

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,  
металлургии и химической промышленности



# Обзор рынка углеволокна в России, СНГ и мире

**3 издание**

Москва  
октябрь 2022

## Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/32/536>

Общее количество страниц: 186 стр.

Стоимость отчета различных комплектаций поставки:

- 1. Базовая** - файл формата PDF - 96 тыс.рублей
- 2. Расширенная** - файлы формата PDF + Word - 102 тыс.рублей
- 3. Пользовательская** - файлы формата PDF + Word + первичные базы в Excel - 108 тыс.рублей
- 4. Представительская** - файлы формата PDF + Word + первичные базы в Excel + 2 экз. печатной версии подписанных, прошитых, с подписью генерального директора и скрепленных печатью компании - 113 тыс.рублей
- 5. Максимальная** - файлы формата PDF + Word + первичные базы в Excel + 2 экз. печатной версии подписанных, прошитых, с подписью генерального директора и скрепленных печатью компании + презентация, изготовленная на основании данных отчета в .ppt - 133 тыс.рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов Инфомайн, являются надежными, однако Инфомайн не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Инфомайн приложил все возможные усилия, чтобы проверить достоверность имеющихся сведений, показателей и информации, содержащихся в исследовании, однако клиенту следует учитывать наличие неустраняемых сложностей в процессе получения информации, зачастую касающейся непрозрачных и закрытых коммерческих операций на рынке. Исследование может содержать данные и информацию, которые основаны на различных предположениях, некоторые из которых могут быть неточными или неполными в силу наличия изменяющихся и неопределенных событий и факторов. Кроме того, в ряде случаев из-за погрешности при округлении, различий в определениях, терминах и их толкованиях, а также использования большого числа источников, данные могут показаться противоречивыми. Инфомайн предпринял все меры для того, чтобы не допустить очевидных несоответствий, но некоторые из них могут сохраняться.

Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. Инфомайн не проводит какую-либо последующую работу по обновлению, дополнению и изменению содержания исследования и проверке точности данных, содержащихся в нем. Инфомайн не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации.

Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения Инфомайн либо тиражироваться любыми способами. Заказчик имеет право проводить аудит (экспертизу) исследований рынков, полученных от Исполнителя только в компаниях, имеющих членство ассоциации промышленных маркетологов ПРОММАР (<http://www.prommar.ru>) или силами экспертно-сертификационного совета ассоциации ПРОММАР. В других случаях отправка исследований на аудит или экспертизу третьим лицам считается нарушением авторских прав.

## Содержание

<b>Аннотация.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Общая характеристика, сырье и технология производства .....</b>	<b>11</b>
1.1. Общая характеристика углеродных волокон.....	11
1.2. Сырье и технология производства углеродных волокон .....	22
1.3. Технология получения ПАН-прекурсора.....	29
<b>2. Обзор мирового рынка.....</b>	<b>35</b>
2.1. История развития отрасли .....	35
2.2. Динамика производства, основные игроки, структура потребления .....	37
2.3. Ценовой анализ .....	58
2.4. Прогноз развития мирового рынка углеволокна.....	59
<b>3. Производство углеволокна в СНГ (2010-2021 гг.) .....</b>	<b>61</b>
3.1. Обеспеченность сырьем.....	61
3.2. Требования к качеству.....	66
3.3. Производство углеродного волокна и материалов на его основе .....	69
3.3.1. Россия .....	69
3.3.2. Белоруссия .....	103
<b>4. Внешнеэкономические операции России с углеволокном (2010-2021 гг.) .....</b>	<b>110</b>
4.1. Экспорт углеродного волокна и материалов на его основе .....	111
4.2. Импорт углеродного волокна и материалов на его основе .....	118
<b>5. Анализ цен на продукцию из углеродного волокна в России (2013-2021 гг.) .....</b>	<b>129</b>
5.1. Импортные цены на углеволокно и материалы на его основе.....	129
5.2. Цены российских производителей на углеволокно и материалы на его основе.....	134
<b>6. Потребление углеволокна в России (2010-2021 гг.).....</b>	<b>138</b>
6.1. Баланс производства-потребления, отраслевая структура потребления углеволокна в России .....	138
6.2. Основные области потребления углеволокна, крупнейшие потребители .....	144
<b>7. Прогноз развития рынка углеволокна в России до 2030 г. ....</b>	<b>174</b>
<b>Приложение Контактные данные производителей углеродного волокна и материалов на его основе в СНГ .....</b>	<b>186</b>

