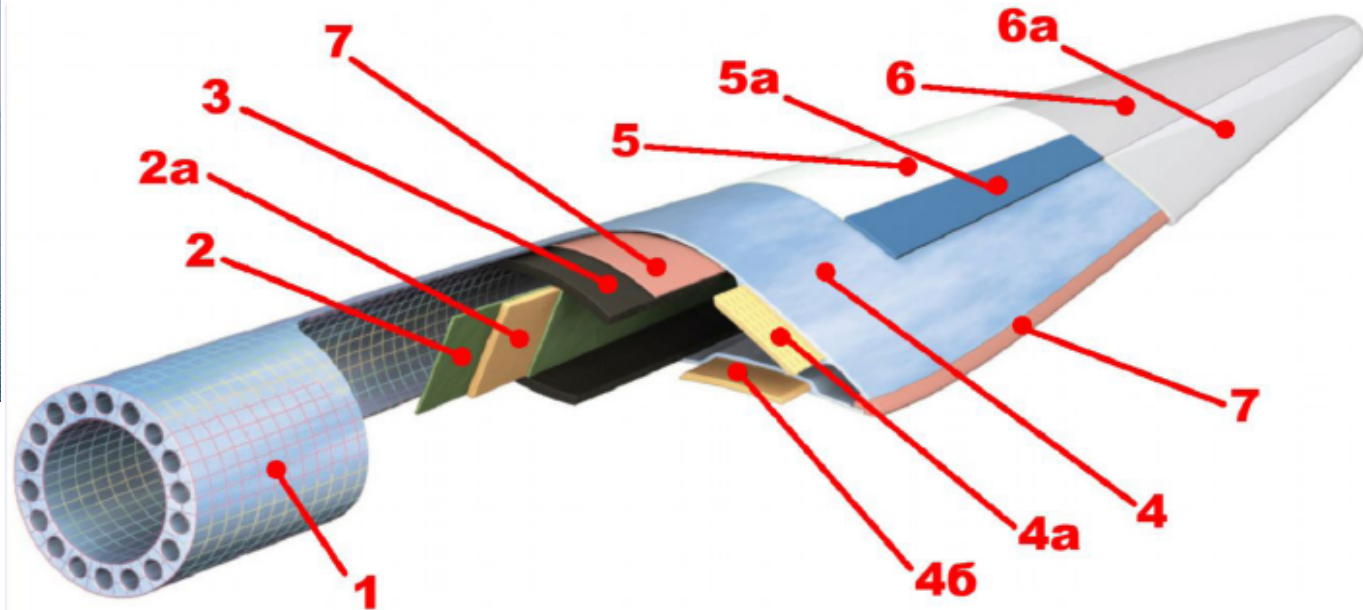


**BMW i8, 2014**





# Применение ПКМ - ветроэнергетика



- 1. Хвостовик (препрег, инфузия)
- 2. Сетка
- 2а. Пенополиуретановые соты
- 3. Лонжерон (стеклоуглепластик)
- 4. Обшивка (препрег, инфузия)
- 4а. Оболочка (инфузия)

- 4б. Оболочка (препрег)
- 5. Грунтовка (гелькоат)
- 5а. Вуаль
- 6. Полиуретановый лак
- 6а. Эпоксидный гелькоат
- 7. Связующая паста (адгезив)

# Применение ПКМ - строительство



<https://www.youtube.com/watch?v=BhGV2ZMF04k>



# Применение ПКМ - спортивный инвентарь





# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТОК



**ИТЕКМА**



**УНИХИМТЕК**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

# Материалы и изделия, разработанные в МГУ



Иркут MC21  
20-30% ПКМ



ИТЕКМА



УНИХИМТЕК  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

## ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ СИСТЕМА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРЫЛА САМОЛЕТА МС-21



Внедрение материала позволило сохранить ключевое преимущество проекта МС-21 – композиционное крыло после запрета на поставку ранее использованных американских материалов. В настоящее время **налажено серийное производство комплекса материалов для крыла.**



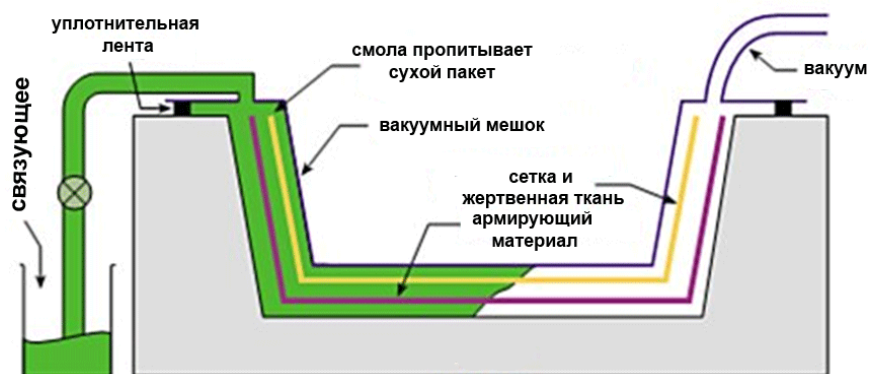
ИТЕКМА



УНИХИМТЕК  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

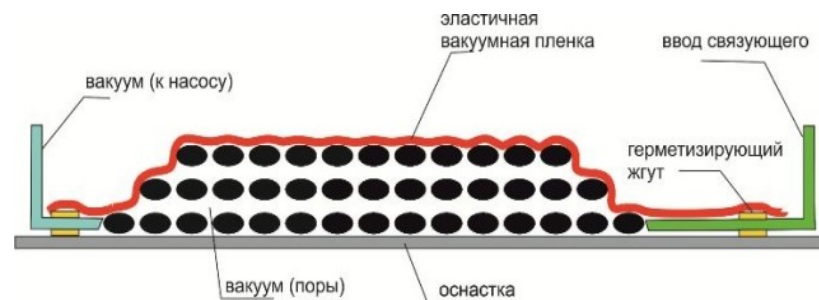


## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

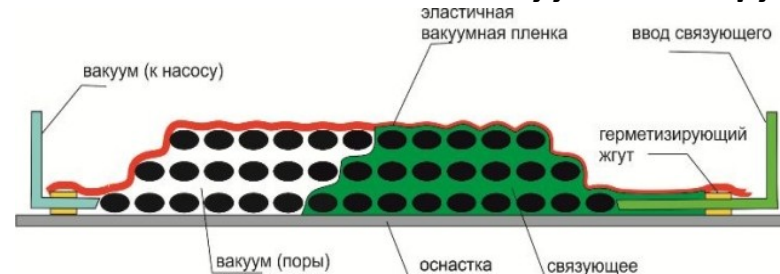
- ❑ Процесс существенно дешевле автоклавного формования, при сравнимых свойствах материала.
- ❑ Не требует дорогостоящего оборудования.
- ❑ Могут быть изготовлены крупногабаритные изделия с высокой степенью интеграции конструкции

## ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ

- ❑ Требуется высокая квалификация персонала.
- ❑ Необходимы специальные основные и вспомогательные материалы



*пакет, подготовленный к вакуумной инфузии*

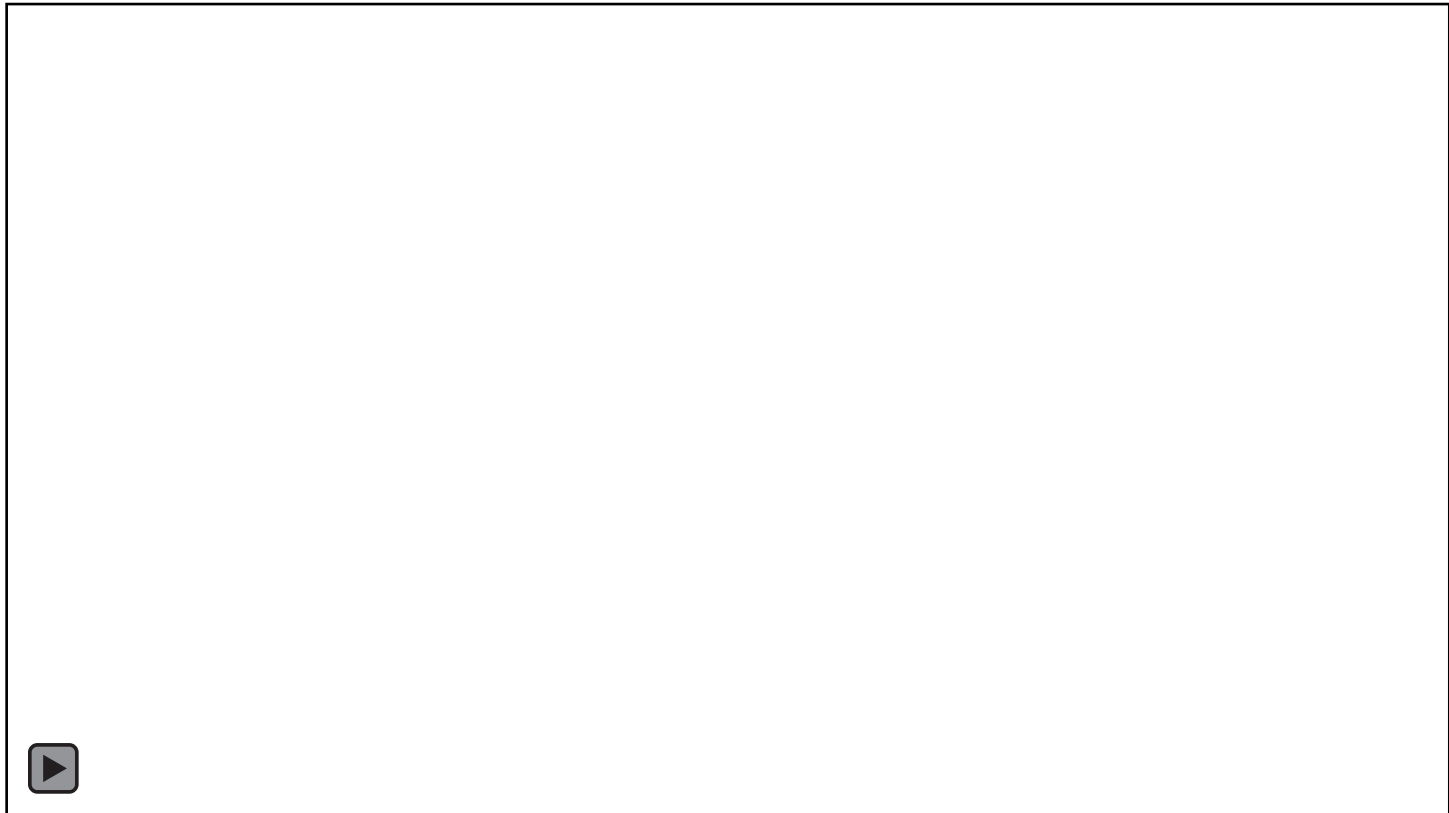


*Заполнение всех пустот во время пропитки*





# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

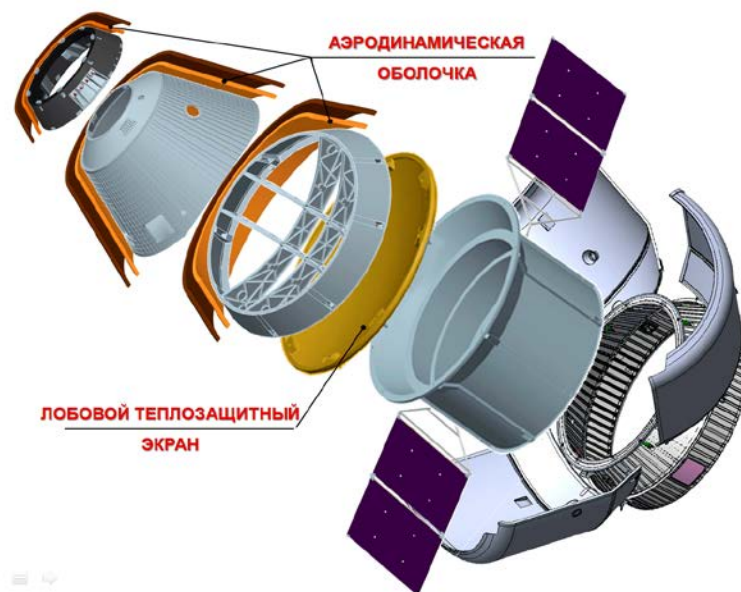
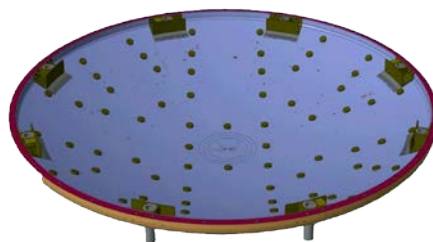
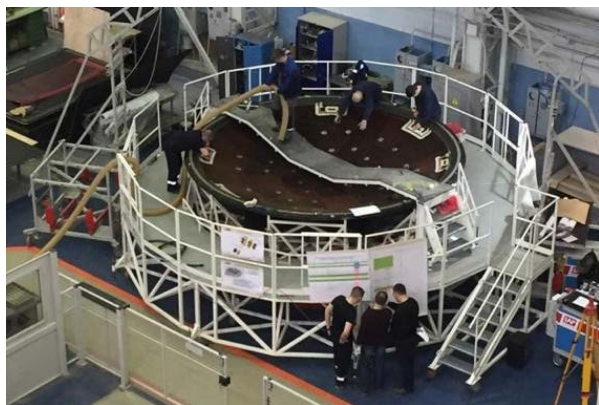


