

МГУ имени М.В.Ломоносова – ИНУМиТ

Нанотехнологии, углерод и новые композиционные материалы

**Заведующий кафедрой химической технологии и новых материалов химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
генеральный директор ЗАО «Институт новых углеродных материалов и технологий»
проф. Авдеев В.В.**

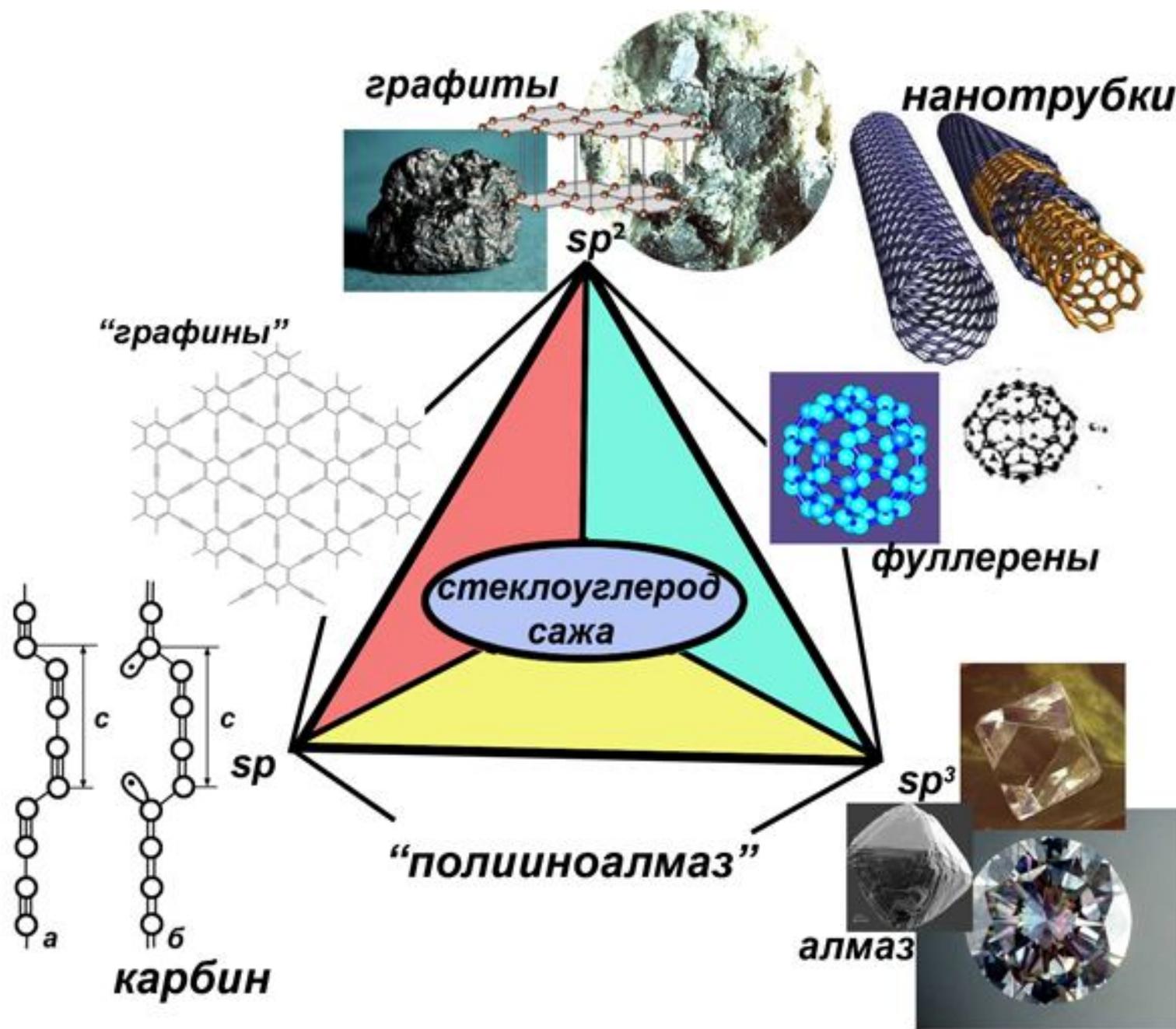
УГЛЕРОД, как ни один элемент, обладает уникальным спектром порой диаметрально противоположных свойств:

- диэлектрик и металл
- полупроводник и полуметалл
- сверхтвердый и сверхмягкий
- теплоизолятор и лучший проводник тепла
- эталон прозрачности и абсолютно черное тело

И еще:

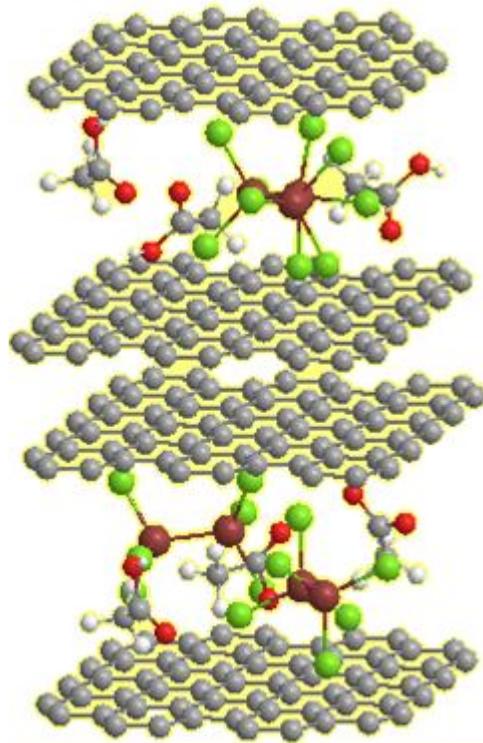
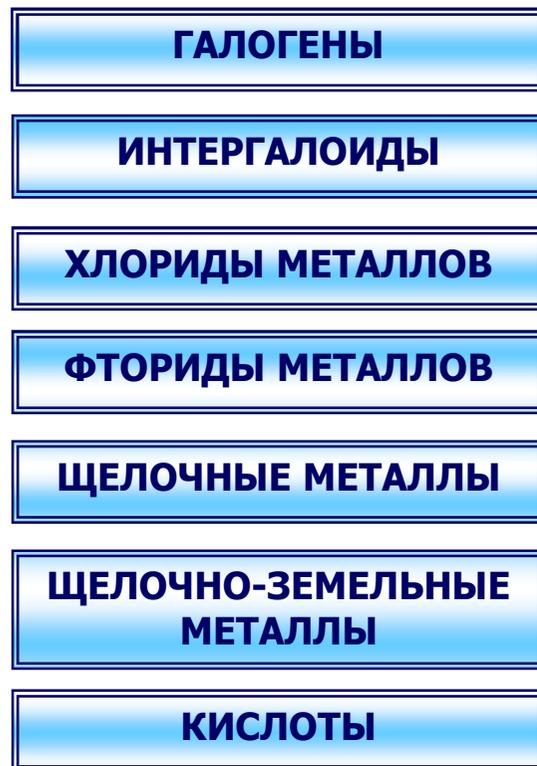
- сверхпрочный
- с уникальной удельной поверхностью
- архитектурно разнообразный
-

УНИКАЛЬНЫЙ НАБОР СВОЙСТВ УГЛЕРОДА

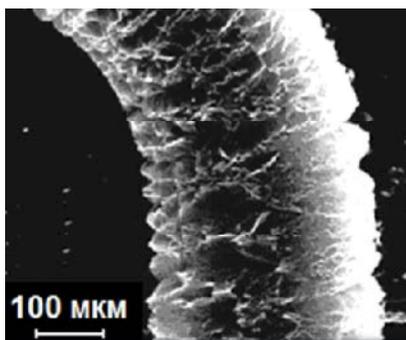
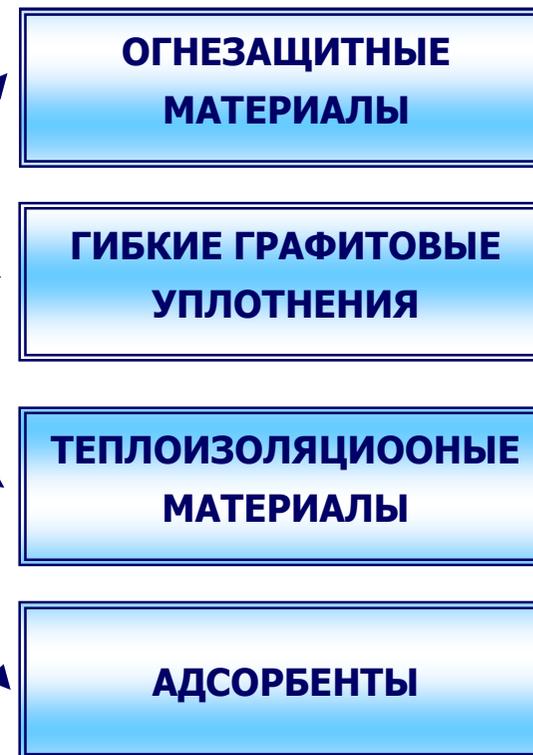


СОЕДИНЕНИЯ ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО ГРАФИТА

ИНТЕРКАЛЯТЫ



МАТЕРИАЛЫ

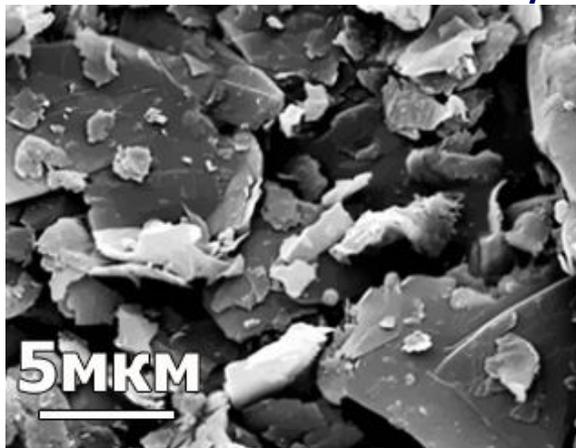


ТЕРМОРАСШИРЕННЫЙ ГРАФИТ

- НАСЫПНАЯ ПЛОТНОСТЬ (900°C) 0.8 г/л
- НАСЫПНАЯ ПЛОТНОСТЬ (250°C) 1.9 г/л
- МИНИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВСПЕНИВАНИЯ 200°C
- УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ 50 - 200 м²/г

ГРАФИТ: МАТЕРИАЛЫ

Природный чешуйчатый графит
объемная плотность 800 кг/м^3



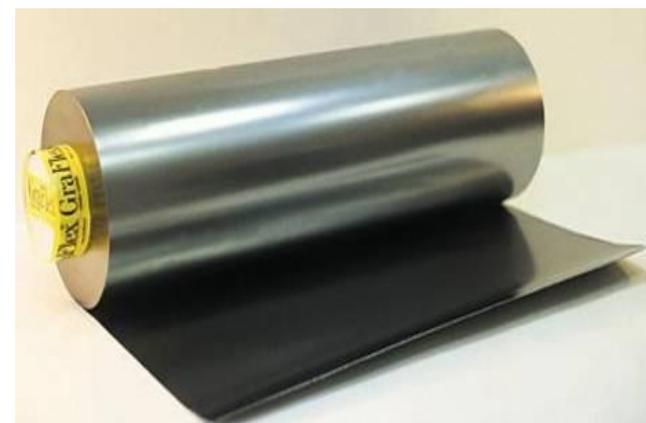
Пенографит
плотность $1-5 \text{ кг/м}^3$



- Слоистая структура
- Анизотропия свойств
- Амфотерность свойств
- Разнообразие свойств



Гибкая графитовая фольга
плотность $1-5 \text{ кг/м}^3$



ПЕНОВЕРМИКУЛИТ



**Природный вермикулит
плотность 780-820 кг/м³**

**Термически расширенный
вермикулит
плотность 75-90 кг/м³**

**Интрекалированный
термически расширенный
вермикулит
плотность 18-22 кг/м³**

ОПЫТ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ И ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НПО «УНИХИМТЕК»

Разработано **69 новых технологий**, защищенных более чем **100 патентами**. Создано **48 опытных образцов оборудования**, а также **промышленные линии** на их основе.