## Список таблиц

- Таблица 1. Сравнительные характеристики армирующих волокон
- Таблица 2. Сравнительные характеристики углеродных волокон на основе различных видов сырья
- Таблица 3. Эволюция прочности углеволокна на основе пеков и различных видов ПАН волокон, ГПа
- Таблица 4. Сравнительные характеристики различных конструкционных материалов
- Таблица 5. Изменение мировых мощностей по выпуску углеродного волокна в 1992-2019 гг., тыс. т
- Таблица 6. Технические характеристики углеволокна производства компании TORAY
- Таблица 7. Технические характеристики углеволокна производства компании Toho Tenax
- Таблица 8. Технические характеристики углеволокна производства компании Hexcel
- Таблица 9. Мировые мощности по выпуску углеволокна на основе пеков
- Таблица 10. Технические характеристики пекового углеволокна производства Mitsubishi Chemical
- Таблица 11. Технические характеристики пекового углеволокна производства Nippon Graphite Fibre
- Таблица 12. Технические характеристики полиакрилонитрильных нитей производства АО «ВНИИСВ»
- Таблица 13. Технические характеристики нити углеродной в соответствии с ГОСТ 28008-88
- Таблица 14. Технические характеристики ленты углеродной конструкционной в соответствии с ГОСТ 28006-88
- Таблица 15. Объем производства продукции на основе углеродного волокна в России в 2010-2021 гг., т
- Таблица 16. Технические характеристики углеродного волокна производства ООО «Аргон»
- Таблица 17. Технические характеристики углеродных нитей производства ООО «Аргон»
- Таблица 18. Технические характеристики высокомодульных углеродных волокон производства ООО «Аргон»
- Таблица 19. Основные показатели финансово-экономической деятельности ООО «Аргон» в 2009-2021 гг., млн руб.
- Таблица 20. Технические характеристики углеродного волокна производства ООО «Алабуга-Волокно»
- Таблица 21. Основные показатели финансово-экономической деятельности ООО «Алабуга-Волокно» в 2012-2021 гг., млн руб
- Таблица 22. Виды дискретных волокон производства ООО «ЗУКМ»

- Таблица 23. Технические характеристики углеродных жгутов производства ООО «ЗУКМ»
- Таблица 24. Технические характеристики высокомодульных углеродных жгутов производства ООО «ЗУКМ»
- Таблица 25. Основные показатели финансово-экономической деятельности ООО «ЗУКМ» в 2009-2021 гг., млн руб.
- Таблица 26. Основные финансово-экономические показатели деятельности АО «Препрег-СКМ» в 2011-2021 гг., млн руб.
- Таблица 27. Основные финансово-экономические показатели деятельности ООО «Препрег-Дубна» в 2013-2021 гг., млн руб.
- Таблица 28. Показатели деятельности ООО «Порше Современные Материалы» в 2014-2021 гг., млн руб.
- Таблица 29. Технические характеристики углеродного волокна производства ООО «Балаково Карбон Продакшн»
- Таблица 30. Основные показатели деятельности ООО «Балаково Карбон Продакшн» в 2014-2021 гг., млн руб
- Таблица 31. Основные финансово-экономические показатели деятельности ООО «ИТЕКМА» в 2015-2021 гг., млн руб», млн руб
- Таблица 32. Основные области применения углеродных материалов производства ОАО «СветлогорскХимволокно»
- Таблица 33. Технические характеристики графитированных углеродных волокон производства ОАО «СветлогорскХимволокно»
- Таблица 34. Технические характеристики активированных углеродных волокон производства ОАО «СветлогорскХимволокно»
- Таблица 35. Объем экспорта углеродных материалов Белоруссии в 2013-2021 гг., т
- Таблица 36. Основные финансово-экономические показатели деятельности ОАО «СветлогорскХимволокно» в 2018-2021 гг., млн бел. руб
- Таблица 37. Объем экспорта российских производителей УВМ и виды продукции в 2010-2021 гг., т, тыс. \$
- Таблица 38. Объем экспорта УВМ в региональном разрезе в 2012-2021 гг., т
- Таблица 39. Объем экспорта ПКМ на основе углеродного волокна по видам продукции в региональном разрезе в 2019-2021 гг., т
- Таблица 40. Объем импорта УВМ в региональном разрезе в 2010-2021 гг., т, тыс. \$
- Таблица 41. Основные поставщики углеродных материалов в Россию в 2010-2021 гг., т
- Таблица 42. Основные импортеры углеродного волокна и материалов на его основе в РФ в 2012-2021 гг., т
- Таблица 43. Средние цены на некоторые виды импортной продукции из углеволокна в 2013-2021 гг., \$/кг
- Таблица 44. Цены на некоторые виды продукции ООО «Аргон» в 2016-2019 гг., руб./кг, без НДС