**УНИХИМТЕК**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

## КОМПЛЕКС МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

### ЛОБОВОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН



Используется комплекс высокотемпературных композиционных материалов с температурой эксплуатации до 250 °С





# Материалы и изделия, разработанные в МГУ







Экскурсия со школьниками в лаборатории кафедры ХТиНМ.  
Создание прототипа лобового  
теплозащитного экрана  
Осень 2018 г.







# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

Разработан комплекс материалов для  
элементов механизации крыла

ИЛ-114-300 пассажирский региональный турбовинтовой самолет



ИТЕКМА



УНИХИМТЕК  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

Российский беспилотный летательный аппарат «Орион»  
(разработчик «Кронштатд»)

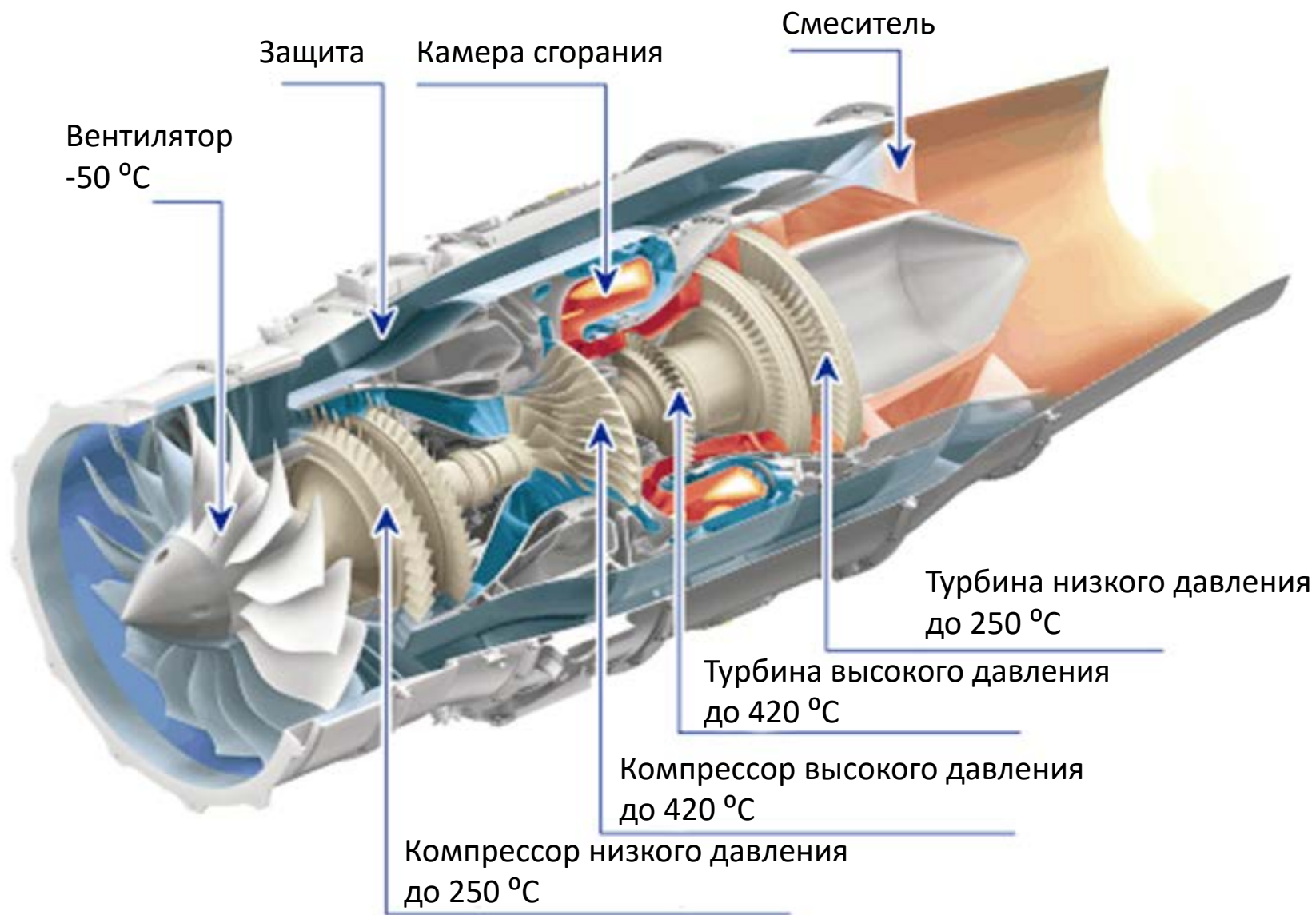


ИТЕКМА



УНИХИМТЕК  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ





# Температурные режимы КОМПОЗИТОВ



# Материалы и изделия, разработанные в МГУ

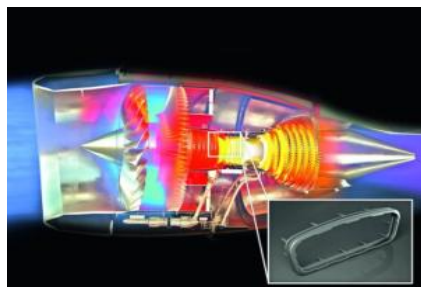
## СВЯЗУЮЩИЕ PN-3M НА ОСНОВЕ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СМОЛ (ПКМ с Т эксплуатации до 350 °С)

### Основные преимущества и характеристики

- Однокомпонентное связующее;
- Высокая температура стеклования 425°С;
- Температура начала разложения 520°С;
- Низкое влагонасыщение;
- Температура размягчения неотвержденного связующего менее 80°С
- Негорючее (кислородный индекс >80)



