

**Прочное будущее:
эволюция и новые горизонты
композитных материалов для
передовых секторов
экономики**



2025

**Инженеры
будущего**



РОСАТОМ

**КОМПОЗИТНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**



Инженеры
будущего

Программы технологического суверенитета

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОГРАММЫ:

Соглашение между Правительством РФ и ГК «Росатом» «Технологии новых материалов и веществ»

(Подписано 10.07.19 в рамках исполнения распоряжения Правительства РФ от 08.07.2019 № 1484-р;

Куратор-Мантуров Д.В, Первый заместитель Председателя Правительства Российской Федерации)

ЮМАТЕКС является лидером дорожной карты развития в РФ высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» по направлению композитных материалов

(Дорожная карта утверждена решением коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации от 19.12.2022 № ВПК-35)

Куратор-Мантуров Д.В, Первый заместитель Председателя Правительства Российской Федерации)

Мегапроект технологического суверенитета «Новые материалы и химия»

(Подписан в феврале 2025 г.

Куратор-Мантуров Д.В, Первый заместитель Председателя Правительства Российской Федерации)

«Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года»

(Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1693-р от 25 июня 2022 г.)

Комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства»

(Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1789-р от 4 июля 2023 г.

Отв. Исполнитель-Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом")

Мегапроект технологического суверенитета «Развитие беспилотной авиации»

(Запуск с 2025 г.)

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ:

- Создание **компонентной химической базы** и новых передовых композитных материалов и технологий
- Достижение **технологического суверенитета России** в современных ПКМ и изделиях из них
- **Обеспечение растущих потребностей** стратегических отраслей промышленности РФ в передовых ПКМ
- **Разработка новых продуктов** для обеспечения возможности выпуска новых изделий для авиации и космоса



Инженеры
будущего

Мировой рынок углеволокна

К **2030** году мировой рынок углеволокна вырастет в 2,5 раза*

202

Тыс. тон

6,5

Млрд. долларов

10%

Среднегодовой темп
роста спроса на
углеволокно





История развития

5000 лет
до нашей эры



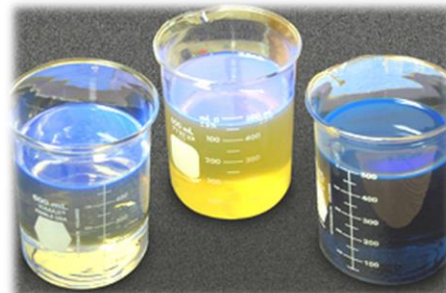
**Первые
композиционные
материалы**

XIX век



**Железобетон
Стекловолокно
Углеволокно**

XX век



**Полимеры
Стеклопластик
Углепластик**

XXI век



Массовое внедрение

Развитие **химической отрасли, материаловедения, оптимизация проектных решений при конструировании и проектировании изделий** являются ключевыми двигателями роста использования и внедрения композитных материалов в различных отраслях промышленности.



На сегодняшний день в РФ достигнут суверенитет по ключевым технологиям в сегменте КОМПОЗИТОВ



СССР входит в тройку лидеров мирового рынка по объемам производства и потребления КОМПОЗИТОВ

1980-е



«Упадок 90-х» - потеря кадров, устаревание технологий, нет финансирования и развития

1990-е



Достигнут суверенитет по ключевым технологиям, ликвидировано технологическое отставание от мировых конкурентов, создан задел для технологического лидерства

2010 -

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ (2010 – н.в.)



Сформирована единственная в СНГ и Восточной Европе полная технологическая цепочка по углепластикам: от нефти до высокотехнологичных изделий



Созданы / модернизированы производства стекло- и базальтового волокна



Разработаны отечественные технологии по передовым материалам и волокнам



Сформирована линейка готовых изделий для стратегических отраслей РФ

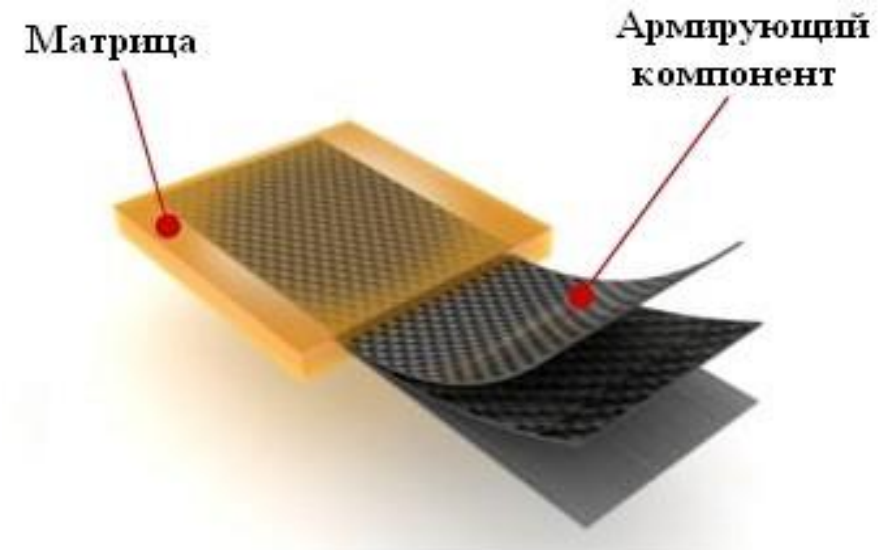
Основная терминология

Композитные материалы — сплошные, неоднородные, чаще всего слоистые материалы, состоящие из двух компонентов: армирующего компонента, отвечающего за физико-механические характеристики материала, и матрицы, обеспечивающей равномерность распределения нагрузки.

...причем итоговые характеристики материала получаются выше, чем среднее значение от характеристик его компонентов.

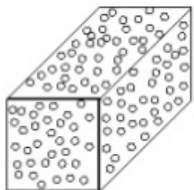
Армирующий компонент определяет механические характеристики материала: прочность, жесткость и деформируемость.

Матрица (связующее) обеспечивает монолитность материала, передачу напряжения в армирующем материале и стойкость к различным внешним воздействиям.