Таблица 45. Цены на углеродное волокно российских и зарубежных производителей в 2016-2022 гг., тыс. руб/кг, с НДС

Таблица 46. Средние экспортные цены на продукцию российских производителей в 2012-2021 гг., \$/кг

Таблица 47. Цены на некоторые виды продукции АО «Препрег-СКМ» в 2017-2022 гг., руб/пог. м

Таблица 48. Баланс производства-потребления углеродного волокна в РФ в 2015-2021 гг., т

Таблица 49. Баланс экспорта-импорта тканей/препрегов на основе углеродного волокна в РФ в 2015-2021 гг., т

Таблица 50. Баланс производства-потребления углеродного волокна и материалов на его основе в России в 2010-2021 гг., т

Таблица 51. Доля композитных материалов в различных видах техники, %

Таблица 52. Объем закупок углеродных материалов российскими компаниями в 2013-2021 гг., млн руб.

## Список рисунков

- Рисунок 1. Модуль упругости и прочность на растяжение различных материалов
- Рисунок 2. Теплопроводность и электросопротивление различных материалов
- Рисунок 3. Разновидности плетения конструкционных тканей
- Рисунок 4. Базовая схема изготовления препрега методом пропитки
- Рисунок 5. Изменение структуры волокна в процессе термообработки
- Рисунок 6. Схема производственного процесса получения углеродного волокна на основе ПАН
- Рисунок 7. Динамика мирового потребления углеродного волокна в 1970-2021 гг., тыс. т
- Рисунок 8. Отраслевая структура мирового потребления углеродного волокна, %
- Рисунок 9. Мощности основных мировых производителей углеволокна в 2015 г. и 2019 г., тыс. т
- Рисунок 10. Классификация углеродных волокон по качественным характеристикам и области их применения
- Рисунок 11. Эволюция использования композитных материалов в самолетах Boeing
- Рисунок 12. Применение композитных материалов в самолете Airbus A380
- Рисунок 13. Прогноз потребления углеродного волокна до 2024 г., тыс. т
- Рисунок 14. Динамика производства ПАН волокна ООО «Композит-Волокно» в 2011-2021 гг., т
- Рисунок 15. Динамика производства углеродного волокна в России в 2010-2021 гг., т
- Рисунок 16. Динамика производства углеволокна ООО «Аргон», т
- Рисунок 17. Динамика импорта ПАН-прекурсора (т) ООО «Алабуга-Волокно» и его средняя цена (\$/т) в 2015-2021 г.
- Рисунок 18. Динамика производства и экспорта углеродного волокна ООО «Алабуга-Волокно» в 2015-2021 гг., т
- Рисунок 19. Динамика экспорта АО «Препрег-СКМ» в 2015-2021 гг., т
- Рисунок 20. Динамика экспорта ООО «Препрег-Дубна» в 2017-2021 гг., т
- Рисунок 21. Динамика и структура экспорта углеродных материалов ОАО «СветлогорскХимволокно» в 2013-2021 гг., т
- Рисунок 22. Динамика внешнеторговых операций с углеволокном и материалами на его основе в 2010-2021 гг., т
- Рисунок 23. Динамика экспорта углеволокна и материалов на его основе в 2010-2021 гг., т, млн \$
- Рисунок 24. Динамика экспорта углеродного волокна и материалов на его основе
- Рисунок 25. Динамика импорта материалов на основе углеволокна в 2007-2021 гг., т, млн \$
- Рисунок 26. Региональная структура российского импорта углеродного волокна и материалов в 2010-2021 гг., %
- Рисунок 27. Товарная структура импорта углеволокна и материалов на его основе в 2016-2021 гг.

Рисунок 28. Отраслевая структура потребления импортных УВМ в России в 2016-2021 гг., %

Рисунок 29. Динамика производства, потребления, экспорта и импорта углеродного волокна и материалов на его основе в России в 2010-2021 гг., т

Рисунок 30. Динамика потребления импортных углеродных материалов для производства лопастей ВЭУ в РФ в 2018-2021 гг., т

Рисунок 31. Структура потребления углеволокна в России в 2016-2021 гг., %

Рисунок 32. Структура мирового рынка композитных материалов в натуральном выражении, %

Рисунок 33. Объем потребления композитных изделий на душу населения в разных странах, кг

Рисунок 34. Установленная мощность ветроэлектростанций топ-10 стран в 2018-2021 гг., МВт (MW)

Рисунок 35. Прогноз развития рынка углеродного волокна в России до 2030 г., т

## Аннотация

Настоящий отчет является *третьим изданием* исследования рынка углеродного волокна в мире и странах СНГ.