В основе конкурентоспособности – превосходство в технических показателях продукции





НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «УНИХИМТЕК»

ОТ ЛАБОРАТОРИИ МГУ имени М.В. Ломоносова
до НПО «УНИХИМТЕК»



**ЧИСЛЕННОСТЬ СОТРУДНИКОВ – 610 чел, в т.ч.
докторов наук – 11, кандидатов наук – 19**

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПЛОЩАДИ – 42 000 м²

БОЛЕЕ 25 000 продуктов

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ:
130 патентов, авторских свидетельств и
свидетельств на товарный знак**

Система менеджмента качества

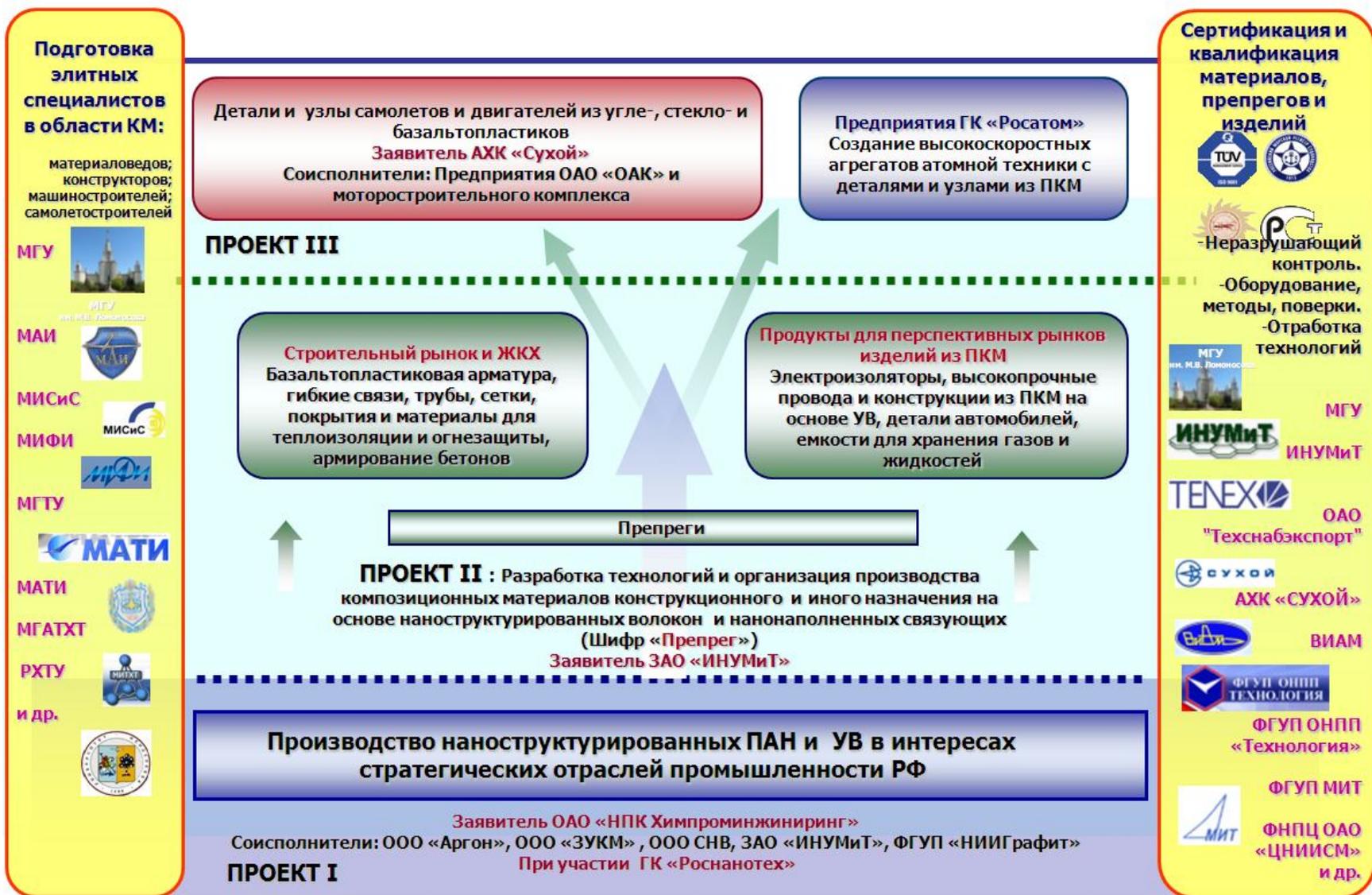
**Соответствует требованиям
ГОСТ Р ИСО 9001:2001 (ИСО
9001:2000)**



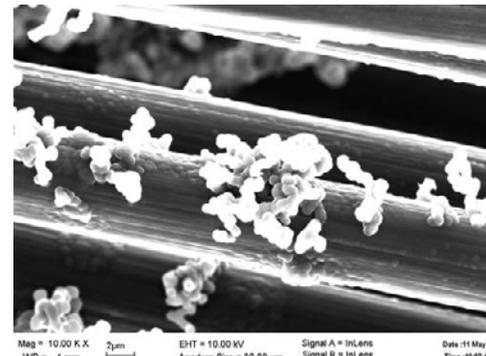
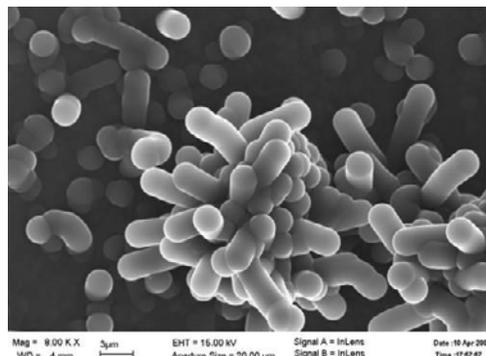
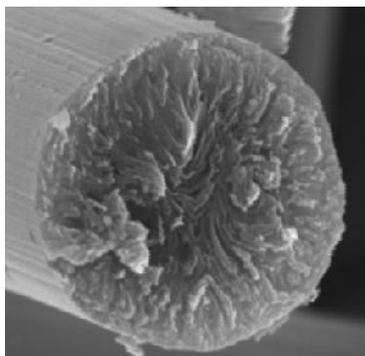
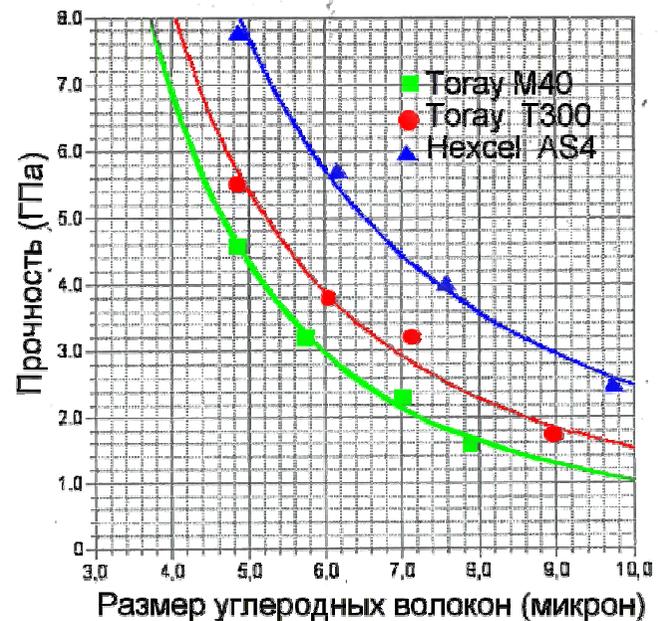
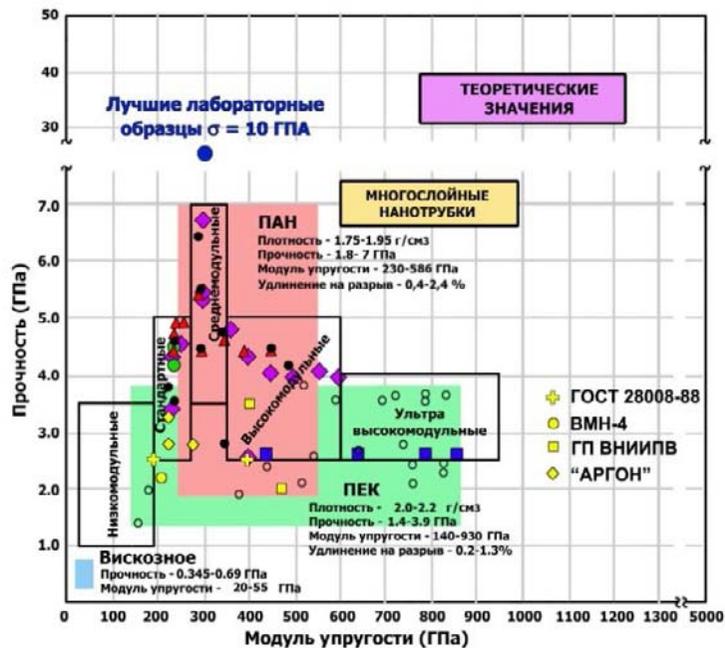
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПЛОЩАДКА НПО «УНИХИМТЕК» с высоты птичьего полета (г. Климовск)