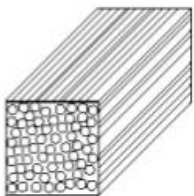


Классификация композитных материалов

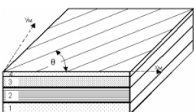
По механической структуре



Дисперсно-армированные или *дисперсно-упрочненные* (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц)

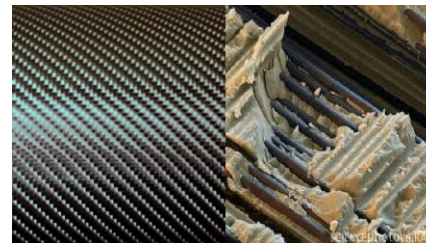


Волокнистые (армированные волокнами или нитевидными кристаллами)

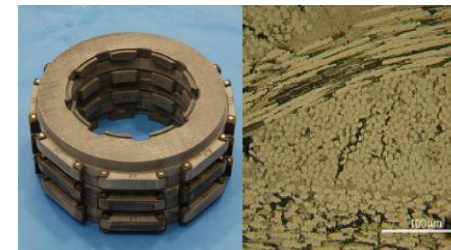


Слоистые (армированные пленками, пластинами, тканями; наполнитель и матрица расположены слоями)

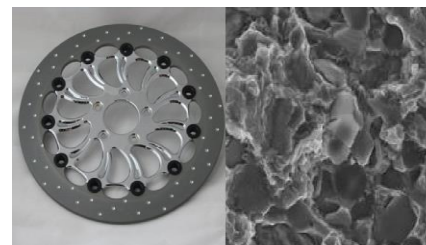
По природе матрицы



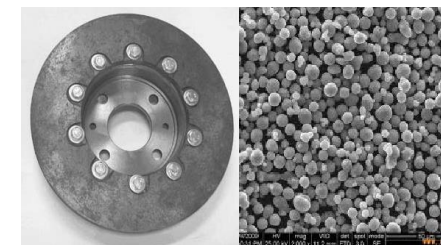
Полимерные (ПКМ)



Углерод-углеродные



Металлические



Керамические



Инженеры
будущего

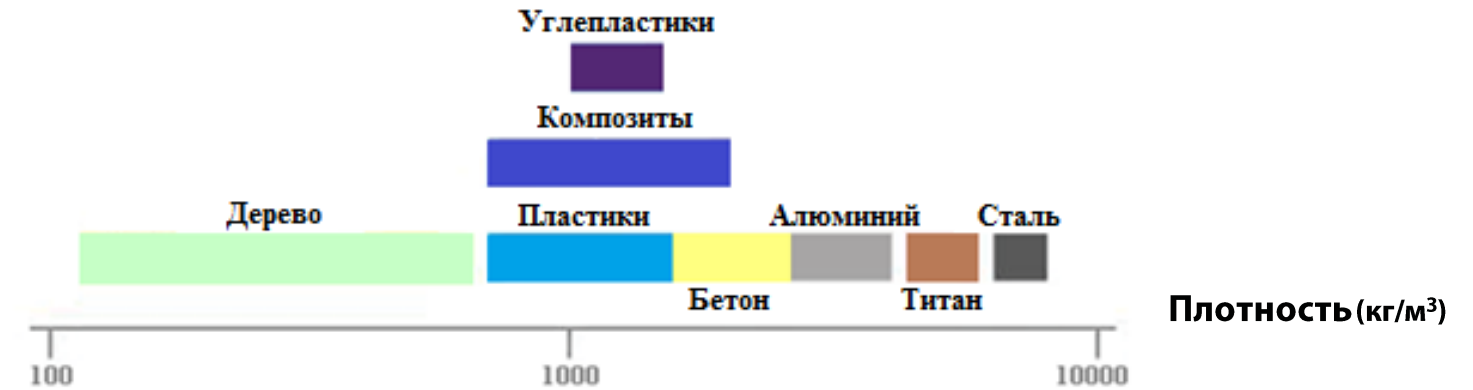
Сравнение КМ с «классическими» материалами

Достоинства:

- Высокая удельная прочность
- Коррозионная стойкость
- Устойчивость к усталостному износу
- Программируемость свойств изделия

Недостатки:

- Анизотропия свойств
- Стоимость производства
- Техническая сложность производства готовых изделий





Углеродное волокно

Углеродное волокно (УВ) — материал, состоящий из тысяч элементарных волокон (филаментов) диаметром от 4 до 8 микрон, образованных преимущественно атомами углерода (92–99%). Отличается высокой удельной прочностью, жесткостью и хим. стойкостью.

Жесткость (Модуль упругости) — характеристика материала описывающая его возможность сохранять свои геометрические размеры при нагружении.

✓ **УВ на основе пековых волокон:**

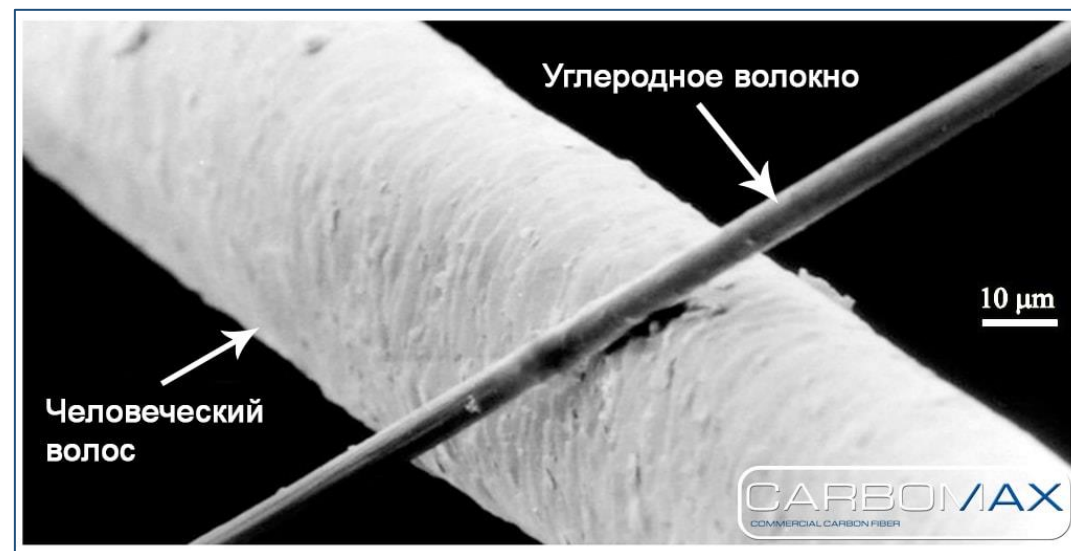
- наиболее высокие тепло- и электропроводность
- сверхвысокий модуль упругости (до 900 ГПа) => более «хрупкие» и не подходят для критических конструкционных применений