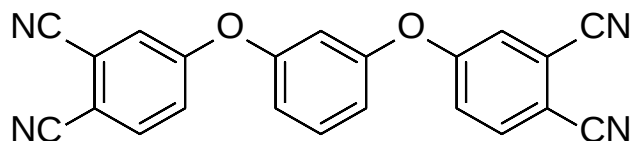
**Создано первое в мире серийное производство в г. Климовск**



# Фталонитрилы



**Жесткий**



$T_{пл} = 185\text{ }^{\circ}\text{C}$

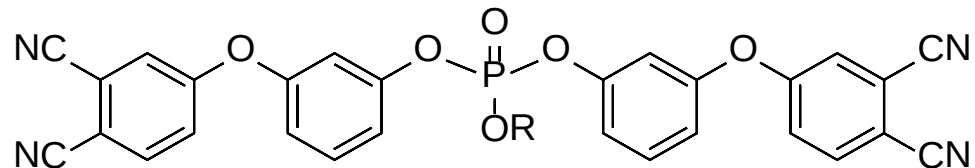
Т. Келлер, 1982 г.

ФГУП «ВИАМ», 2015 г.

Классические мономеры нельзя использовать в промышленных целях

- Высокая температура плавления  $\sim 190\text{-}200\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Температура отверждения  $\sim 200\text{-}220\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Очень маленькое технологическое окно