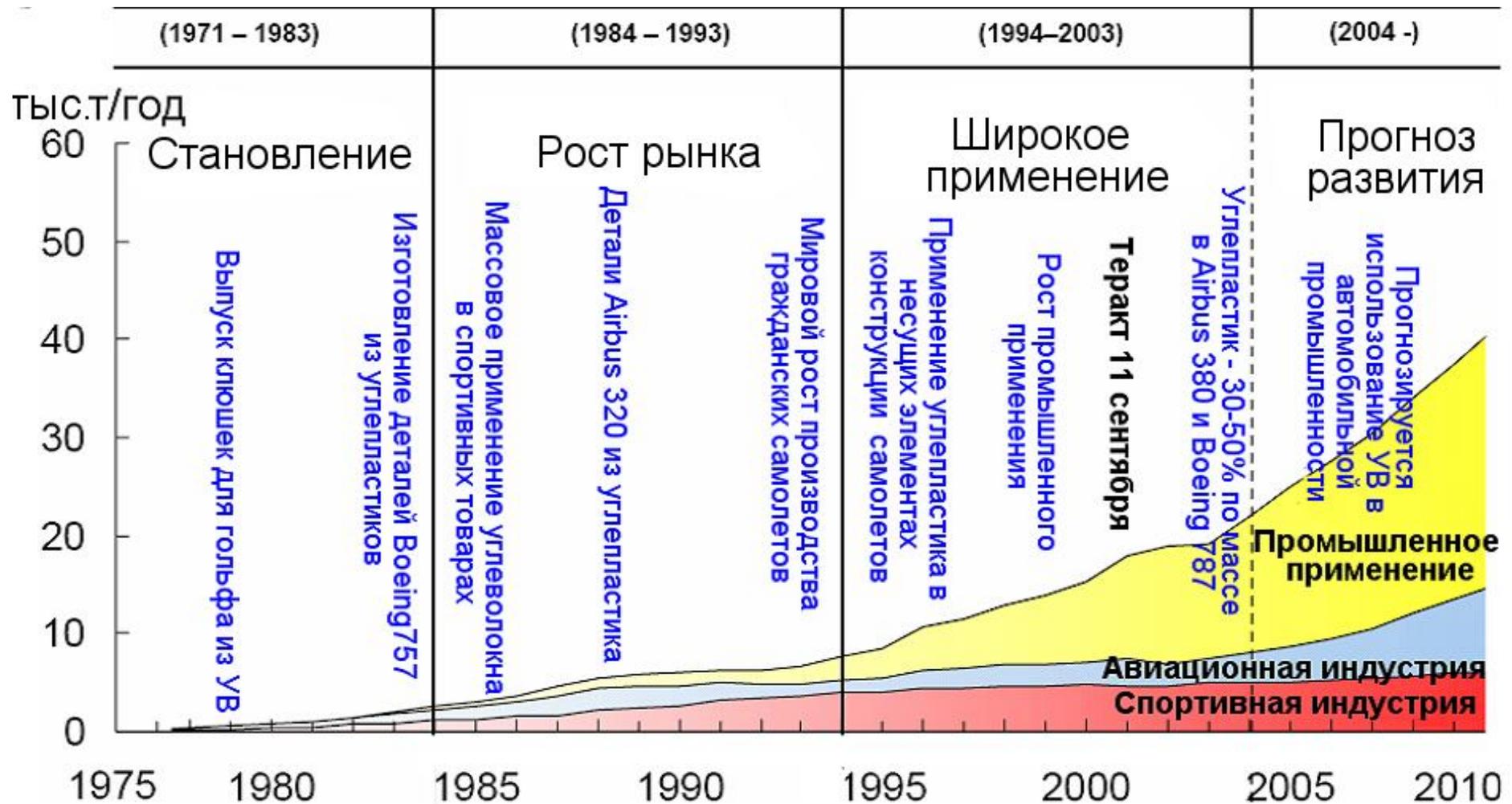
ПОДДЕРЖАННЫЕ И ЗАЯВЛЕННЫЕ ПРОЕКТЫ



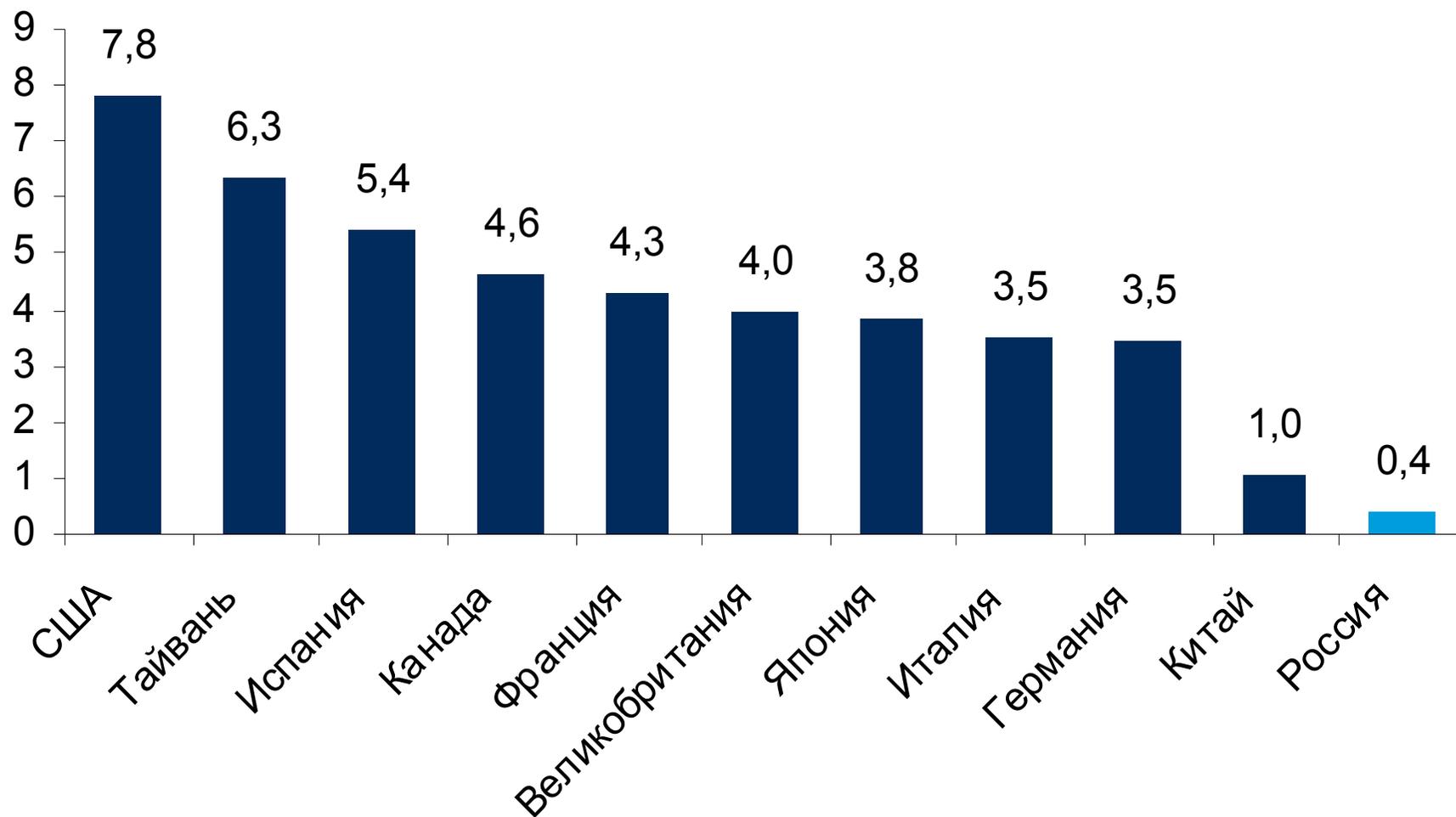
СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН



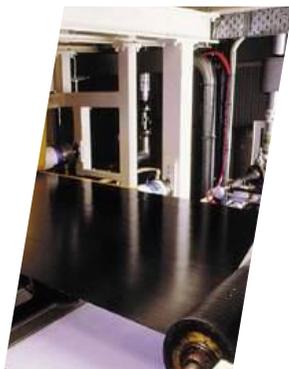
МИРОВОЙ РЫНОК УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ



ПОТРЕБЛЕНИЕ ПКМ НА ДУШУ НАСЕЛЕНИЯ, КГ, 2007



СОСТАВ ПРЕПРЕГОВ



Препреги – волокнистые материалы, заранее пропитанные точно определенным количеством равномерно распределенного связующего и переработанные таким образом, чтобы максимально реализовать физико-механические свойства армирующего материала и обеспечить воспроизводимость свойств отверженного композита.



ПРЕПРЕГ

**АРМИРУЮЩИЙ
МАТЕРИАЛ**

СВЯЗУЮЩЕЕ

СТЕКЛОВОЛОНА
УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА
БОРНЫЕ ВОЛОКНА
АРАМИДНЫЕ ВОЛОКНА
БАЗАЛЬТОВЫЕ ВОЛОКНА
и ДР.

ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ
СМОЛЫ

ТЕРМОПЛАСТЫ

ЭПОКСИДНЫЕ
ПОЛИЭФИРНЫЕ
ФЕНОЛЬНЫЕ
ПОЛИИМИДНЫЕ и ДР.

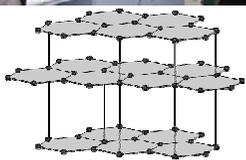
ПОЛИКАРБОНАТ
ПОЛИАМИДЫ
ПОЛИСТИРОЛ и ДР.



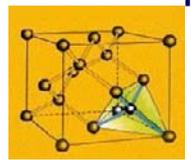
ИНСТИТУТ НОВЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

приборно-методическая база испытаний и сертификации на уровне требований международных стандартов

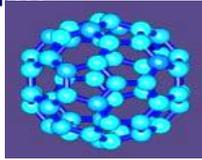
лаборатория химии
новых углеродных материалов
химического факультета МГУ



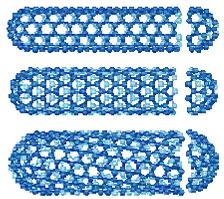
графит



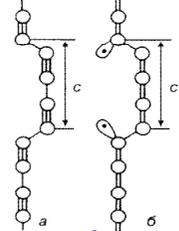
алмаз



фуллерен



углеродные нанотрубки



карбин

ОРГАНИЗАТОРЫ:



МГУ им.М.В. Ломоносова



**НПО
УНИХИМТЕК**

Фонд содействия развитию
малых форм предприятий в научно-технической сфере



РОССИЙСКИЙ ФОНД
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ



Новая уплотнительная
продукция



Новые огнезащитные
материалы

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**ПРИКЛАДНОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И
ПРОИЗВОДСТВО НОВЫХ
УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Согласовано:

Первый вице-президент
ОАО «Объединенная авиастроительная
корпорация»
Погосян М.А.