✓ **УВ на основе полиакрилонитрильных (ПАН) волокон:**

- сочетание сверхвысокой прочности (до 7 ГПа) и высокого модуля упругости (до 600 ГПа)
- примерно 95% мирового рынка углеродных волокон

✓ **УВ на основе вискозных волокон:**

- применение в виде лент и тканей (термоизоляция, электронагреватели, фильтры и др.)
- хорошие трибологические свойства материала





Инженеры
будущего

История углеродного волокна

ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ:

Томас Эдисон в 1879 г. изготовил углеродные волокна из целлюлозы для применения в первых лампочках накаливания. Механические свойства полученных углеродных нитей были низкими, хотя и пригодными для основного использования. В начале 1900-х гг. вольфрам стал предпочтительным материалом для нитей накаливания, УВ устарело и в течение следующих 50 лет ему уделяли мало внимания.

ВОЗРОЖДЕНИЕ ИНТЕРЕСА:

В 1958 г. физик Роджер Бэкон смог вырастить тонкие углеродные нити с исключительными механическими свойствами. В начале 1960-х годов в Японии разработали процесс получения УВ с использованием полиакрилонитрила (PAN) в качестве сырья.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ (1960-1970-е ГОДЫ):

В США в то время активно поддерживали исследования и разработки в области углеродных волокон и композитов для ракет и авиационных конструкций. И если в США акцент делали на УВ на основе целлюлозы (вискозы) в качестве прекурсора, то в Японии в 1961 г. стали использовать ПАН в качестве прекурсора для углеродных волокон, а в 1964 г. начали опытное производство таких волокон.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ (1980-1990-Е ГОДЫ):

В 1980-1990-е годы произошел значительный прогресс в технологиях производства углеродных волокон, что привело к снижению стоимости и повышению качества материала. Углеродные волокна стали использоваться в различных отраслях, включая авиацию, аэрокосмическую промышленность, производство автомобилей, спортивные товары и медицинское оборудование.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ:

В настоящее время углеродные волокна продолжают находить новые применения в инновационных технологиях. Исследования и разработки направлены на улучшение характеристик углеродных волокон, создание новых комбинированных материалов и расширение областей их применения.





ПАН волокно

ПАН волокно - это синтетический материал, который производится из полиакрилонитрила (ПАН).

Существует два основных метода производства ПАН волокна:

- **Мокрый метод**

При мокром методе ПАН растворяется в подходящем растворителе.

Раствор ПАН продавливается через фильеры и волокно формируется в осадительную ванну. Затем волокно подвергается стадии промывки, вытяжки и сушки.

- **Сухой-мокрый метод**

При сухом-мокроем методе ПАН раствор полимера готовят таким же способом, но экструзию проводят в воздушную прослойку между фильерой и осадительной ванной. Таким образом первая стадия вытяжки волокна происходит до его осаждения, что значительно позволяет повысить качество волокна и ускорить процесс.

Основные этапы

1. Осаждение
2. Промывка и вытяжка
3. Замасловка
4. Сушка волокна





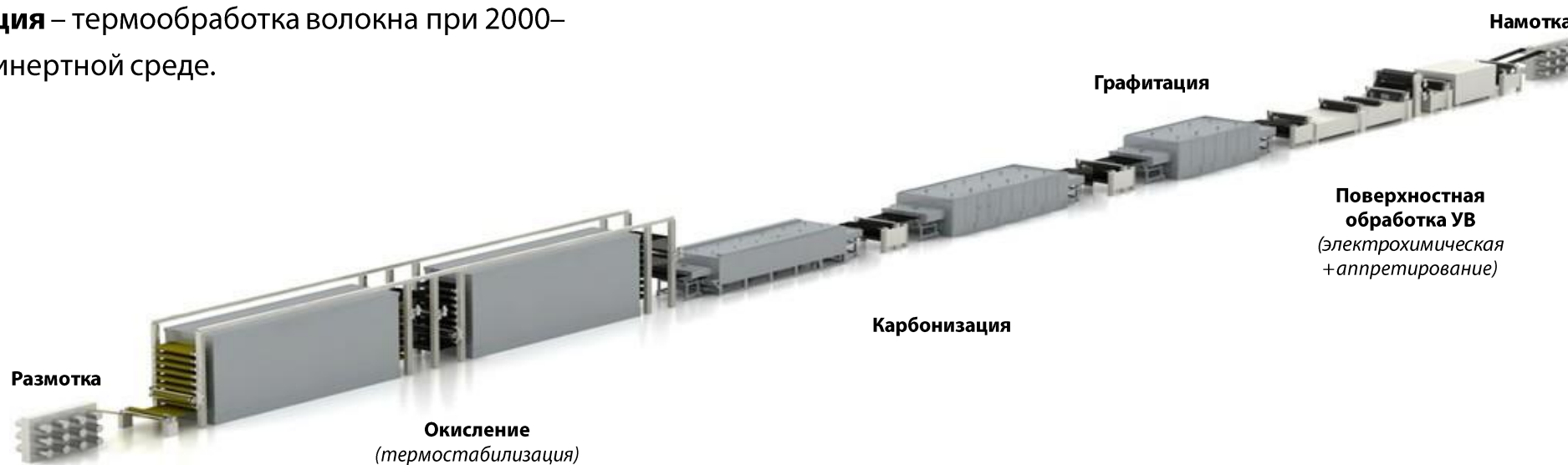
Технология получения углеродных волокон

Окисление – многоступенчатая термообработка волокна при 200–300°C в воздушной среде.

Карбонизация – повышение содержания углерода в волокне при его термообработке при 300–1500°C в инертной среде за счет удаления гетероатомов в виде летучих продуктов.

Графитация – термообработка волокна при 2000–3000°C в инертной среде.