**Гибкий**

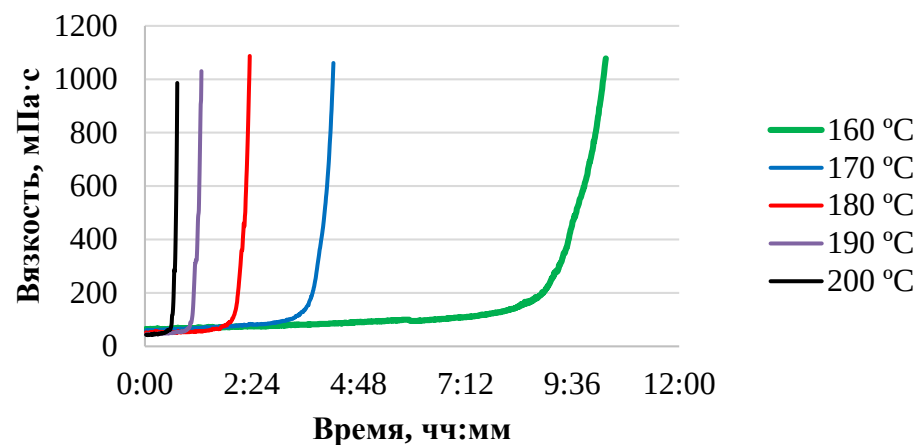


$T_{ст} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$

МГУ, 2015

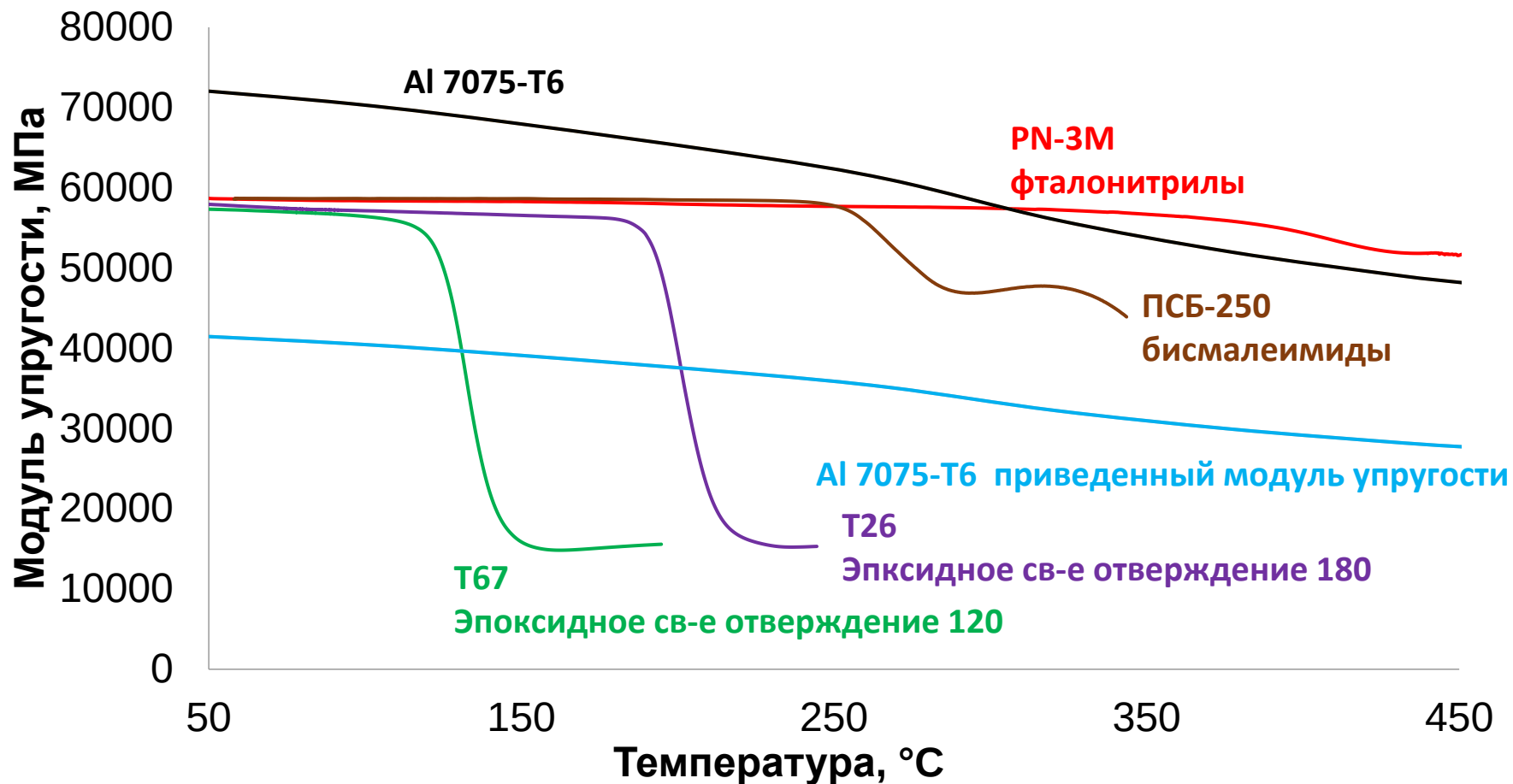
R = OPh

R = Ph





# Температурные механические свойства материалов



# Горючесть ПКМ



# Изделия, изготовленные из материалов, разработанных в МГУ



# Материалы для композитной оснастки



**ВАСО**



**ИНУМИТ**



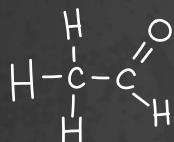
**Благодарю за внимание!**

# Территория московского университета

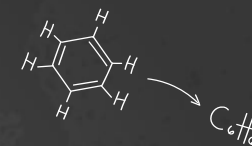




# Кафедра химической технологии и новых материалов



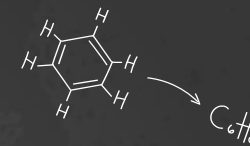
# Кафедра химической технологии и новых материалов





# Кафедра химической технологии и новых материалов





# Кафедра химической технологии и новых материалов



hemtechmsu.ru/o-kafedre/istoriya-kafedry.php



Кафедра химической технологии и новых материалов  
Московский Государственный Университет  
имени М.В. Ломоносова  
Химический факультет



Тел.: +7(495) 939-36-07  
Факс: +7(495) 939-33-16

ГЛАВНАЯ О КАФЕДРЕ ЛАБОРАТОРИИ ОБУЧЕНИЕ НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НОВОСТИ ПРЕСС-ЦЕНТР КОНТАКТЫ

**История кафедры**

Основные направления исследований

Руководство

Сотрудники

**НОВОСТИ КАФЕДРЫ**

29.03.2020 **День открытых дверей в МГУ**

29 марта в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова состоялся первый Виртуальный день

**ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ**



И. А. Двигубский

Кафедра химической технологии Московского университета ведёт историю от Кафедры технологии и наук, относящихся к торговле и фабрикам, которая основалась в рамках нового Устава Императорского Московского университета, подписанного императором Александром I 5 ноября 1804. До 1814 года кафедрой заведовал профессор И. А. Двигубский. Им же был издан в 1808 г. первый в России учебник по технологии под названием «Начальные основания технологии или краткое показание работ на заводах и фабриках производимых».

В 1946 году кафедру химической технологии возглавил академик С. И. Вольфович, который был выдающимся представителем той формации химиков-технологов, которая в своей деятельности опиралась не только на фундаментальную науку, но и на инженерный опыт. С. И. Вольфович уделял большое внимание учебному процессу и производственной практике студентов, считая что преподавание химической технологии должно быть направлено

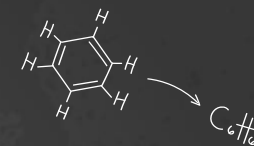


<https://chemtechmsu.ru/>

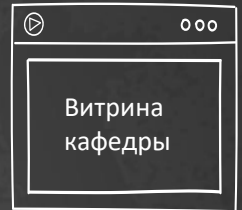
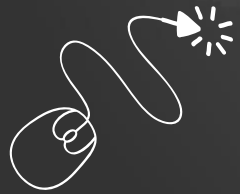




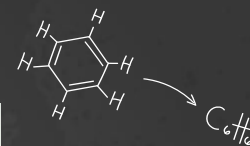
# Кафедра химической технологии и новых материалов







# Кафедра химической технологии и новых материалов



# Кафедра химической технологии и новых материалов



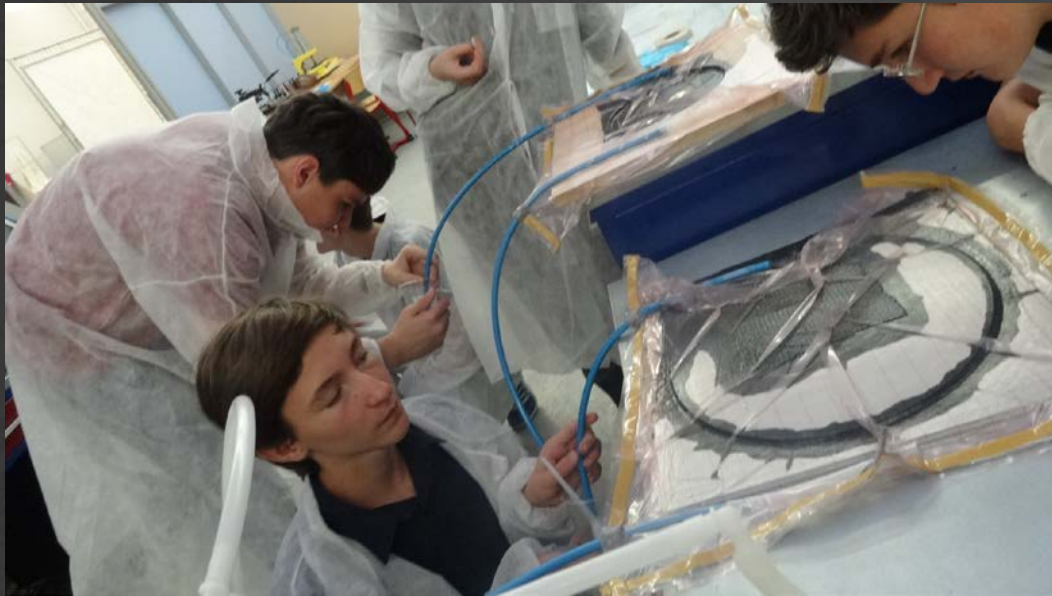


## Кафедра химической технологии и новых материалов





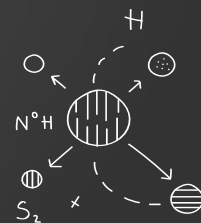






От реакции в колбе...