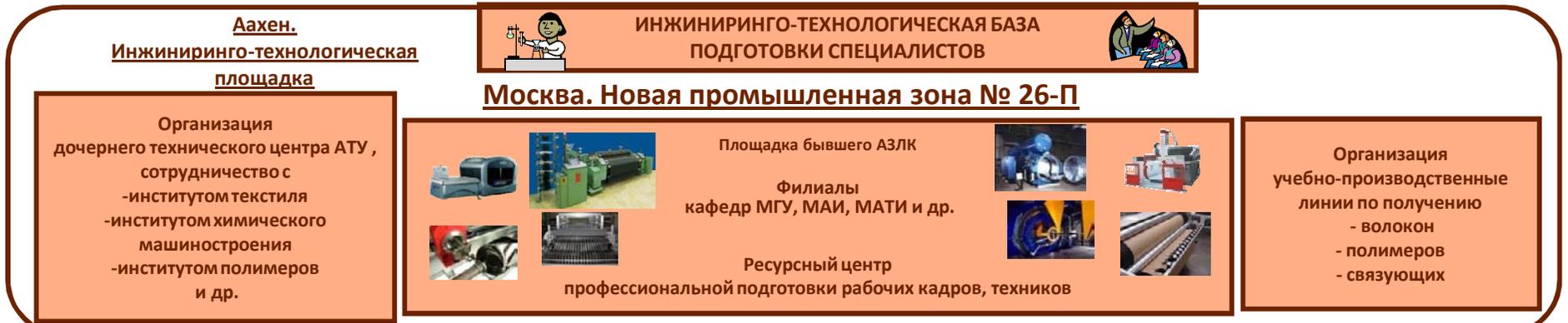
Ректор МГУ имени М.В. Ломоносова,
Президент Российского Союза ректоров,
академик
Садовничий В.А.

Министр правительства Москвы,
руководитель Департамента науки и
промышленной политики
Пантелеев Е.А.

Генеральный директор
Государственной корпорации
«Российская корпорация нанотехнологий»
Чубайс А.Б.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ КАДРОВ



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР (проект)

УЧАСТНИКИ ПРОЕКТА



О НЕОБХОДИМЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЯХ

Высокотемпературные технологии получения углерод-углеродных композитов, карбидов, оксидов

Технологии получения препрегов

Нанопорошки, в т.ч. для модификации полимерных композиционных материалов

Чистые вещества и чистые среды

Основные технологии получения композиционных материалов

Технологии получения низкоплотных композиционных материалов

Методы контроля, в т.ч. не разрушающие

Технологии формования изделий из полимерных композиционных материалов

Покрyтия и пленки

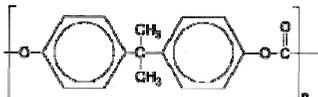
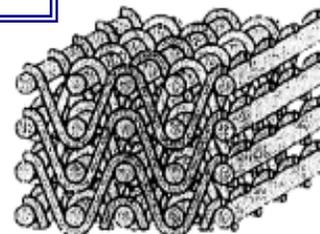
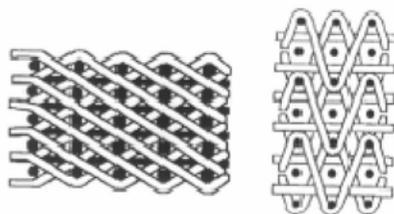
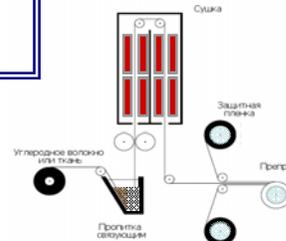
Высокоточная обработка деталей и крупных изделий из КМ

Моделирование и расчеты материалов и конструкций

Текстильные технологии

Технологии получения высокопрочных волокон

Технологии получения полимеров и связующих



ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

НАПЫЛЕНИЕ



ПРЕССОВАНИЕ



РУЧНАЯ ВЫКЛАДКА



**ПРОПИТКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ
В ФОРМЕ (RTM)**



АВТОКЛАВНОЕ ФОРМОВАНИЕ



ВАКУУМНОЕ ТЕХНОЛОГИИ



НАМОТКА

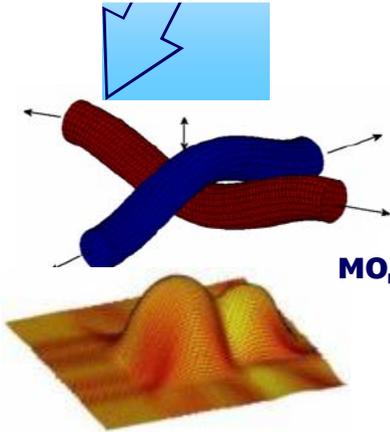


ПУЛТРУЗИЯ



МОДЕЛИРОВАНИЕ

исследование свойств
композитных материалов
на наноуровне



моделирование технологий
производства КМ

используются программные
продукты:

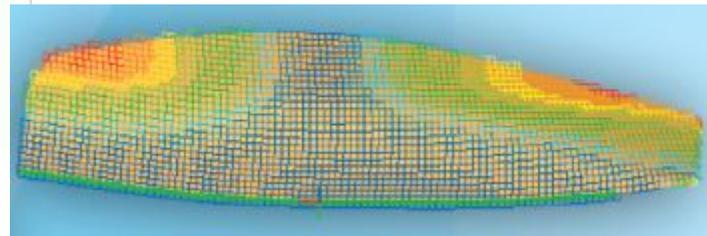
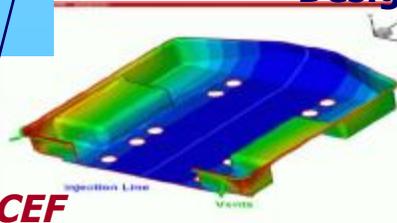
*Abalone, AMBER, CHARMM,
Desmond, DL_POLY,
ESPreSo, GROMOS, GULP,
Hippo, LAMMPS, Mdyna SAMCEF
for Composites Model, и т.д.*

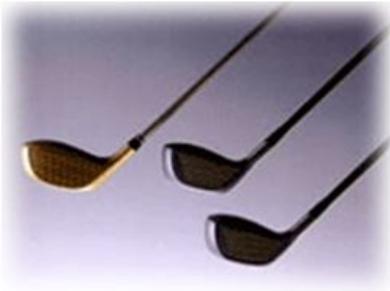
моделирование
и проектирование изделий
из композитных материалов



используются программные продукты:

*Boing Patran, Marc,
Dasso MD Nastran и др,
AIRBUS_ CATIA Composite Design 3 (A350),
Наиболее «продвинутой» продукт CATIA Composite
Design 3 .*





**спортивное
оборудование**

**автомобильная
промышленность**

применение углеродных волокон

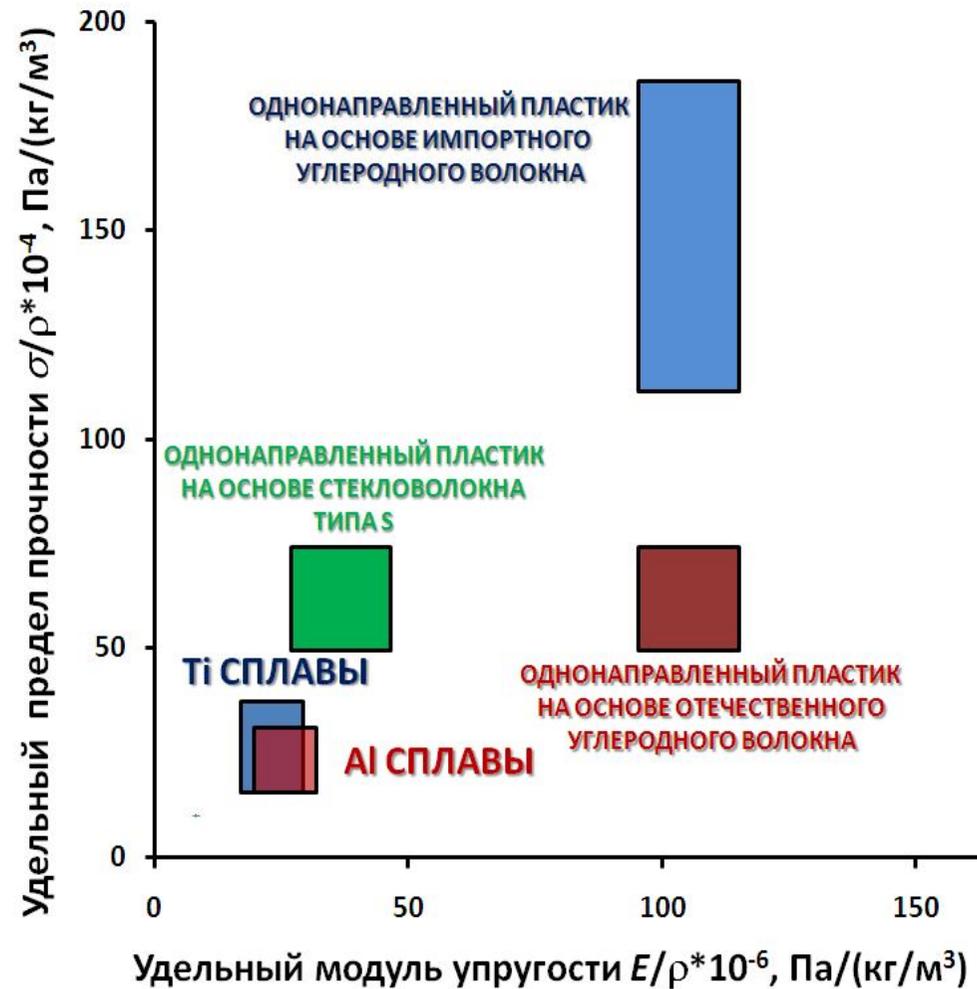


промышленность

**авиакосмическая
промышленность**

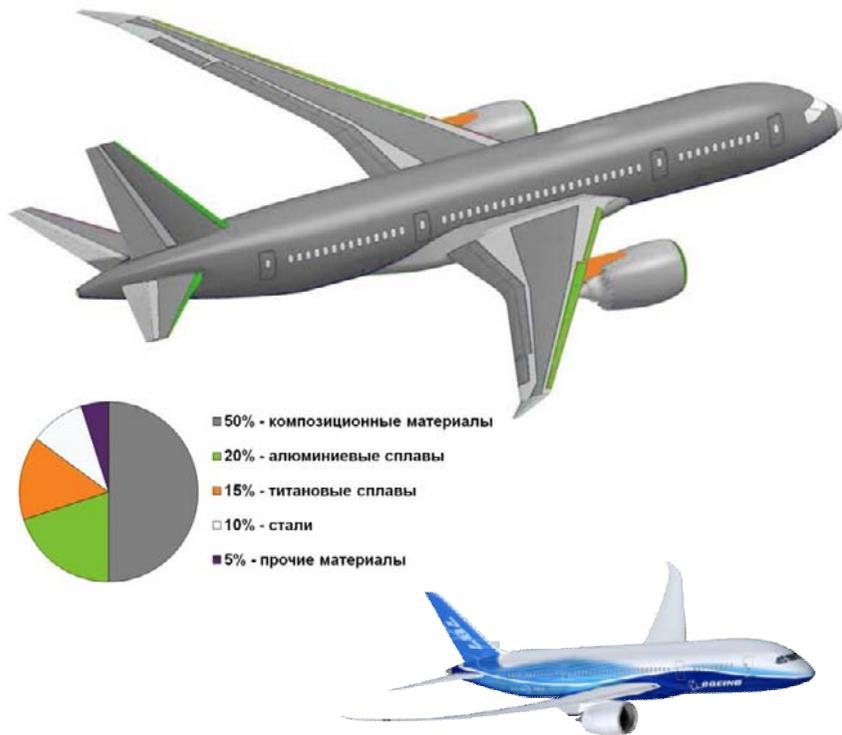


Сравнение удельной прочности (σ/ρ) и модуля упругости (E/ρ) для наиболее распространенных конструкционных материалов.