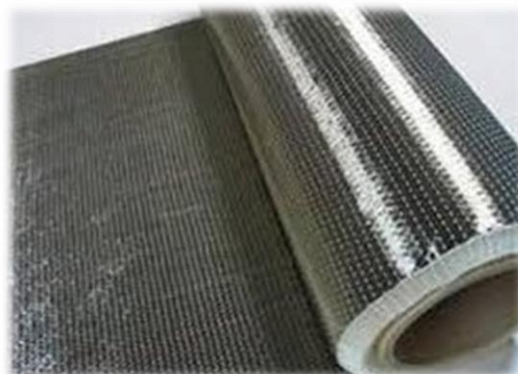
Поверхностная обработка применяется для улучшения смачиваемости и адгезии полимерных связующих к поверхности УВ (аппретирование также служит для улучшения технологичности УВ на последующих его технологических переделах).



Виды продуктов-полуфабрикатов на основе УВ



**Дискретные
волокна**



**Однонаправленные
ленты**



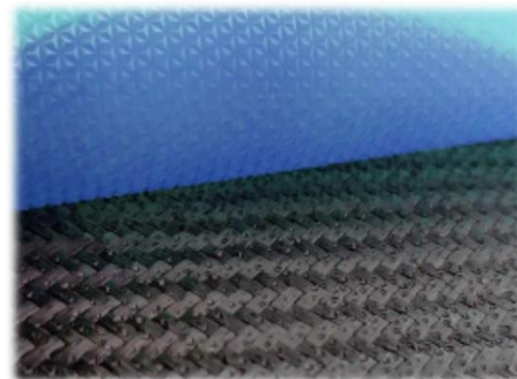
**Двунаправленные и
мультиаксиальные ткани**



Нетканый материал



**Оплетки (брейдинговые
преформы)**



Препреги



Препреги

Препрег – полимерный композиционный материал, который состоит из пропитанного связующим (matrix) армирующего наполнителя (reinforcement). Полимерная матрица при определенных температурах отверждается, преобразуя препрег в твердый и прочный пластик.

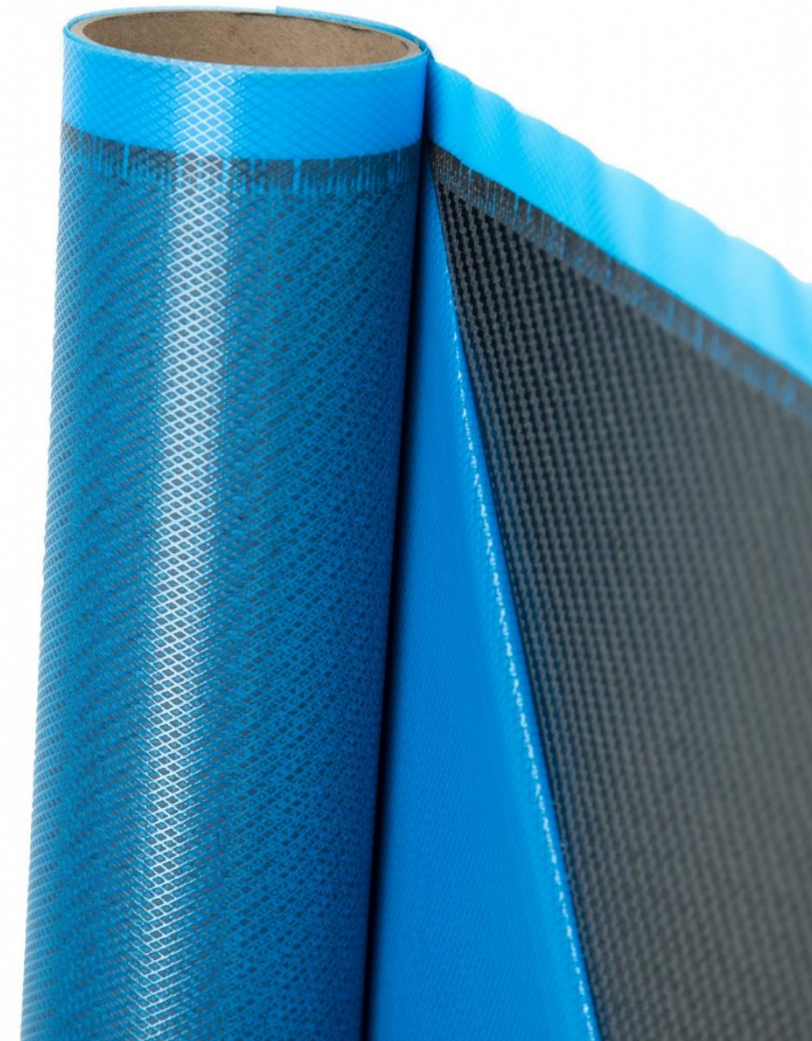
Наиболее распространенными типами связующих, используемых в препрегах, являются:

- Эпоксидные смолы
- Фенопласты
- Полиэфирные смолы

В чем преимущества использования препрега?

Использование препрегов позволяет:

- ✓ Обеспечить максимальные прочностные характеристики
- ✓ Контролировать содержание связующего
- ✓ Обеспечить высокое качество изделий
- ✓ Снизить кол-во отходов, возникающих при изготовлении изделий