**Цель исследования** – анализ рынка углеродного волокна в мире и странах СНГ.

**Объектом исследования** является углеродное волокно, а также материалы на его основе.

**Хронологические рамки исследования:** 2010-2021 гг.; прогноз – 2022-2030 гг.

**География исследования:** Российская Федерация, Белоруссия – подробный анализ рынка; мировой рынок – общие сведения о динамике и характеристиках.

Данная работа является *кабинетным исследованием*. В качестве источников информации использованы данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат), данные таможенной статистики РФ, данные Национального статистического комитета Республики Беларусь, материалы отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, интернет-сайтов производителей и потребителей углеродного волокна и материалов на его основе.

*Отличительной особенностью данной работы по сравнению с другими исследованиями, представленными на маркетинговом рынке России, являются более широкие временные рамки – мониторинг рынка углеродного волокна компания «Инфомайн» ведет с 2010 г., а также географическая широта исследования – в обзоре представлен анализ рынка углеродного волокна в странах СНГ, а также приведен краткий анализ мирового рынка.*

Отчет состоит из **7** глав, содержит **186** страниц, **52** таблицы, **35** рисунков и приложение.

**В первой главе** приведены общие сведения об углеродных волокнах, их технических характеристиках и областях применения. Также в этой главе рассмотрены основные виды сырья для получения углеродных волокон и описана технология их производства.

**Вторая глава** отчета посвящена обзору мирового рынка углеродного волокна. В ней рассмотрена история развития отрасли, приведены данные об основных мировых производителях данной продукции с указанием их производственных мощностей и характеристик выпускаемой продукции. В этой главе приведен ценовой анализ углеродных волокнистых материалов, отраслевая структура потребления углеродного волокна и прогноз развития мирового рынка.

**В третьей главе** исследован рынок углеродного волокна в СНГ. Приведены данные об основных игроках рынка, их производственных мощностях, номенклатуре выпускаемой продукции, динамике производства в 2010-2021 гг.

**В четвертой главе** проанализированы данные о внешнеэкономических операциях России с углеродным волокном и материалами на его основе в 2010-2021 гг. Определены основные экспортеры и направления экспортных поставок, приведена региональная структура импорта данной продукции, выявлены крупнейшие российские импортеры.

**В пятой главе** проведен ценовой анализ на российском рынке углеродного волокна. В ней приведены данные об экспортных, импортных ценах на продукцию, а также ценах российских производителей на внутреннем рынке.

**Шестая глава** посвящена потреблению углеродного волокна в России. В этой главе приведен баланс производства, потребления, экспорта и импорта данной продукции в России в 2010-2021 гг., оценена отраслевая структура потребления, определены основные потребители углеродного волокна и продукции на его основе.

**В седьмой главе** дан прогноз развития российского рынка углеродного волокна до 2030 г.

**В Приложении** приведена контактная информация производителей углеродного волокна и материалов на его основе в СНГ.

**Целевая аудитория исследования:**

- участники рынка углеродного волокна и материалов на его основе – производители, потребители, трейдеры;
- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль *справочного пособия* для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынке углеродного волокна и материалов на его основе.

## 1. Общая характеристика, сырье и технология производства

### 1.1. Общая характеристика углеродных волокон

Композитные материалы все более широко применяются в различных отраслях промышленности, заменяя традиционные металлы, – в авиации, автомобилестроении, ветроэнергетике, судостроении, индустрии спортивных товаров и товаров народного потребления.

Углеродные волокнистые материалы (УВМ) и композиционные материалы на их основе (карбоволокниты, углекомпозиаты), представляют собой наиболее прогрессивные конструкционные материалы XXI века. Это уникальные продукты, созданные на базе высоких технологий для обеспечения выпуска авиакосмической и оборонной техники, атомного машиностроения.

Со времен СССР эти материалы отнесены к группе стратегических, определяющих технологическую независимость и обороноспособность страны. С использованием композиционных материалов, усиленных УВМ, созданы современные самолеты гражданской и военной авиации, объекты космической техники, ракетные комплексы и другие изделия оборонной техники. Обладание современными технологиями серийного производства этих материалов и степень их применения в промышленности являются критерием развитости научно-промышленного потенциала любого государства, служит гарантом успешного суверенного развития.