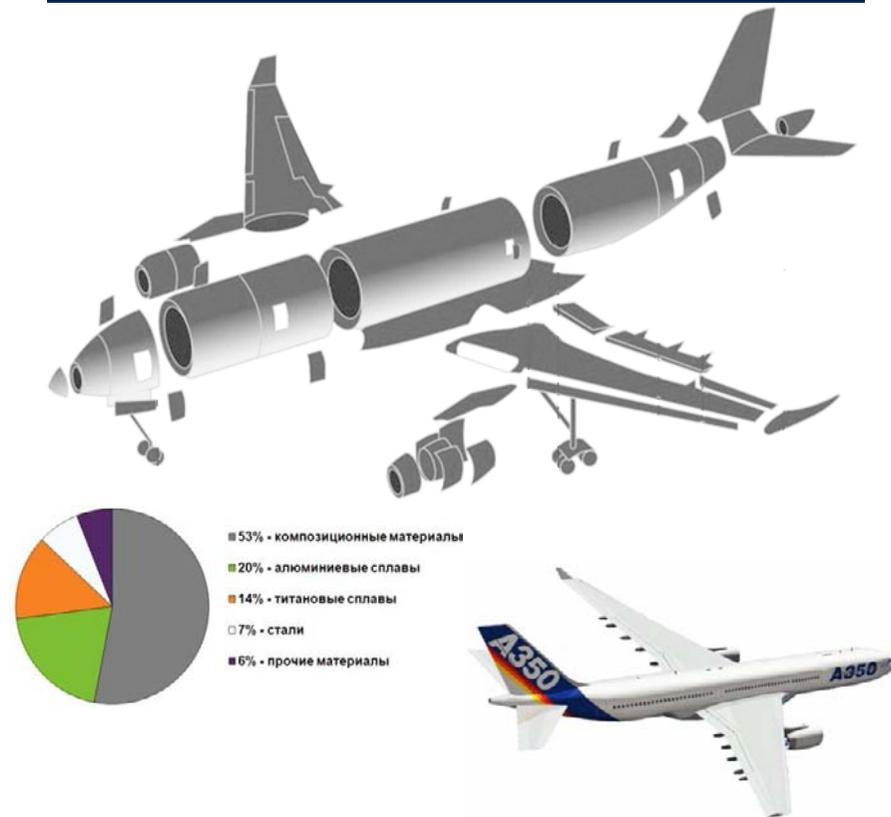


МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПКМ В АВИАСТРОЕНИИ

Проект БОИНГ 787 DREAMLINER



Проект АЭРОБУС А350 ХВВ



Ключевые факты

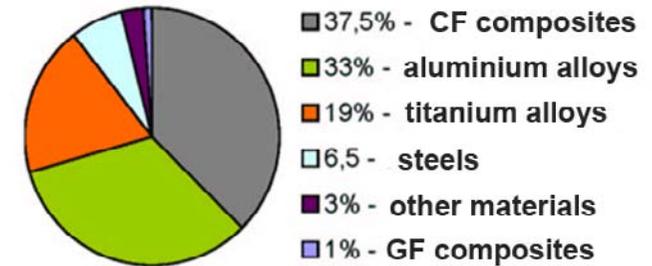
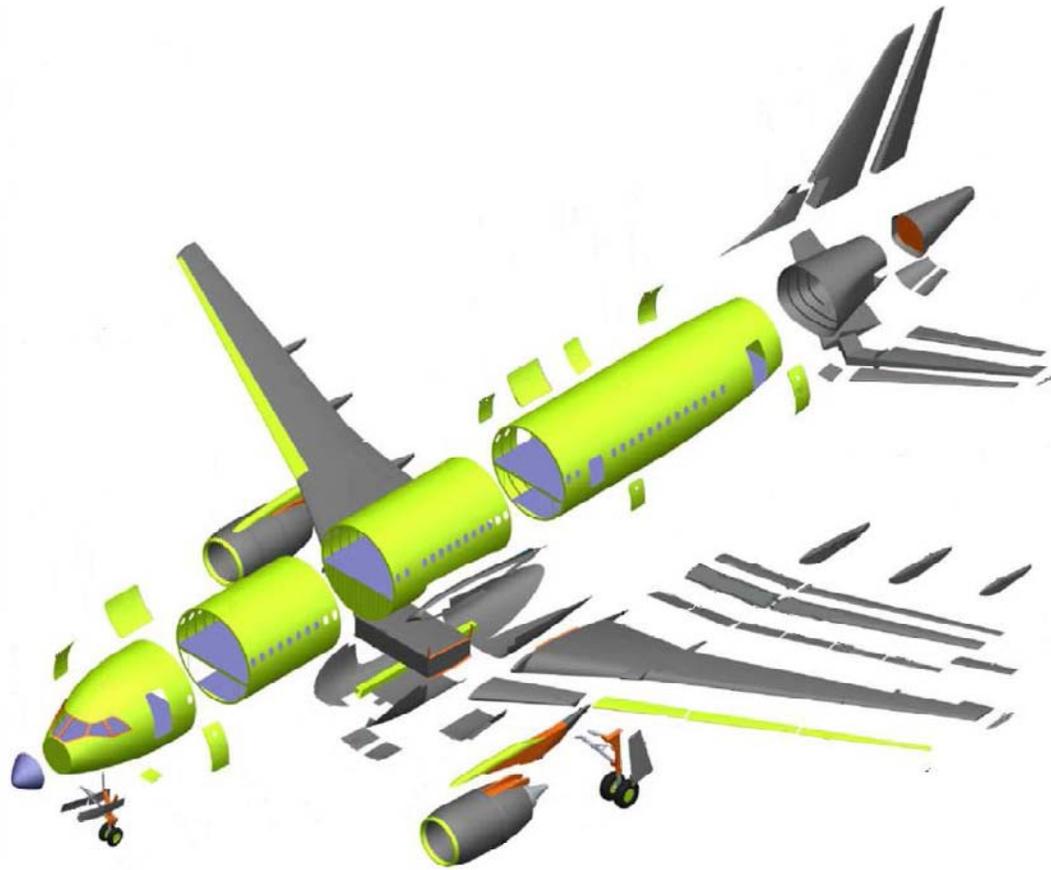
Доля ПКМ (по массе):

- Аэробус А380 - 22%
- Боинг 787 - до 60%
- Военные - более 40%

Результаты использования ПКМ:

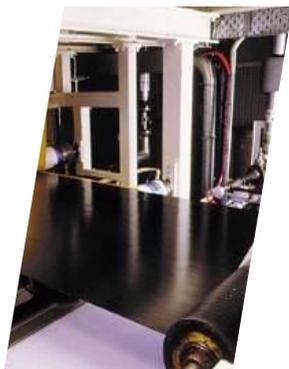
- Снижение веса на 15-30%
- Уменьшение расхода топлива
- Улучшение экологических показателей

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПКМ В ПРОЕКТАХ SSJ 1XX и IRCUT MS 21



Необходим широкий набор материалов, оптимизированных как по физико-механическим характеристикам, так и по технико-экономическим показателям, температуре эксплуатации и методу формования конечных изделий.

СОСТАВ ПРЕПРЕГОВ



Препреги – волокнистые материалы, заранее пропитанные точно определенным количеством равномерно распределенного связующего и переработанные таким образом, чтобы максимально реализовать физико-механические свойства армирующего материала и обеспечить воспроизводимость свойств отверженного композита.



ПРЕПРЕГ



АРМИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ

СВЯЗУЮЩЕЕ

СТЕКЛОВОЛКНА
УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА
БОРНЫЕ ВОЛОКНА
АРАМИДНЫЕ ВОЛОКНА
БАЗАЛЬТОВЫЕ ВОЛОКНА
и ДР.

ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ
СМОЛЫ

ЭПОКСИДНЫЕ
ПОЛИЭФИРНЫЕ
ФЕНОЛЬНЫЕ
ПОЛИИМИДНЫЕ и ДР.

ТЕРМОПЛАСТЫ

ПОЛИКАРБОНАТ
ПОЛИАМИДЫ
ПОЛИСТИРОЛ и ДР.



КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ТКАНЕЙ

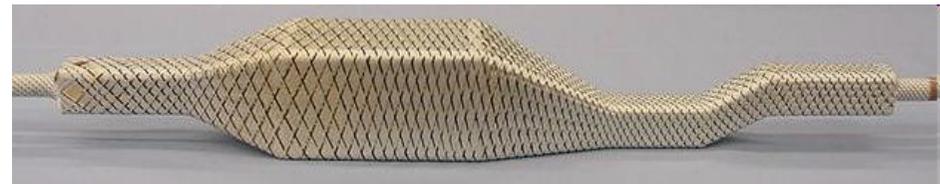
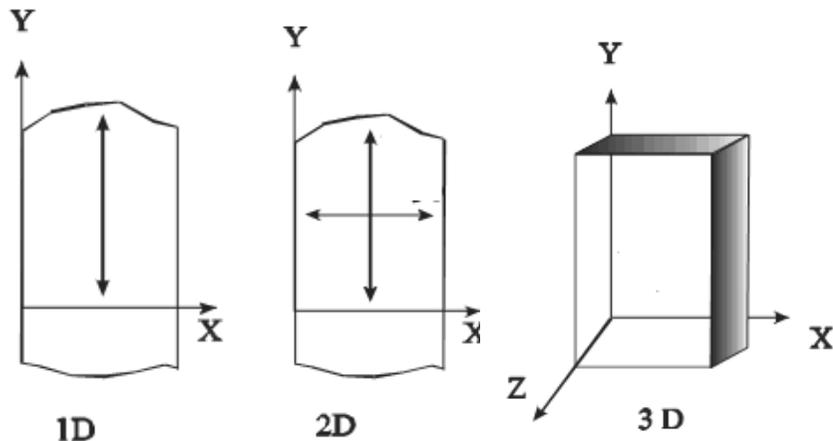
D – направления армирования высокоориентированных упрочняющих волокон при изготовлении текстильных полотен для композитов
Число, стоящее перед **D** определяет количество осей, в плоскостях которых проходят упрочняющие волокна.

1D – упрочняющие волокна проходят в одной плоскости и в одном направлении

2D – армирование осуществляется в одной плоскости, но в разных направлениях

3D – упрочняющие волокна располагаются в трехмерном пространстве.