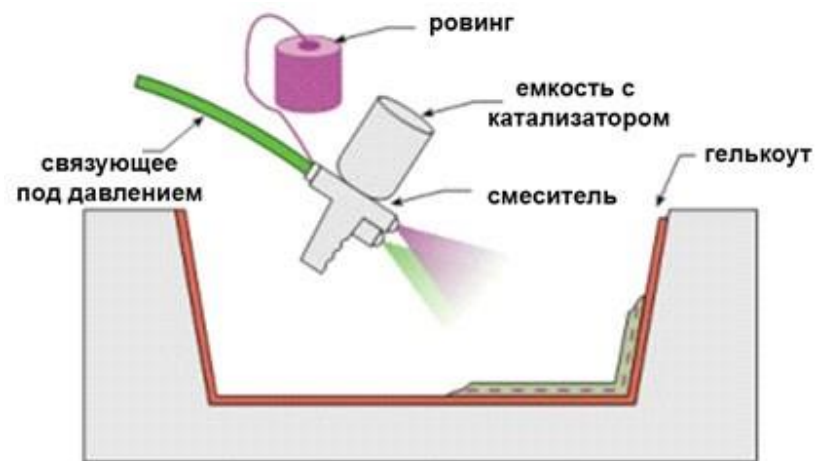
Инженеры
будущего

Методы изготовления изделий из ПКМ



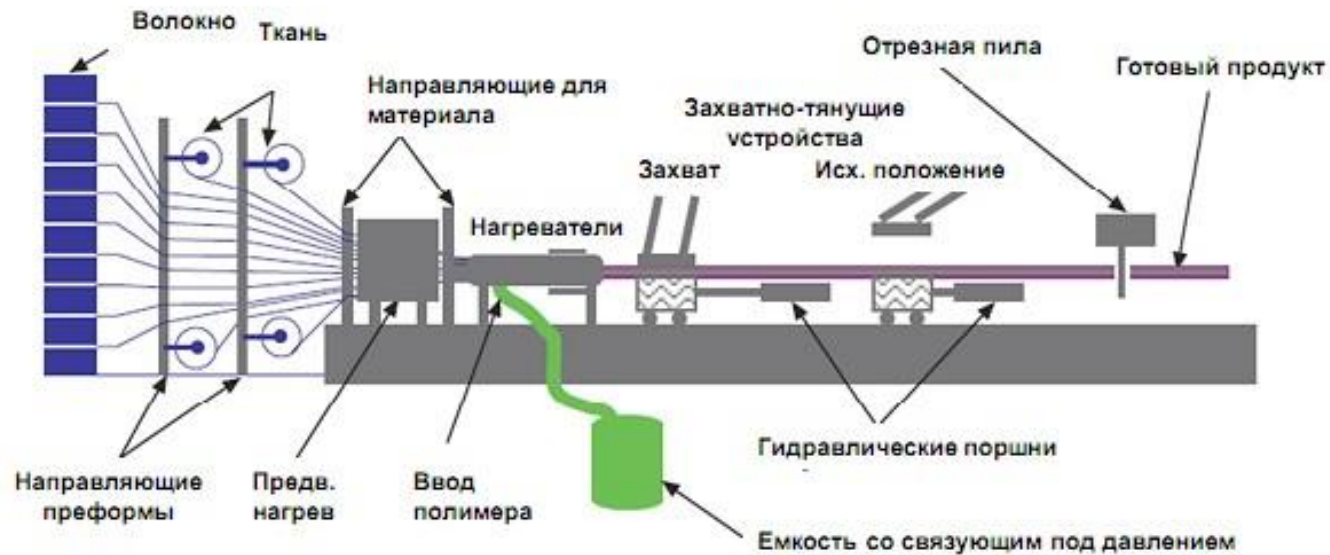
Напыление (Spray-up)

1. Ровинг армирующего материала рубится на отрезки и смешивается со смолой и отвердителем в специальном смесителе (пистолете).
2. Нанесенный на оправку материал отверждается при комнатной температуре и атмосферном давлении.



Пултрузия

Пултрузия представляет собой метод непрерывного формирования изделий. В процессе производства волокна пропитываются полимерной смолой, протягиваются через фильеру с одновременным нагревом, позволяющим отвердить связующее. Полученное изделие подвергается дополнительной обработке поверхности и нарезается на отрезки определенной длины.



Этот метод особенно эффективен для производства:

- Профильных элементов
- Балочных конструкций
- Стержневых изделий

Ручное (контактное) формование

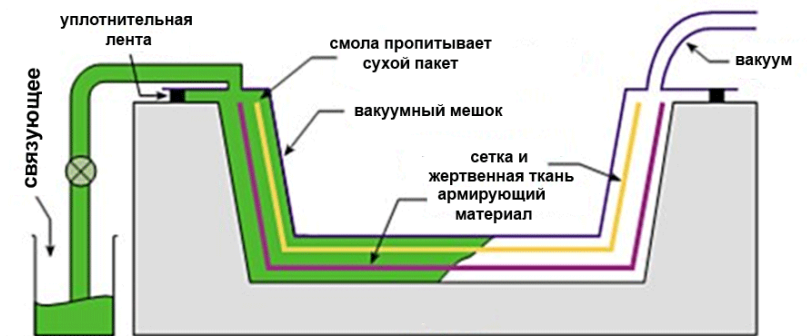
1. Армирующий материал в виде ткани пропитывается вручную. Связующее наносится с помощью кисти или валика.
2. Далее слои армирующего материала прикатываются друг к другу до полного удаления излишков смолы и воздушных пузырей.
3. Отверждается при комнатной температуре и нормальном давлении.



Вакуумная инфузия

Вакуумная инфузия — это технология, при которой сухие армирующие материалы пропитываются полимерной смолой под воздействием вакуума. Метод идеально подходит для изготовления крупногабаритных изделий, конструкций сложной формы и монолитных изделий.

1. Пакет собирается из сухого армирующего материала.
2. Сверху укладывается слой разделительной ткани и дренажной сетки.
3. Пакет откачивается на вакуум.
4. Далее за счет разряжения в пакет подается связующее.
5. После полной пропитки подача связующего прекращается.

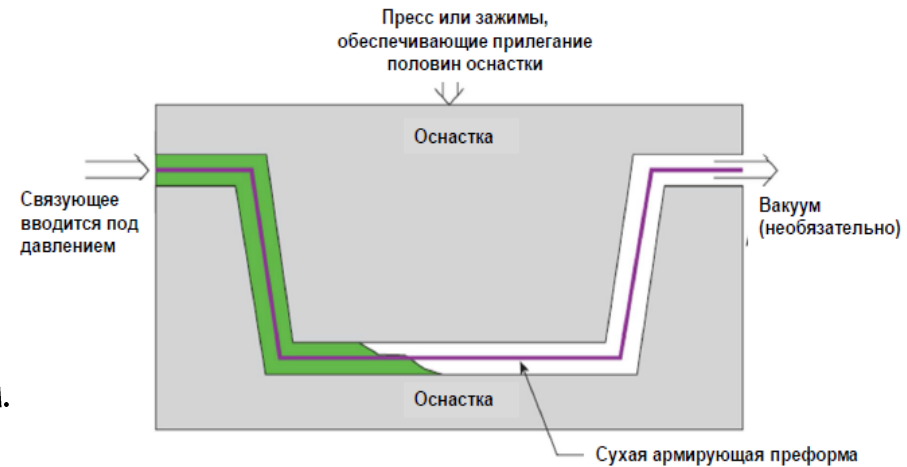




Инженеры
будущего

Пропитка связующим в форме (RTM)