Углеродное волокно (международное название Carbon Fiber) – материал, состоящий из тончайших нитей диаметром 6-8 микрон, образованных преимущественно атомами углерода, содержание углерода в волокнах составляет 92,0-99,9%. В структуре волокна атомы углерода объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу.

Углеродное волокно получают путем термической обработки органических волокнистых полимеров, не плавящихся при термообработке.

Углеродные волокна обладают рядом уникальных свойств (прочность, долговечность, температурный диапазон применения), что выделяет их в ряду других армирующих волокон (табл. 1). При этом углеродные волокна являются и самыми дорогими.

Углеродные волокна (УВ) обладают низкой плотностью (1,7 г/см<sup>3</sup> против 2,8 г/см<sup>3</sup> у алюминия и 7,8 г/см<sup>3</sup> у стали) и высокими упруго-прочностными свойствами (модуль упругости у некоторых марок достигает 900 ГПа, а предел прочности – до 4000 МПа и выше).

Углеродные волокна имеют исключительно высокую теплостойкость, в инертной или восстановительной среде они выдерживают температуру 1500-2000°C и даже до 2500-3000°C, что позволяет применять их для создания уникальных теплозащитных и теплоизоляционных материалов.

Углеродный войлок – единственно возможная термоизоляция в вакуумных печах, работающих при температуре 1100°C и выше.

**Таблица 1. Сравнительные характеристики армирующих волокон**

Показатель	Е-стекло- волокно	Базальтовое волокно	S-стекло- волокно	Арамидное волокно	Углеродное волокно
Прочность на растяжение, ГПа	1,4-2,6	2,5-3,0	3,1-4,3	2,9-3,4	3,5-7,0
Модуль упругости, ГПа	72-76	84-87	87-90	70-140	230-900
Относительное удлинение при разрыве, %	4,7	3,1	5,3	2,8-3,6	1,5-2,0
Диаметр волокна, мкм	6-21	6-21	6-21	6-15	5-15
Текс	40-4200	60-4200	400-4200	600-1800	600-2400
Температура применения, °С	-50 – +380	-260 – +600	-50 – +300	-50 – +290	-50 – +700
Стоимость, \$/кг	1,1–1,4	2,5–3,0	2,5–3,5	25	15–500

Источник: *Basalt Fiber & Composite Materials Technology Development Co., ООО «Каменный век»*

Углеродные волокна обладают высокой атмосферостойкостью, устойчивы к агрессивным химическим средам, однако окисляются при нагревании в присутствии кислорода. На воздухе температура эксплуатации не превышает 300-400°С. Нанесение на УВ тонкого слоя карбидов, в частности SiC, или нитрида бора позволяет в значительной мере устранить этот недостаток.

Благодаря высокой химической стойкости углеволокнистые материалы используют для фильтрации агрессивных жидкостей и газов, изготовления защитных костюмов, средств индивидуальной защиты органов дыхания и др. Широко используются УВМ в качестве уплотнителей и сальниковых набивок.

В зависимости от условий термообработки можно получить углеродные волокна с различными электрофизическими свойствами, что позволяет их использовать в качестве разнообразных по назначению электронагревательных элементов, для изготовления термопар, конденсаторов и пр.

Высокотемпературная активация углеродных волокон в среде водяного пара или углекислого газа позволяет получать материал с развитой активной поверхностью (300-1500 м<sup>2</sup>/г), являющийся прекрасным сорбентом. Нанесение на волокно катализаторов позволяет создавать каталитические системы с развитой поверхностью.

Углеродное волокно применяют для армирования композиционных, теплозащитных, хемостойких и других материалов в качестве наполнителей в различных видах углепластиков.

Увеличение объемов производства и расширение областей применения композиционных материалов, армированных волокнами, является общемировой тенденцией.

По сравнению с традиционными конструкционными материалами (алюминий, сталь и др.) композиты на основе волокон обладают рядом преимуществ – коррозионной стойкостью, химической инертностью, низким коэффициентом теплопроводности, высокими удельными механическими

характеристиками, малым удельным весом, высокой температурой эксплуатации, долговечностью, низкими затратами на монтаж конструкций.

Интерес к непрерывным волокнам возник в середине XX века, когда для нужд ракетной, атомной техники, электроники стали необходимы материалы с определенными свойствами, например, с прочностью легированной стали, но значительно более легкие и теплостойкие.