2,5 D – частный случай **3D**. Волокна проходят в плоскости $X Y$, но часть волокон выходит из плоскости $X Y$ (например контурные ткани – ткани, в которых геометрическая форма совпадает с формой армируемых деталей)



Пример создания контурной ткани

ЖГУТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология плетения жгутов

РОВИНГ



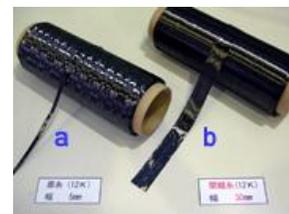
ПЛОЩЕНИЕ
ЖГУТА



АПРЕТИРО-
ВАНИЕ



ОДНОНАПРАВЛЕННЫЕ
ЛЕНТЫ И ЛИСТЫ



ЛИНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ЛЕНТ



ЛИНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ЛИСТОВ



ОДНОНАПРАВЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (UD) 1D

1D ТКАНИ БЕЗ ПЕРЕГИБА УТОЧНОЙ НИТЬЮ



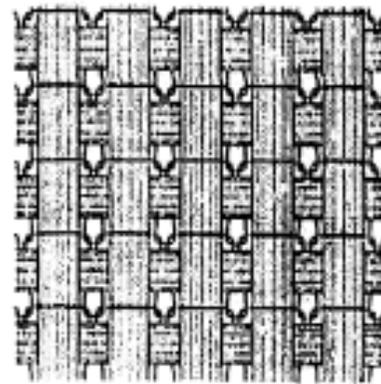
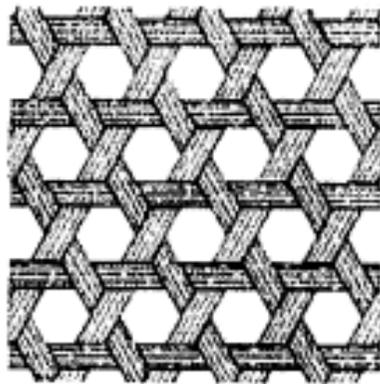
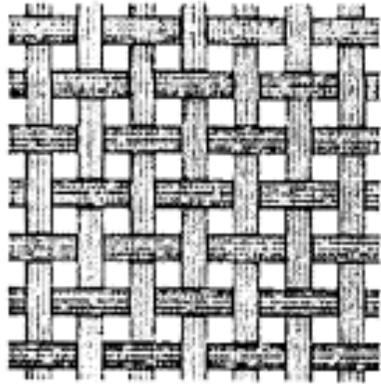
1D ТКАНИ С ПЕРЕГИБОМ УТОЧНОЙ НИТЬЮ



1D ТКАНИ С УТКОМ ИЗ ТЕРМОПЛАСТА



ПЛОСКИЕ ДВУМЕРНЫЕ ТКАНИ

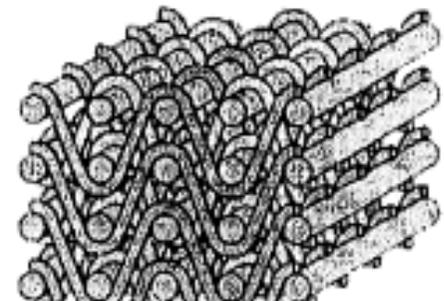
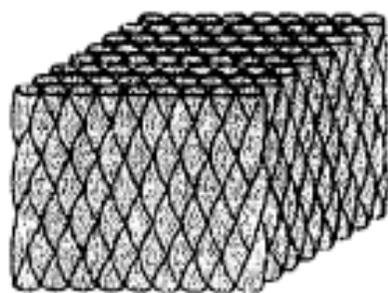
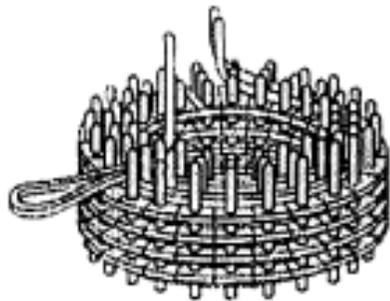


Двухнаправленные
ткани

Трехнаправленные
ткани

Вязанные ткани

ТРЕХМЕРНЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ 3D



Оплетка форм

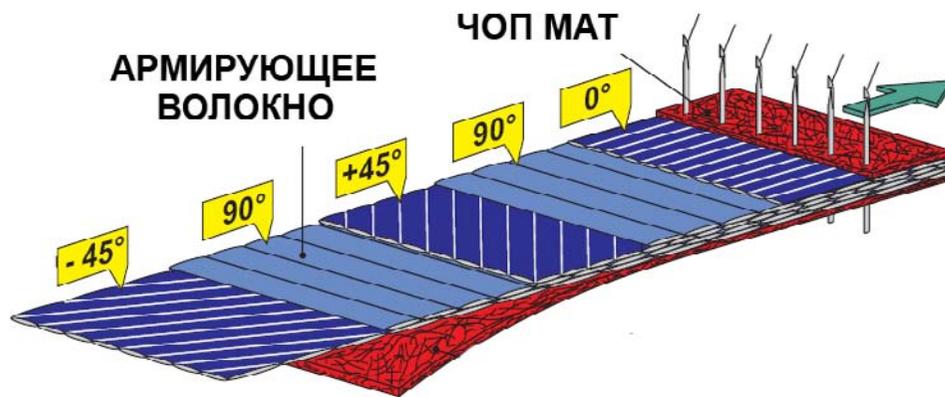
Трехмерное плетение

Трехмерная сшивка
тканей

Диагонально-сшитые
структуры

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МУЛЬТИАКСИАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Текстильный нетканый материал, состоящий из нескольких слоев нитей, ориентированных в различных направлениях в соответствии с заданной схемой армирования, рассчитанной исходя из оказываемой на материал нагрузки.

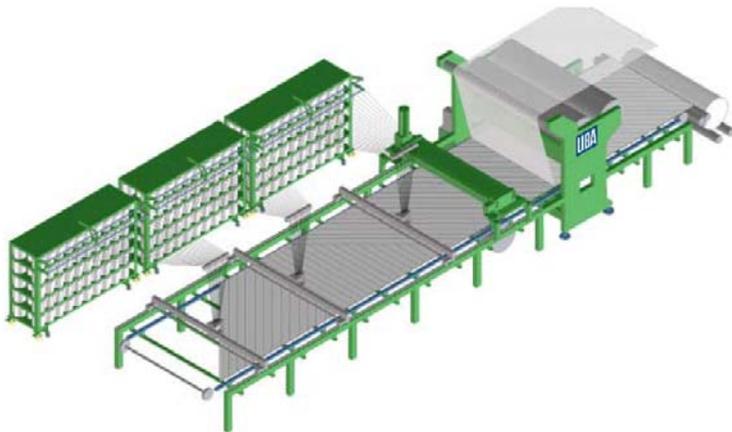


ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МУЛЬТИАКСИАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД РОВИНГОВОЙ ТКАНЬЮ

- сокращение количества слоев ткани при укладке и оптимизация процесса изготовления композитов
- армирование композиционного материала в различных направлениях
- сокращение расхода смолы до 20–30, меньшее сопротивление течению связующего
- увеличение механической прочности
- ровная поверхность ламината (поверхность ровинговой ткани имеет выпуклости в местах переплетения нитей)

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МУЛЬТИАКСИАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ



КОНТУРНОЕ ПЛЕТЕНИЕ

ПЛЕТЕНИЕ

- Используется для получения армирующих форм в виде канатов, труб, конусов и пр.
- Применяется в технологиях получения поверхностей неправильной формы, в конусах ракет и самолетов и др.

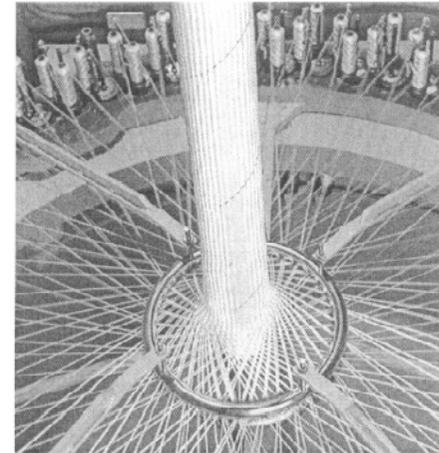
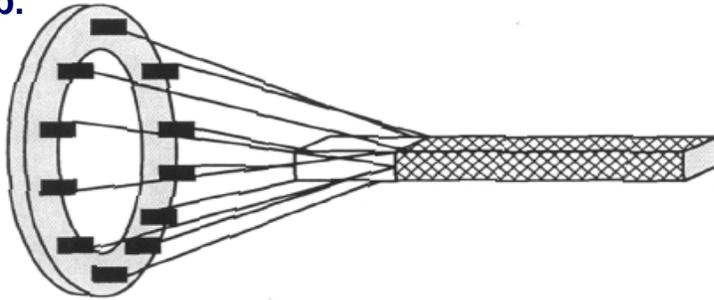
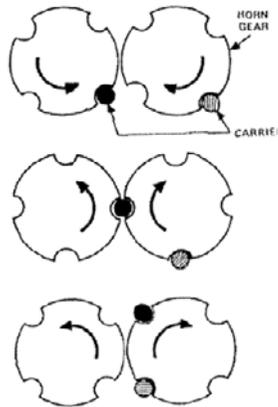
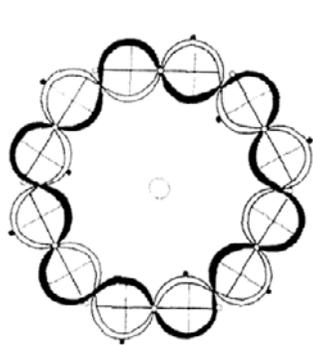
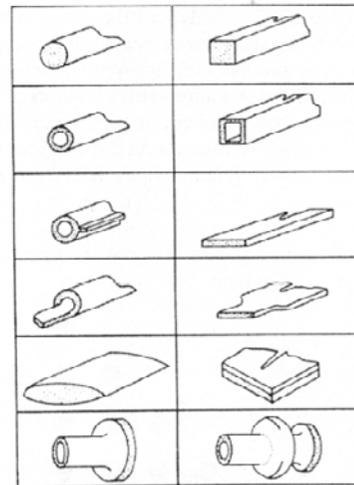