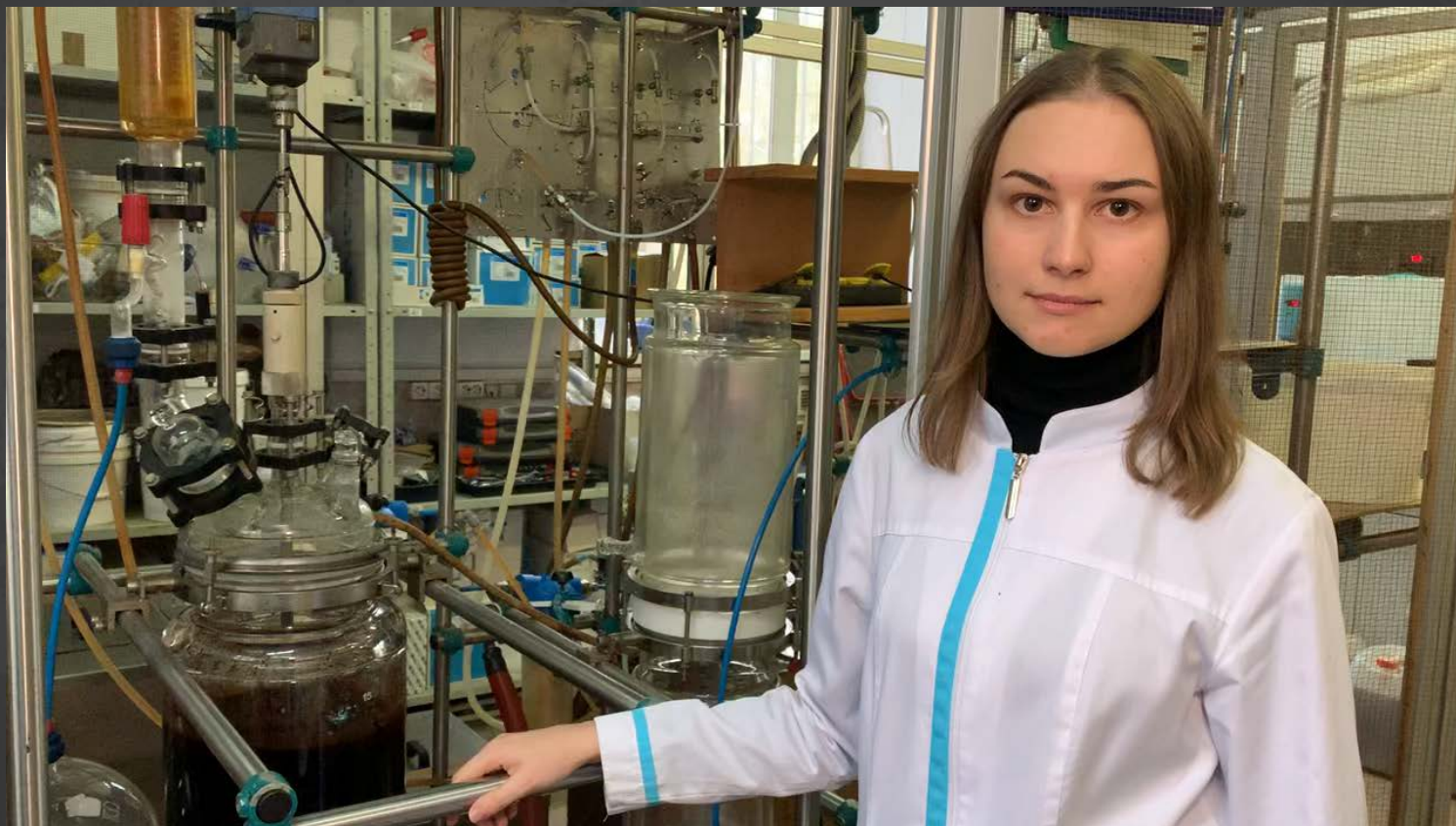
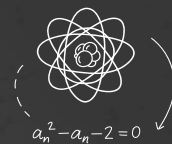
XXXXXXXXXX





... к синтезу в реакторе

XXXXXXXXXX



Аспирант кафедры ХТиНМ Щеколдина Зинаида



Реактор



Нутч-фильтр





## Центр испытаний, сертификации и стандартизации материалов функциональных материалов и технологий (ЦИСИС ФМТ)





# Термический анализ

ИИИИИИИИИИ



Динамический механический анализ



Термогравиметрический анализ

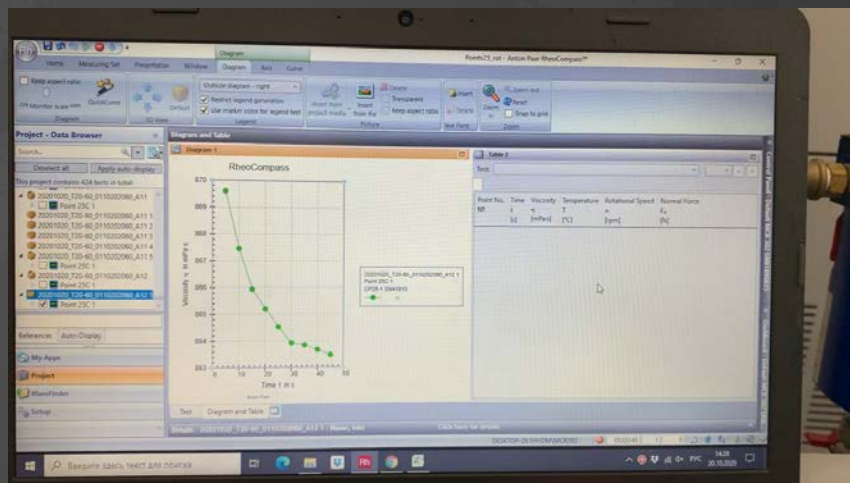


# Реологические свойства

ДМА



Реометр



Определение вязкости  
(запись результатов)