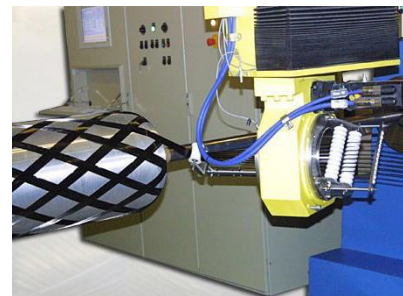
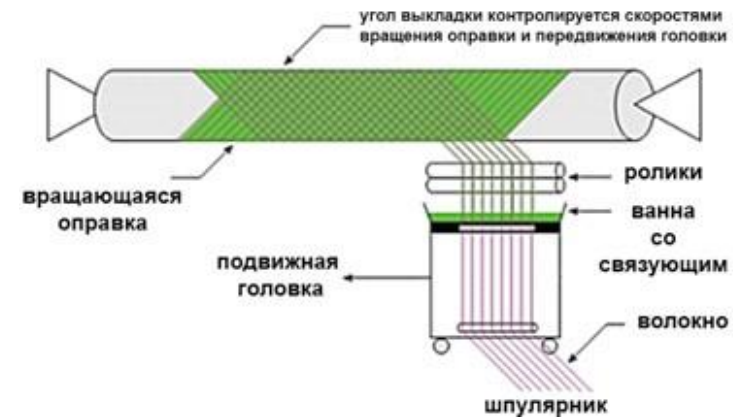
1. Раскроенный сухой армирующий материал выкладывается в предварительно подготовленную металлическую форму.
2. Прижимается сверху пуансоном.
3. Связующее вводится в форму под давлением.





Намотка

1. Жгуты волокна проходят через ванночку со связующим и далее наматываются на вращающуюся оправку.
2. Направления армирования задаются автоматически путем варьирования скорости вращения оправки и скорости передвижения питающей головки.



Литье под давлением

Литьё под давлением — это технологический процесс, при котором расплавленный полимерный композит под высоким давлением впрыскивается в предварительно нагретую форму, где он застывает, принимая заданную форму. Этот метод широко применяется для изготовления деталей сложной формы и больших партий изделий.

Основные этапы процесса литья под давлением ПКМ:

1. Подготовка материала:

Полимерный композит в виде гранул или порошка загружается в узел пластификации термопластавтомата.

2. Пластификация:

Материал нагревается до необходимой температуры, расплавляется и накапливается в цилиндре.

3. Впрыск в форму:

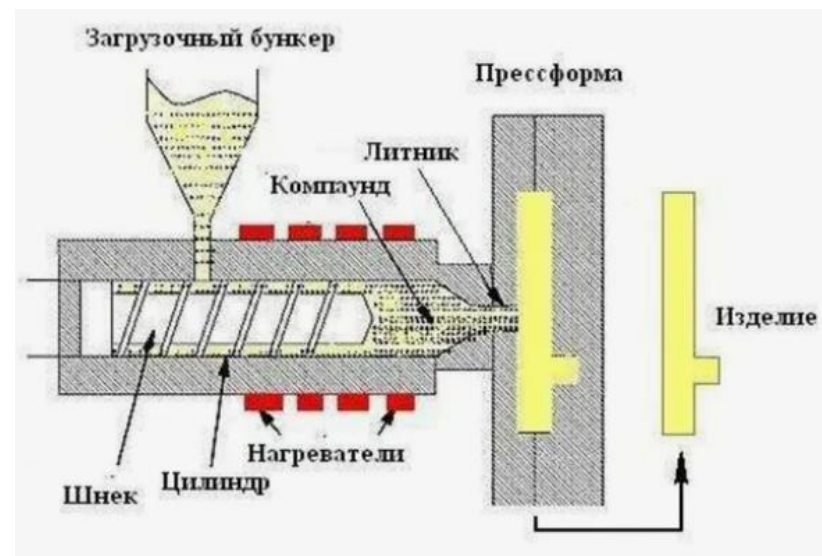
Расплав под высоким давлением впрыскивается в форму, заполняя ее полость.

4. Охлаждение и формование:

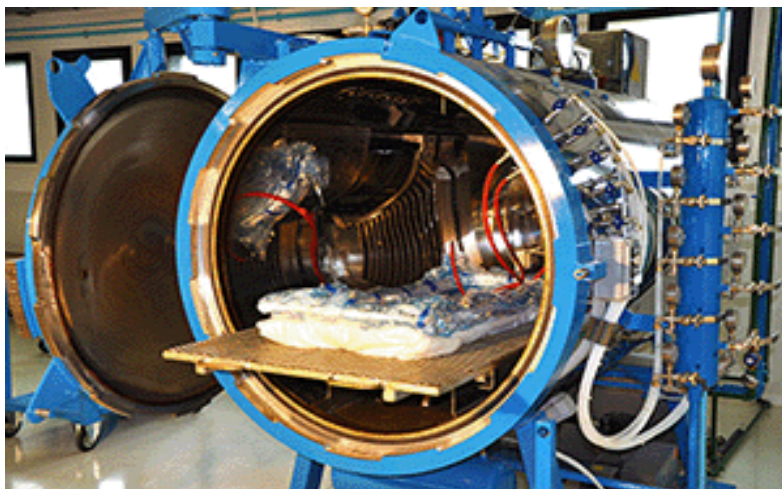
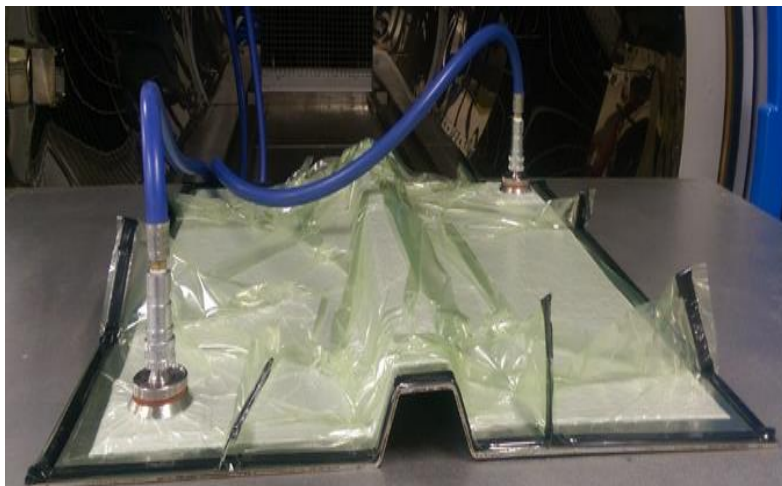
Расплав остывает и застывает, принимая форму изделия.