Схема пути нити при плетении



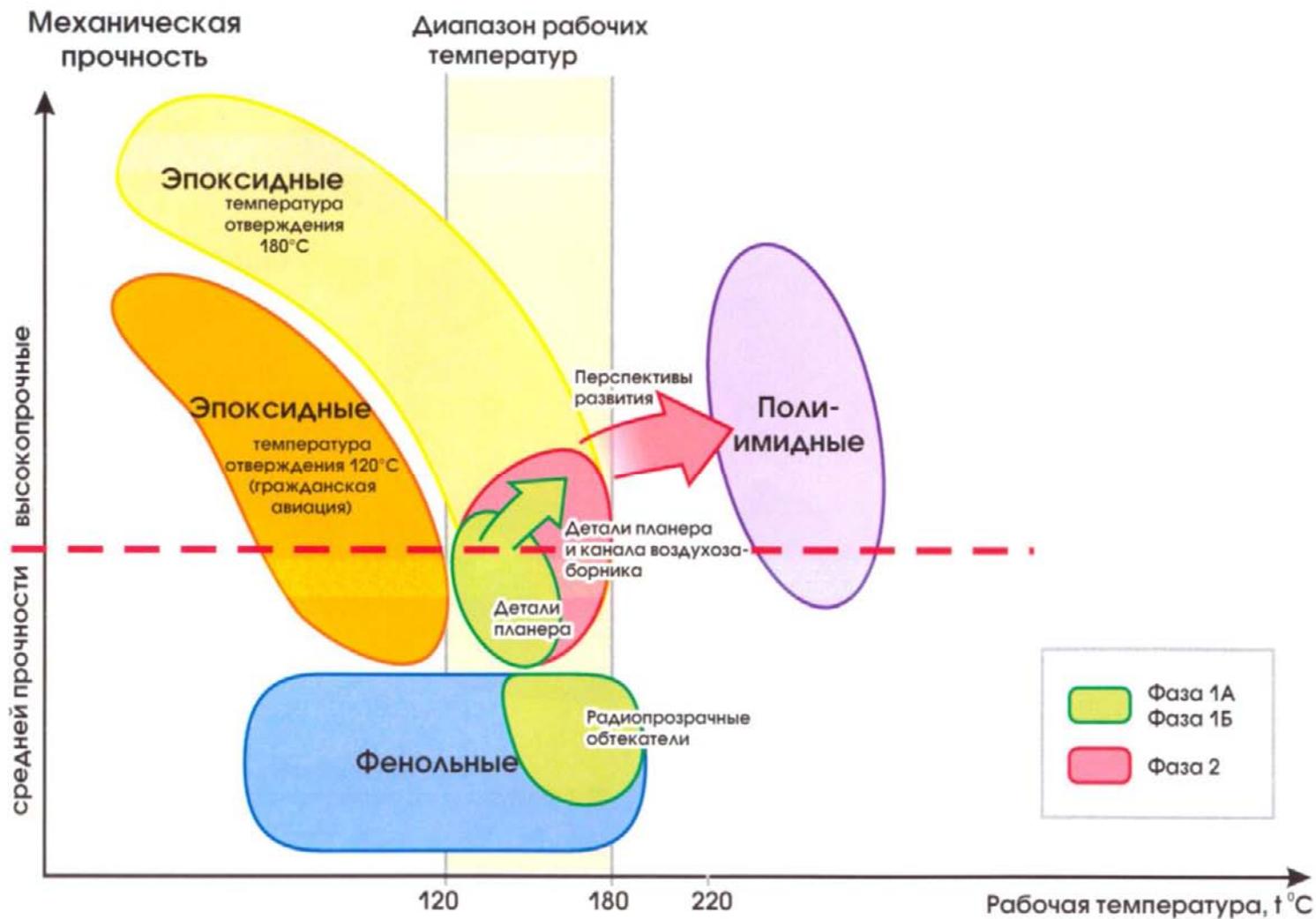
Формы для плетения



ПРИМЕНЕНИЕ КОНТУРНОГО ПЛЕТЕНИЯ



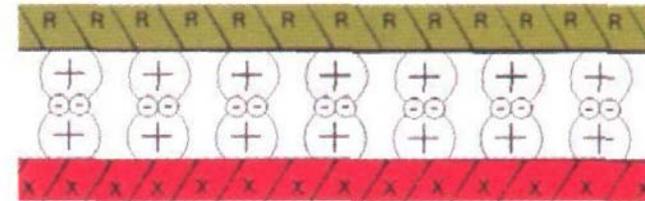
ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ



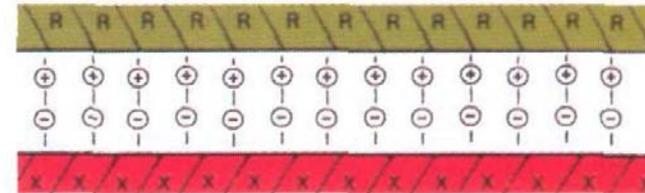
ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРМИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ - МАТРИЦА



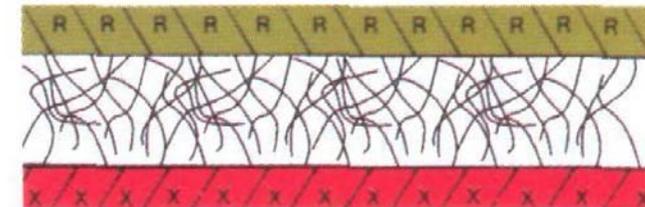
КОВАЛЕНТНЫЕ СВЯЗИ



**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ**



**ПЕРЕПЛЕТЕНИЕ
МАКРОМОЛЕКУЛ**



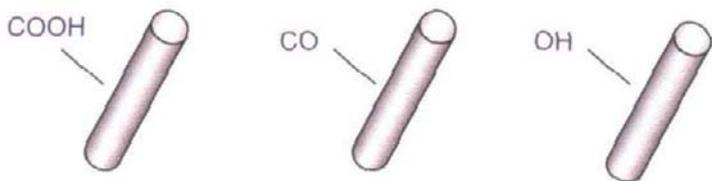
**МЕХАНИЧЕСКОЕ
СЦЕПЛЕНИЕ**



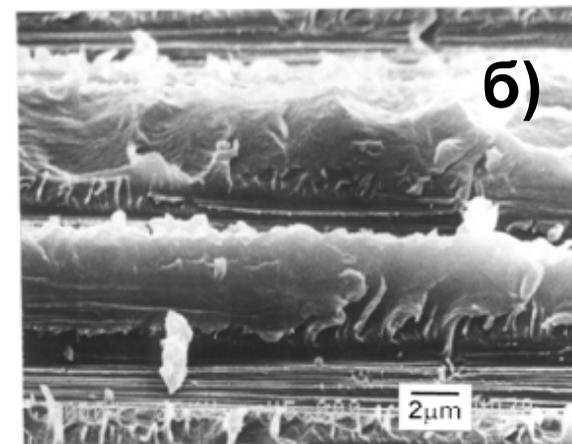
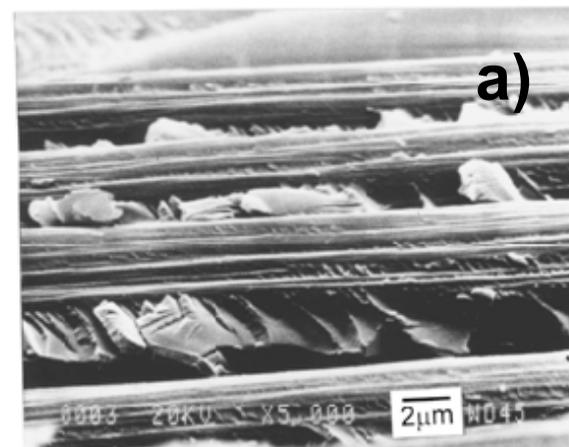
ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРМИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ - МАТРИЦА

Функционализация поверхности углеродных волокон

1. Электрохимическая обработка.
2. Обработка в радиочастотной низкотемпературной плазме.
3. Химическое окисление (газообразными и жидкими окислителями).

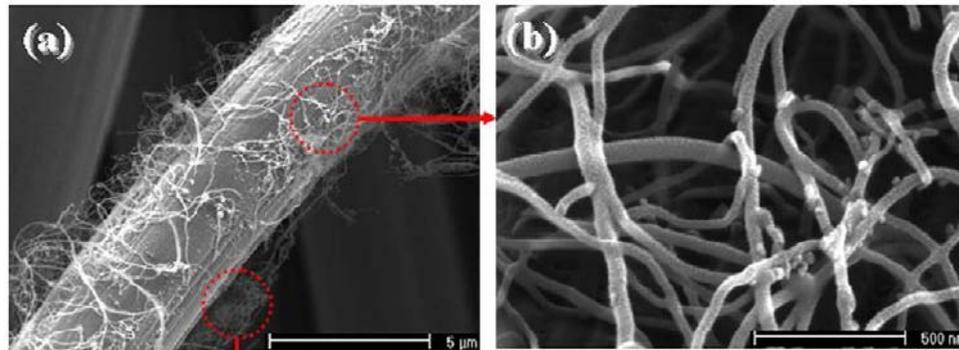


Изображение поверхности излома композитов, армированных УВ (а – исходное УВ, б – УВ, обработанные кислородной плазмой)



УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОТРУБКАМИ

Выращивание углеродных нанотрубок и нановолокон на поверхности УВ.



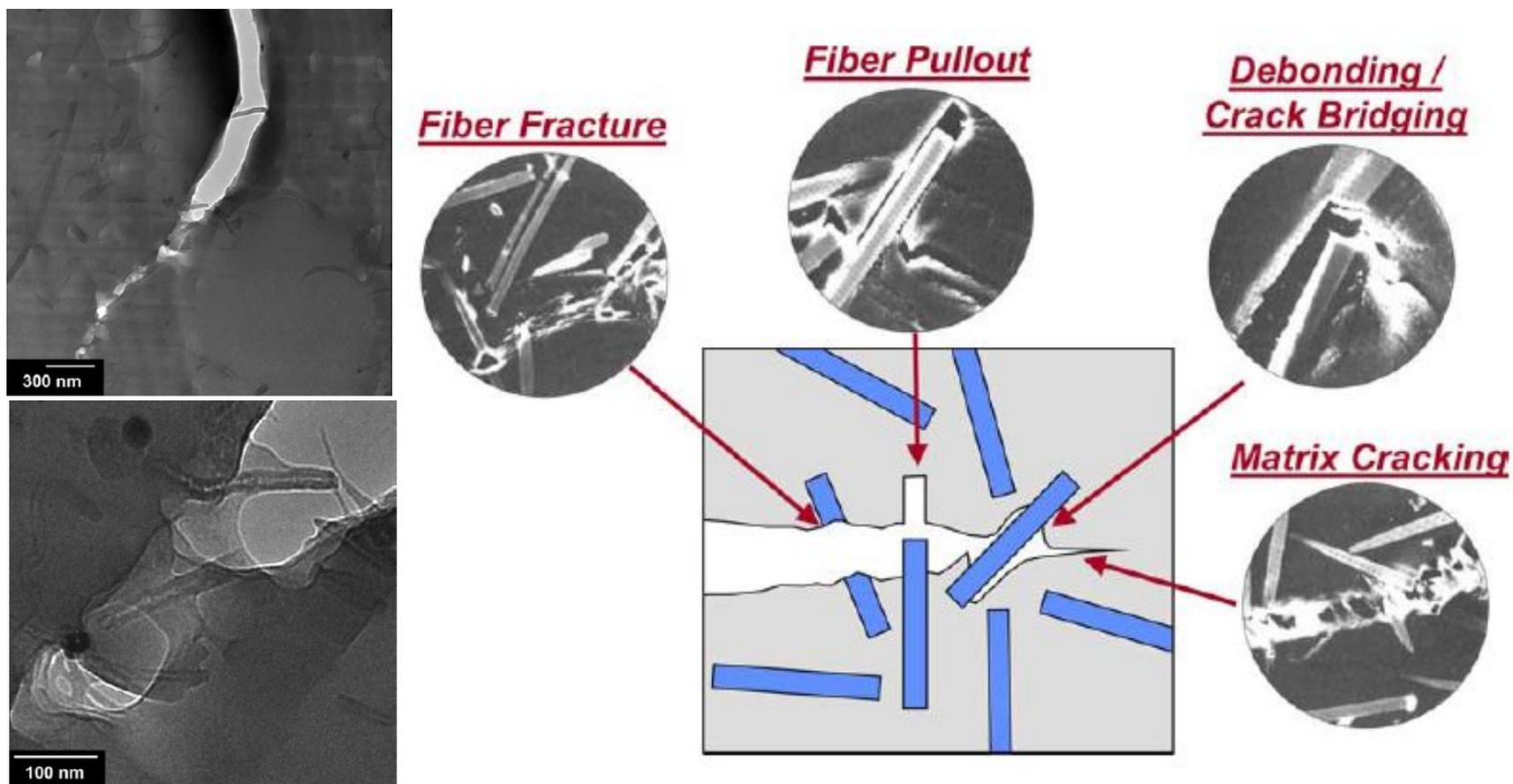
B.-J. Kim, S.-J. Park / Journal of Colloid and Interface Science 315 (2007) 791