# Хроматографические методы



Высокоэффективная жидкостная хроматография



# Хроматографические методы

ИДЕНТИФИКАЦИЯ



Ионный хроматограф



Газовый хроматограф

# Ускоренные климатические испытания

ИИИИИИИИИИ



Камера искусственной погоды



Камера сернистого газа





Камера соляного тумана

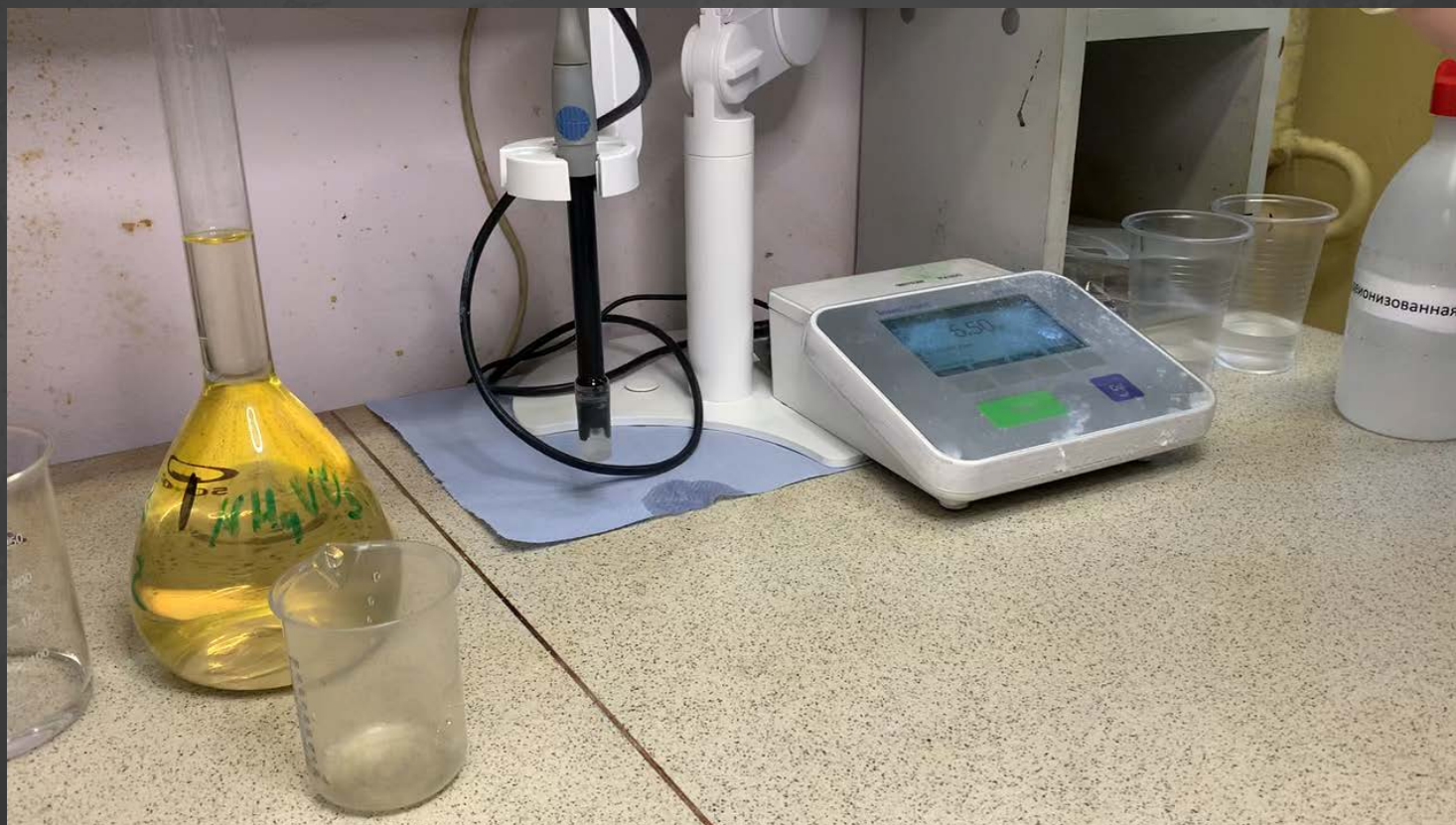