5. Извлечение изделия:

Форма открывается и готовое изделие извлекается из формы.



Вакуумное/автоклавное формование



Основные этапы процесса:

1. Раскроенный препрег выкладывается в предварительно подготовленную форму
2. Поверх препрега укладываются слои вспомогательных материалов
3. Пакет закрывается вакуумной пленкой и герметизируется специальным жгутом
4. Далее присоединяется вакуумный насос, и в пакете создается разряжение
5. Формование проводят
 - в печи под действием атмосферного давления (вакуумное формование)
 - в автоклаве, внутри которого создается избыточное давление (автоклавное формование)



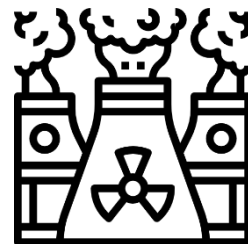
Инженеры
будущего

Отрасли применения композитных материалов

Авиастроение



Атомная промышленность



Аэрокосмическая отрасль



Судостроение



Ветроэнергетика



Строительство



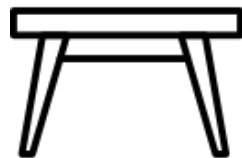
Автомобилестроение



Баллоны высокого давления



Дизайн



Спорт



Медицина



Применение в авиации

Уменьшение веса самолетов

Благодаря использованию композитных материалов, например углепластика, при строительстве фюзеляжа и крыльев, удалось снизить вес самолетов на 20-30%, что позволило существенно повысить дальность полетов и грузоподъемность.

За счет высоких прочностных и жесткостных характеристик композитов, их применение позволяет создавать более надежные конструкции самолетов, способные выдерживать большие нагрузки и иметь повышенный срок службы.

Снижение затрат на техническое обслуживание

Использование композитных материалов вместо металлов в конструкциях самолетов позволяет снизить трудоемкость технического обслуживания и ремонта на 20-30% за счет меньшей склонности композитов к коррозии и отсутствия процессов усталости металла.





Инженеры
будущего

Применение в космонавтике

Композитные материалы для ракет

Композитные материалы, такие как углеродно-эпоксидные полотна, обеспечивают необходимую прочность и легкость конструкции ракет-носителей, что позволяет выводить на орбиту все большие грузы.

Композитные скафандры astronauts

Композитные компоненты скафандров космонавтов из углеродных волокон обеспечивают защиту от резких перепадов температур в открытом космосе и микрометеоритов.

Композитные элементы орбитальных станций

Благодаря прочности и легкости композитные панели активно используются при строительстве модулей Международной космической станции для ее расширения.





Применение в судостроении

Повышение прочности и веса судов

Благодаря использованию композитных материалов в корпусах суда удалось увеличить их прочность при меньшей массе, повысив тем самым возможную нагрузку и дальность плавания.

Улучшение гидродинамических характеристик

За счёт более обтекаемой формы корпусов из композитов улучшились их гидродинамические характеристики, снизилось сопротивление воды и возросла скорость хода.

Снижение стоимости производства и эксплуатации

Использование композиционных материалов при изготовлении элементов судов позволило сократить трудоёмкость и стоимость их производства и ремонта, а также эксплуатации за счёт меньшего веса и более высокой долговечности.



Применение в железнодорожном транспорте

Базовые направления применения композиционных материалов на железнодорожном транспорте:

- Замена дорогостоящих металлических сплавов в конструкциях, несущих пониженную нагрузку
- Значительное уменьшение массы конструкций подвижного состава, что способствует повышению скорости
- Повышение безопасности перевозок путем применения поглотителей энергии удара при столкновениях
- Значительное понижение уровня пожароопасности на подвижном составе
- Повышение комфортности и эргономического уровня пассажирских вагонов, в сочетании с долговечностью и минимизацией затрат на обслуживание

Производитель:

Иволга, Трансмашхолдинг

Применение в автомобилестроении

Уменьшение массы автомобиля

Использование композитных панелей кузова позволяет снизить вес легкового автомобиля на 20-30 кг без ущерба для прочности.

Повышение прочности и надежности

Углепластиковые элементы подвески и ходовой части выдерживают большие нагрузки и не подвержены коррозии, обеспечивая долговечность узлов автомобиля.

Снижение стоимости производства

Применение композитов в мелких деталях сокращает трудозатраты на их изготовление, что позволяет снизить себестоимость производства автомобиля.