В настоящее время для производства композитных материалов на основе волокон наиболее широко используется стекловолокно, мировое производство которого составляет 3-3,5 млн т/год. Промышленное производство стекловолокна освоено еще в 40-е гг. прошлого столетия, технология хорошо отработана. Однако по своим характеристикам стекловолокно не удовлетворяло требованиям для специальных применений.

Поиск материалов с более высокими техническими характеристиками привел к появлению таких промышленных волокон, как арамидное, углеродное, карбидкремниевое, базальтовое и др.

Необходимо отметить, что в зависимости от исходного сырья (прекурсора) свойства полученных углеродных волокон значительно отличаются (табл. 2).

**Таблица 2. Сравнительные характеристики углеродных волокон на основе различных видов сырья**

Тип исходного сырья	Модуль упругости, ГПа	Прочность, ГПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Диаметр, мкм
ПАН волокно	210- 600	2,4-7,0	1,75-1,9	4-8
пековое волокно	420-960	1,0-3,8	1,9-2,2	7-11
вискозная нить	20-60	0,35-0,7	1,4-1,5	6-10

*Источник: обзор специальной литературы*

В настоящее время в мировой практике наиболее широко в качестве сырья для получения углеродных волокон используются полиакрилонитрильные (ПАН) волокна или жгуты, в значительно меньших объемах производится углеволокно на основе мезофазных пеков и гидратцеллюлозы (вискозы).

Углеродное волокно на основе гидратцеллюлозных волокон по своим свойствам и областям применения очень близко к графитовым волокнам. Если волокно на основе ПАН применяется как конструкционный композит, где важна высокая прочность, то вискозное углеволокно дополняет и заменяет графит в высокотемпературных процессах.

Углеродные волокна на основе гидратцеллюлозы используются для изготовления терморпар, конденсаторов, экранов, поглощающих электромагнитное излучение, изделий для электро- и радиотехники.

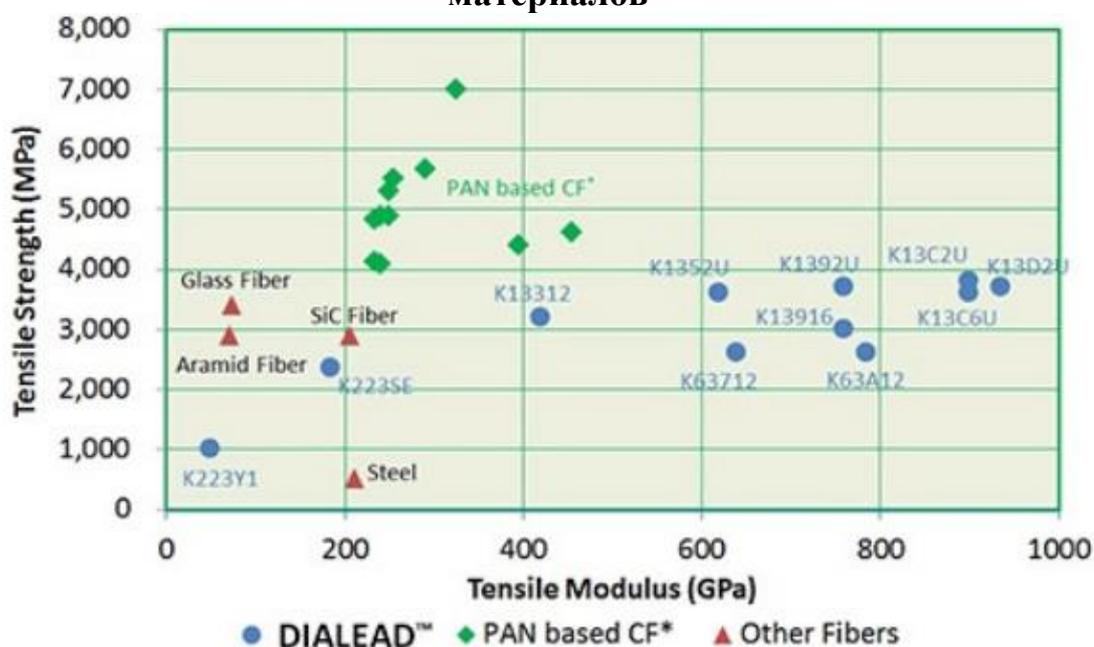
Кроме того, только этот вид углеродного волокна обладает биологической совместимостью, что позволяет применять его для изготовления специальных

ранозаживляющих материалов. Также УВ применяются для очистки крови и других биологических жидкостей.