C.-W. Huang et al. / Journal of Power Sources 183 (2008) 406–410

S.-S. Tzeng et al. / Carbon 44 (2006) 859–865

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ КАК АРМИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

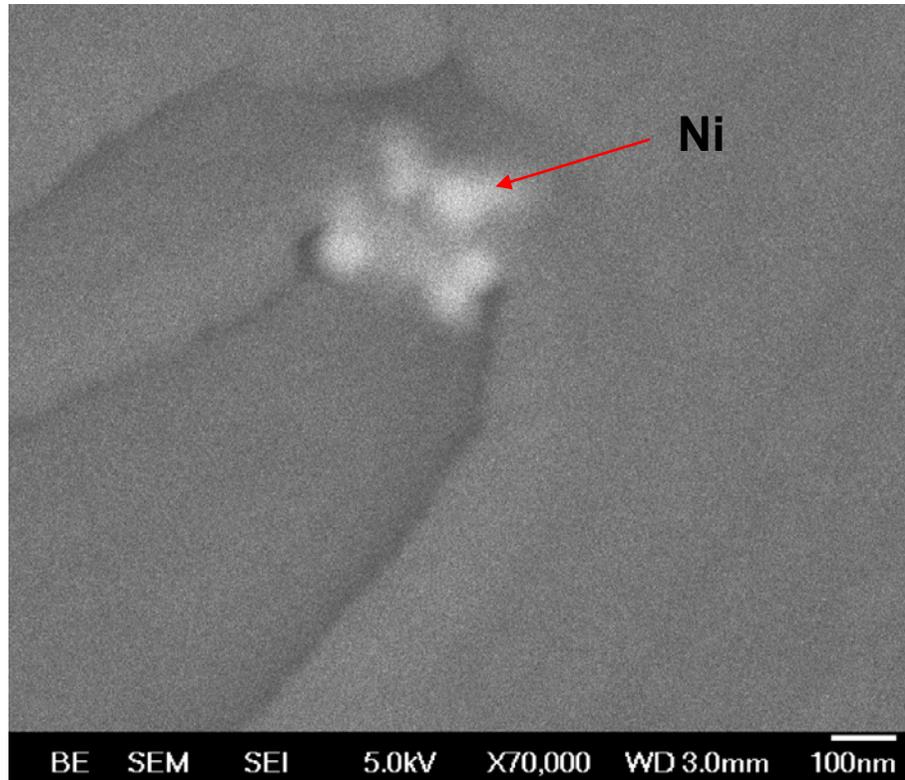
Механизм диссипации энергии



E.T. Thostenson et al. / Composites Science and Technology 65 (2005)

МОДИФИКАЦИЯ СВЯЗУЮЩИХ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

Модификация эпоксидного связующего наночастицами Ni (менее 0.5%)



SEM изображение эпоксидного связующего модифицированного наночастицами никеля.

Увеличение предела прочности при растяжении на 10-20%

Увеличение сдвиговых характеристик в пластике

Увеличение ударных характеристик.

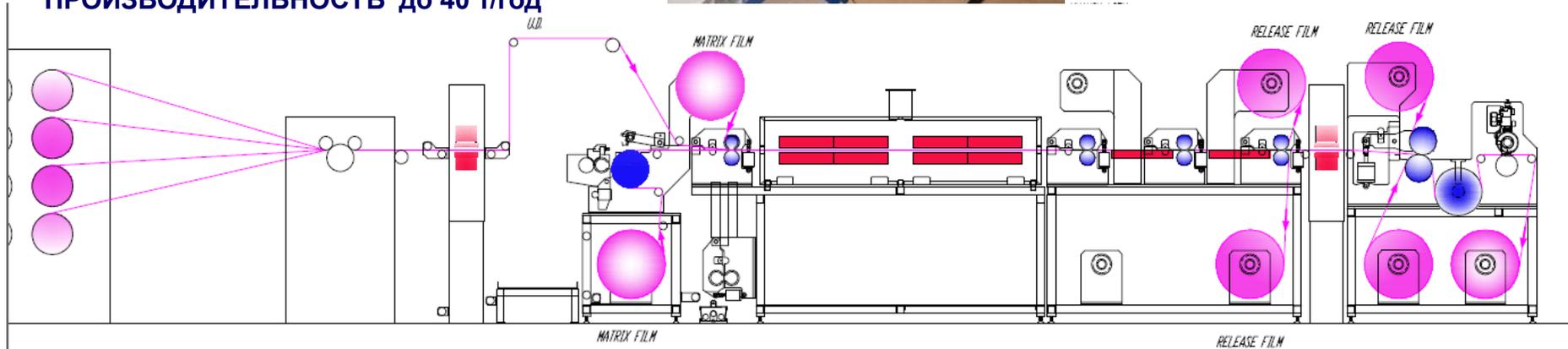
Изменение механизма отверждения.

ПИЛОТНАЯ ЛИНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПРЕПРЕГОВ

- Полностью автоматизирована, позволяет создавать электронный паспорт качества на каждый рулон выпускаемого препрега.
- Обеспечивает 100% контроль качества пропитки при получении препрегов, что является обязательным условием для выпуска препрегов для применения в авиастроении.
- Установка универсальна по связующим – обеспечивает использование связующие в виде растворов, расплавов, пленок, волокон.
- Линия позволяет осуществлять НИР и получать опытные партии материалов с применением всех известных в мире современных связующих и армирующих наполнителей (углеродных, стеклянных, базальтовых и др.).
- Позволяет напрямую работать со шпуляриками, производить однонаправленные безутковые препреги.

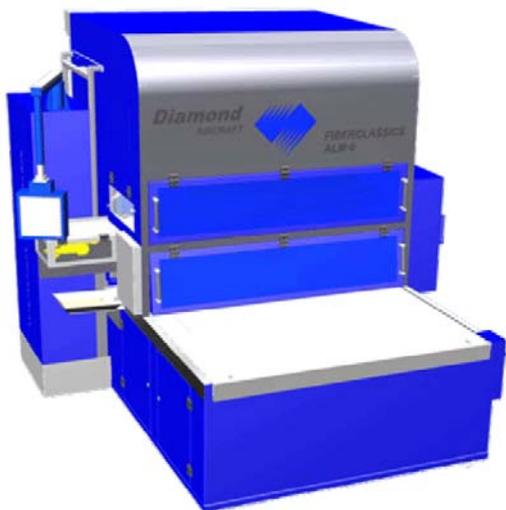


ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ до 40 т/год



ЛИНИЯ ПРОПИТКИ НИЗКОВЯЗКИМИ СВЯЗУЮЩИМИ

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ 150-1200 т/год



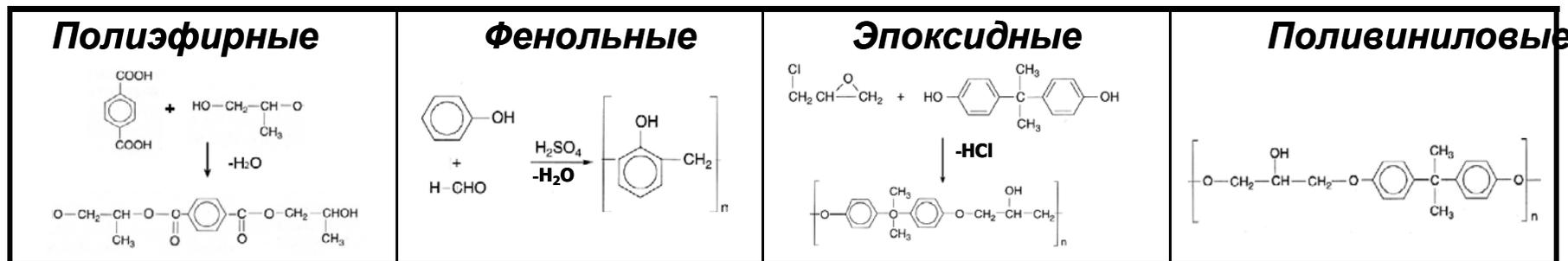
- Полностью автоматизированная линия.
- Обеспечивает различные варианты нанесения точно дозированного количества связующего.
- Позволяет производить препреги однонаправленные, тканевые, шириной от 300 до 2000 мм для изготовления конструкций планера воздушных судов перспективных моделей и др. отраслей применения.
- В зависимости от плотности ткани производительность линии составит от 150 т/год (для тонких тканевых препрегов на основе лент типа ЭЛУР и УОЛ с толщиной монослоя 0,12 мм, применяемых в несущих конструкциях) до 1200 т/год (на основе 7-слойного мультиаксиального полотна с поверхностной плотностью 700 г/м² для применения в авиастроении и др. отраслях).



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

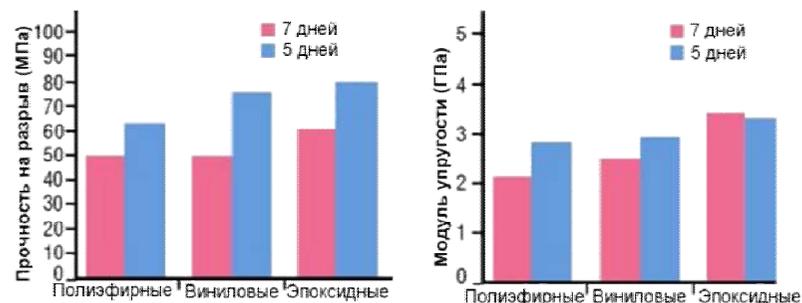
ПОЛИМЕРНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ

Терморезактивные смолы – смолы отверждаемые в результате химической реакции, как правило, при повышенных температурах.



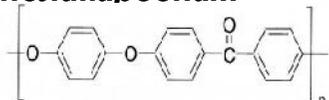
Полиэфирные и фенольные смолы дешевы и просты в применении. Они занимают 90 % рынка терморезактивных смол. Их недостатки – низкая прочность, модуль упругости и хрупкость.

Для композитов на основе углеродных волокон применяют более прочные и дорогие эпоксидные и поливиниловые смолы. Перспективными материалами являются полиимидные смолы

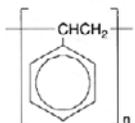


Термопласты -пластмассы, при переработке которых не происходят химические реакции отверждения полимеров и материал в изделии сохраняет способность плавиться и растворяться.

Полиэфирэфиркетон, поликарбонат



полистирол,



полиамиды,