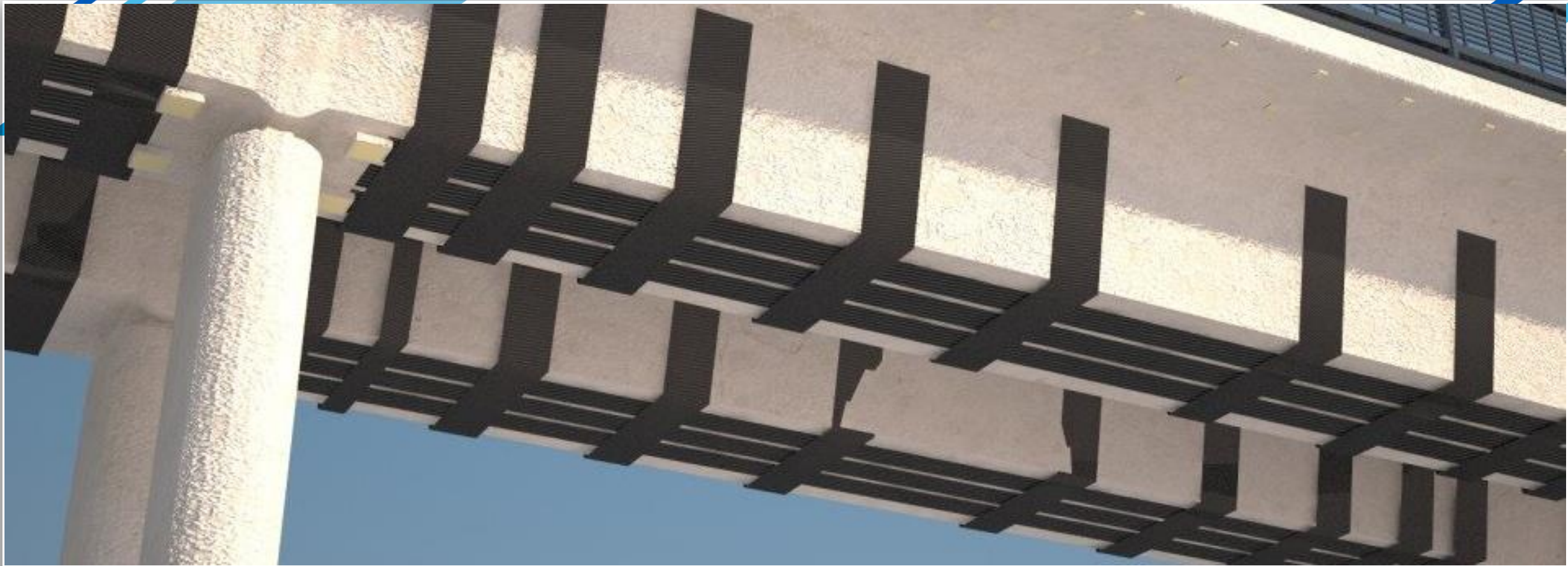
Применение в спортивной индустрии



Можно насчитать десятки товаров для различных дисциплин, в которых применяются углеродные волокна и композиты. Это велосипеды, клюшки для хоккея и гольфа, лыжи и лыжные палки, сноуборды, скейтборды и лонгборды.

Преимущества композитного спортивного инвентаря на основе углеволокна перед изделиями из традиционных материалов:

- Малый вес
- Высокая прочность
- Низкая способность к деформации
- Вибрационная стойкость
- Высокая удельная жёсткость



Применение в строительстве

Композитные материалы нашли широкое применение в строительстве высотных зданий и мостов благодаря своей прочности и малому весу по сравнению со сталью и бетоном, что позволило возводить более смелые архитектурные формы.



Инженеры
будущего

Новая энергетика

Композитные лопасти ветряных турбин

Композитные лопасти ветрогенераторов изготавливаются методом вакуумного формования из препрегов на основе углеволокна и стекловолокна, что обеспечивает им высокую прочность и долговечность при эксплуатации в условиях повышенных нагрузок и атмосферных воздействий.





Барьеры в развитии в российской композитной отрасли

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

90% – доля импорта зарубежного оборудования, ЗИП и ПО¹

30% – доля импорта волокон и полуфабрикатов. По отдельным видам материалов (в т.ч., арамидных волокон, стеклотканей) доля импорта ~50%²

до **95%** – доля импорта отдельных видов компонентов малотоннажной химии, в том числе отвердителей, катализаторов, клеев и пр.³

НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЙ

1

Разработка отечественных технологий – материалов, связующих, ПО, изделий и пр.

2

Создание импортозамещающих производств – оборудования, ЗИП, малотоннажной химии (в т.ч. компонентой базы)

3

Стимулирование при переходе стратегических отраслей промышленности России на отечественные материалы

¹ Экспертная оценка для сегмента углепластиков

² Данные ООО «ИГ «Инфомайн»

³ Экспертные оценки, данные Минпромторга России



Ключевые тренды и перспективы в развитии рынка композитных материалов

1 Соответствие углеволокна (УВ) ключевым глобальным трендам



Освоение космоса



Развитие военной техники



Новая энергетика



Топливная эффективность

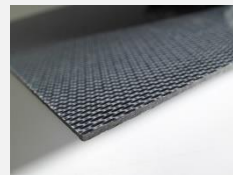
2 Развитие технологий изготовления и переработки изделий из УВ



Устойчивое развитие

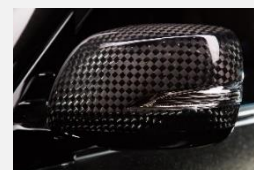


Рециклинг



Термопласты

3 Расширение применения в масс-маркете



Автомобилестроение



Спортивный инвентарь

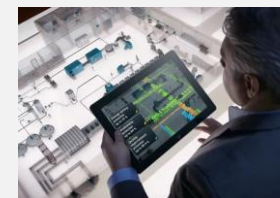


Фэшн индустрия



ТНП/Мебель

4 Цифровое моделирование изделий, материалов и технологических процессов, база данных по ПКМ



Цифровое моделирование

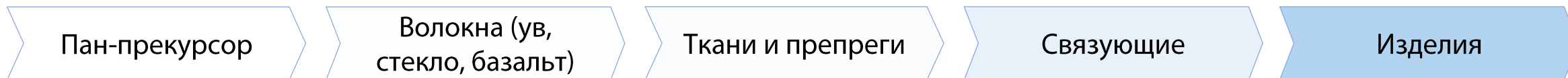


База данных



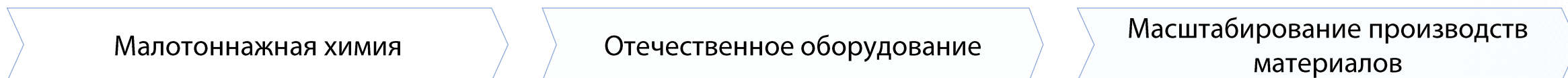
Дальнейшая задача — обеспечение полного технологического суверенитета в композитах

До 2022 Создана технологическая цепочка по композитам



Результат | Достигнут суверенитет по ключевым технологиям

До 2030



Цель | Полный технологический суверенитет, вхождение РФ в группу технологических лидеров



Инженеры
будущего

Будущее композитов

- Получение **максимального уровня** характеристик материалов
- Разработка **инновационных технологий** производства компонентов и готовых изделий
- Разработка **новых типов** композитных материалов с улучшенными характеристиками
- Развитие **новых методов производства** композитных материалов, которые позволяют снизить их стоимость и повысить их эффективность
- Разработка **новых способов применения** композитных материалов, которые позволяют расширить их использование в различных отраслях
- **Снижение себестоимости** производства
- Технологическая независимость





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

МАЛЕЦКАЯ МАРИЯ КОНСТАНТИНОВНА
РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТОВ
Композитный Дивизион, Госкорпорация «РОСАТОМ»