Особенностью волокна *из мезофазного пека* является предельно высокая ориентация графитовых кристаллов по направлению длины волокна, что приближает пековое волокно по свойствам к графиту и придает ему чрезвычайно высокий модуль упругости (теоретически достижима величина в 1000 ГПа) (рис. 1). Также волокна на основе пеков обладают высокой теплопроводностью (до 900 Вт/м\*К) и хорошими трибологическими и абляционными свойствами.

На этих свойствах и основывается большинство областей применения пековых волокон.

**Рисунок 1. Модуль упругости и прочность на растяжение различных материалов**



Прим.: SiC fiber – карбидкремниевое волокно, PAN based CF – углеволокно на основе ПАН, DIALEAD – углеволокно на основе пеков производства Mitsubishi Chemical

Источник: данные Mitsubishi Chemical

Основными отраслями-потребителями пековых волокон являются: космическая отрасль (для теплообменных систем, абляционных деталей, рефлекторов, ферм солнечных батарей), спортивное машиностроение (тормозные диски, карданные валы), робототехника (при производстве больших захватов/манипуляторов), станкостроение (при производстве валов), радиоэлектроника (теплообменные системы) и при изготовлении трибологических изделий.

Также пековое волокно получило применение при производстве электродов.

Пековое углеволокно более предпочтительно, чем волокно на основе ПАН в композитах с керамической матрицей за счет большей устойчивости к

окислению. В композитах с металлической матрицей лучше работает ПАН из-за меньшей склонности к образованию карбидов.

По сравнению с ПАН-волокном пековое волокно более устойчиво к кислотным и щелочным средам, воздействию высоких температур в среде кислорода. Пековое волокно обладает более высокой электропроводностью и лучше пропускает радиационное излучение.

По мере развития отрасли углеродных волокон производителям удалось существенно улучшить прочностные характеристики продукции (табл. 3).

**Таблица 3. Эволюция прочности углеволокна на основе пеков и различных видов ПАН волокон, ГПа**

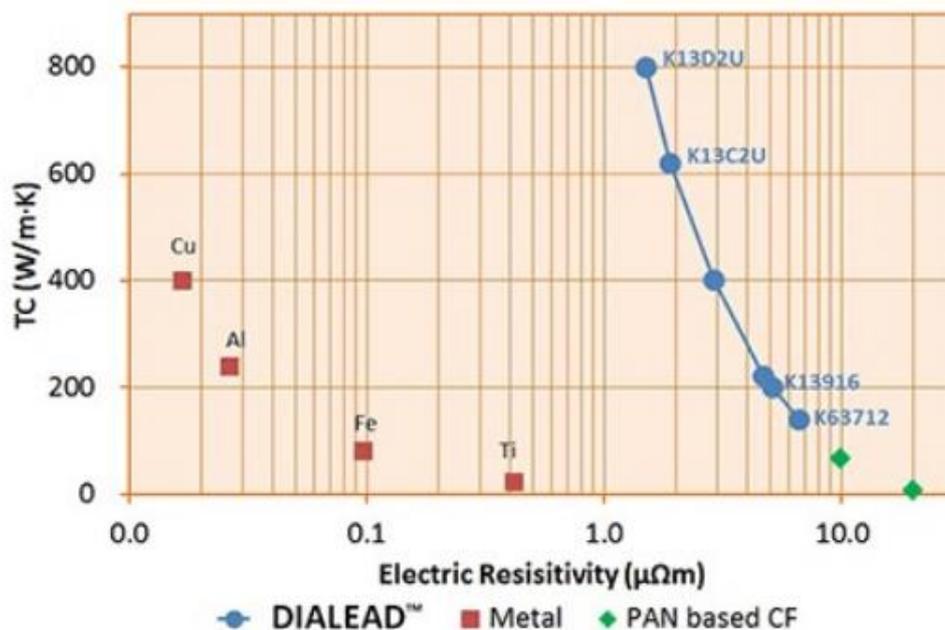
Тип волокна	1975	1985	1995	2005	2008
ПЕК	1,0	2,0	2,8	3,0	3,1
ПАН (Тонкий жгут)	2,0	4,0	5,0	5,2	6,9
ПАН (Толстый жгут)	2,0	3,0	3,2	3,8	4,0

*Источник: обзор специальной литературы*

Пековое волокно имеет очень высокую теплопроводность (по направлению волокна) – теоретически до 2400 Вт/м\*К (на практике – не выше 900 Вт/м\*К, но даже эта величина в 2 раза превышает теплопроводность меди). Теплопроводность углеволокна на основе ПАН составляет около 100 Вт/м\*К (рис. 2).