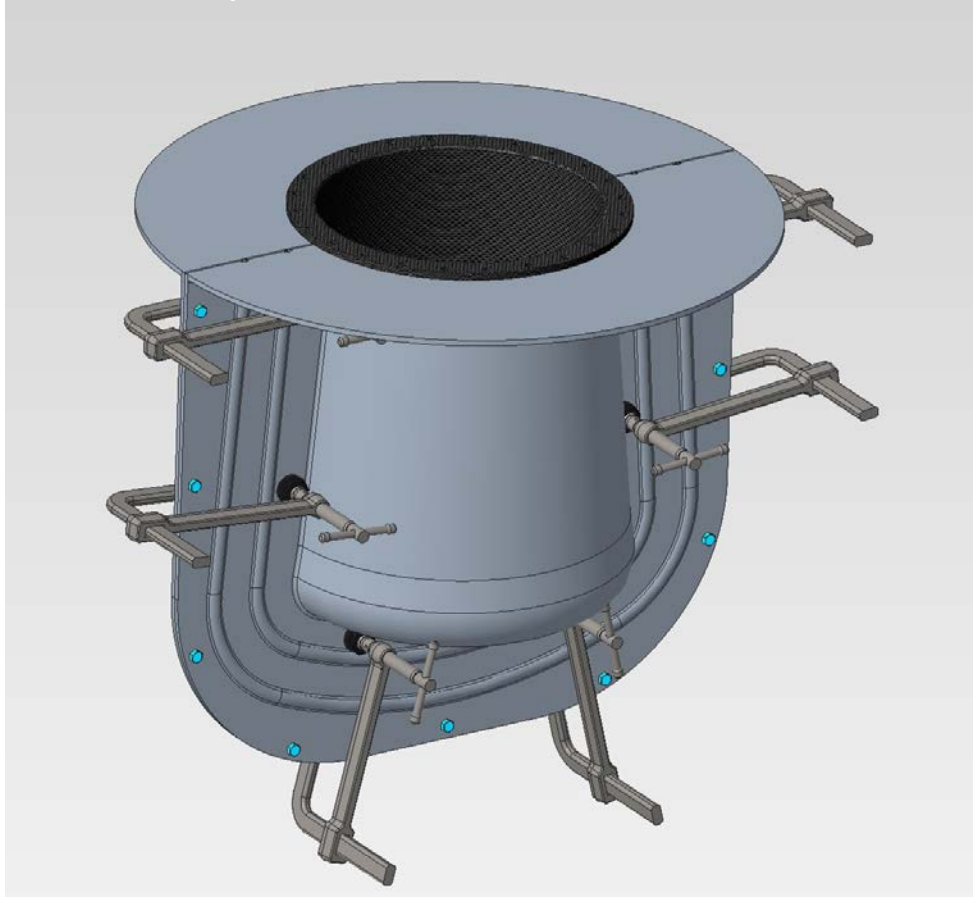
Муфельные печи



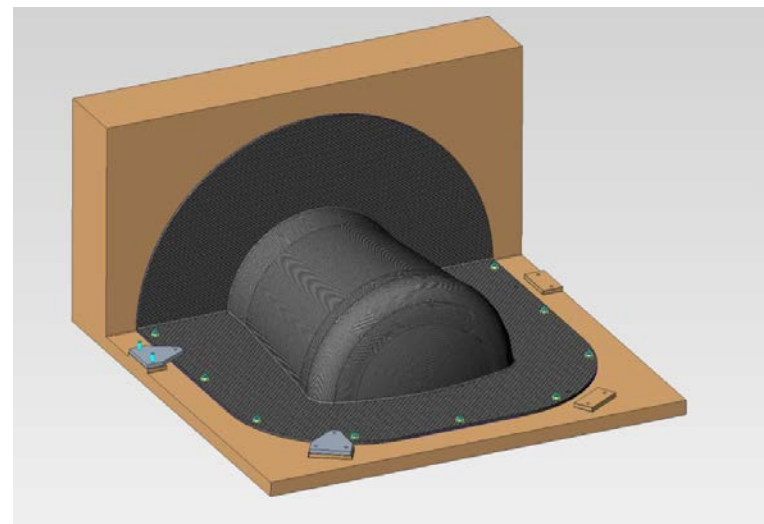
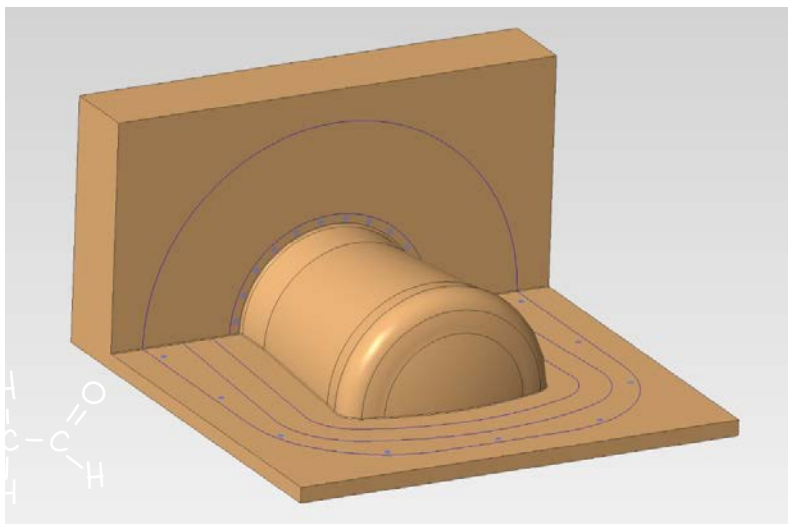
# Определение кислотности среды

XXXXXXXX









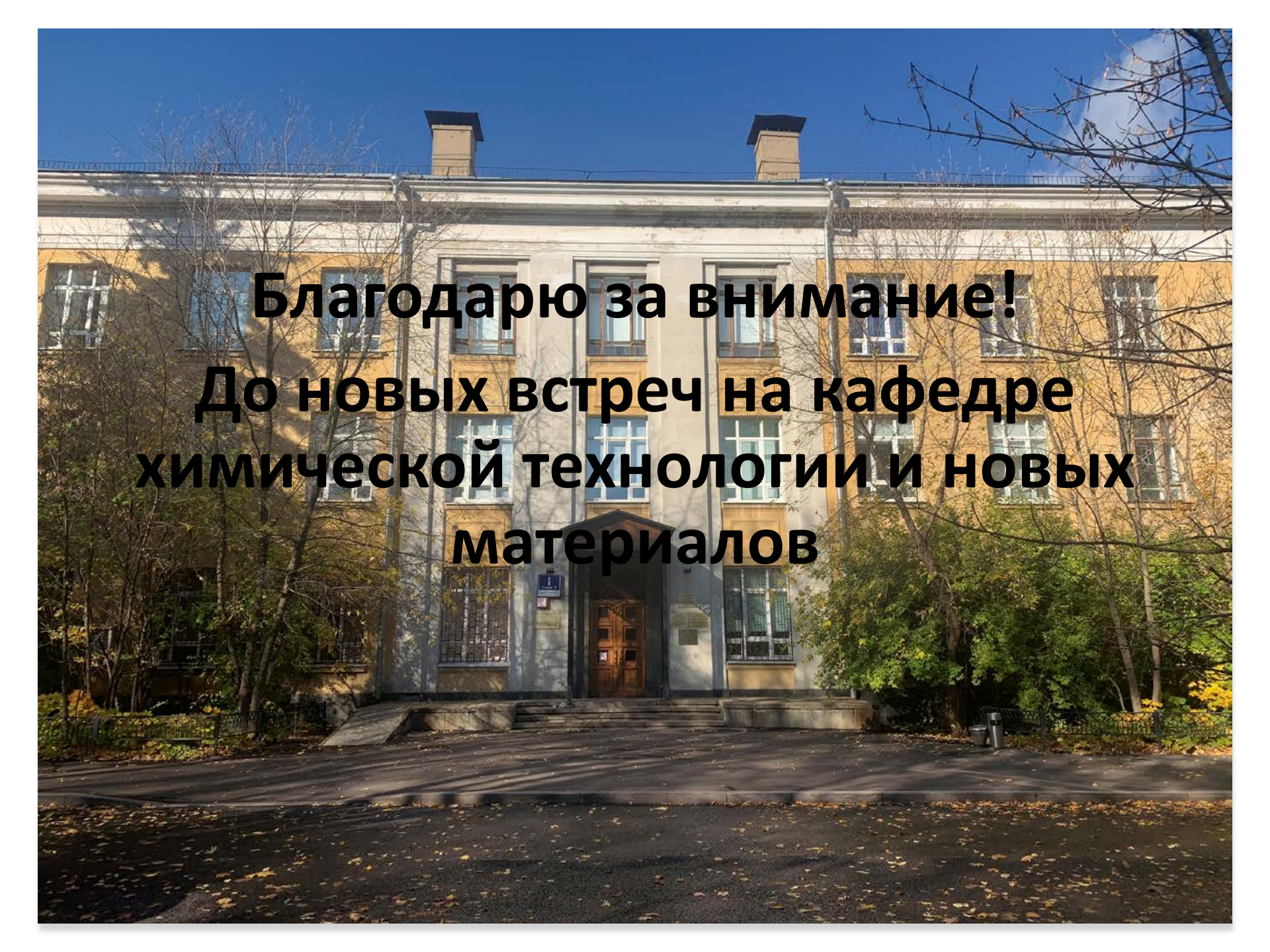












**Благодарю за внимание!**  
**До новых встреч на кафедре**  
**химической технологии и новых**  
**материалов**