Столь высокие показатели теплопроводности позволяют использовать пековое волокно в элементах тормозов, соплах ракет, диффузорах реактивных двигателей, радиаторах теплообменников спутников – материал очень эффективно отводит тепло от греющих узлов. Кроме того, пековое волокно может иметь нулевой и даже отрицательный коэффициент теплового расширения.

**Рисунок 2. Теплопроводность и электросопротивление различных материалов**



Прим.: TC – теплопроводность

Источник: данные Mitsubishi Chemical

Обратная сторона высокомодульности пекового волокна – высокая хрупкость, вызванная графитоподобностью. Наиболее прочное пековое волокно имеет прочность на растяжение не выше 3,9 ГПа. А работа по повышению прочности требует вмешательства во все процессы производства волокна от прекурсора до нанесения замасливателей, что значительно удорожает конечный продукт.

В связи с тем, что пек является природным сырьем, для него характерна нестабильность свойств – характеристики волокна меняются в зависимости от партии пека.

Большая часть углеродных волокон (до 90% от суммарного объема производства) перерабатывается в композиционные (композитные) материалы.

Благодаря уникальным свойствам углеродного волокна композиционные материалы на его основе обладают экстремально высокими характеристиками – прочностью, сопротивлением усталости, модулем упругости, химической, радиационной и коррозионной стойкостью, которые в разы превышают аналогичные показатели стали при значительно меньшей массе (табл. 4).

**Таблица 4. Сравнительные характеристики различных конструкционных материалов**

Конструкционный материал	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Композит на основе углеволокна	1900-3700	120-300	1,5
Композит на основе стекловолокна	870	40	2,2
Алюминиевый сплав	450	73	2,7
Титан	950	110	4,5
Сталь	200-980	205	7,8

Источник: данные компании Umatex Group

Наибольшее распространение получили композиционные материалы на основе углеродного волокна с полимерной матрицей – углепластики. В качестве *связующего* в углепластике могут применяться термореактивные синтетические смолы (эпоксидные, фенольные, полиэфирные, полиамидные и др.), термопласты (полиамиды, поликарбонаты, полисульфоны, полиэфир и др.). *Армирующим наполнителем* в композитных материалах могут быть нити, жгуты, ленты, тканые и трикотажные или нетканые полотна, рубленые волокна.

Уровень свойств углепластиков находится в зависимости от прочностных характеристик армирующего наполнителя, качества его поверхностной обработки, упругопрочностных и когезионных свойств полимерной матрицы.

Углепластики превосходят по техническим показателям другие композиционные материалы (стеклопластики, базальтопластики, органоволокниты), а также обладают малой ползучестью, хорошей стабильностью размеров, обусловленной низкими температурными коэффициентами линейного расширения.

Среди композиционных материалов (КМ) углепластики обладают наибольшей усталостной прочностью, которая сохраняется при пульсирующем растяжении и изгибе. Кроме того, по сравнению с другими КМ углепластики обладают меньшими трещиностойкостью и остаточной прочностью при наличии дефекта.

Углепластики широко используются в качестве конструкционных материалов в авиакосмической отрасли, автомобиле- и судостроении, медицинской технике, при изготовлении спортивных товаров (велосипеды, хоккейные клюшки, лыжные палки и пр.) и товаров народного потребления (удочки и др.).

Углеродные волокна также широко используются в композитных материалах с другими видами связующих – керамическими, углеродными, металлическими матрицами. Данные композиты способны выдерживать более жесткие температурные воздействия, чем углепластики.

Особое место среди таких материалов занимают *углерод-углеродные композиты*, относящиеся к группе композитов особого назначения.

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) – общее название широкого класса материалов, состоящих из углеродной или графитовой матрицы, армированной углеродными или графитовыми волокнами. УУКМ имеют низкий удельный вес, высокую механическую прочность при повышенных температурах, высокую стойкость к термическим ударным нагрузкам, абляционную стойкость. Преимущества этих композитов в сравнении с альтернативными высокотемпературными конструкционными материалами, такими как пироуглерод и пирографит, поликристаллические графиты, вольфрам, тантал, молибден и др., особенно важны при работе в условиях предельно высоких температур и скоростных газовых потоков.

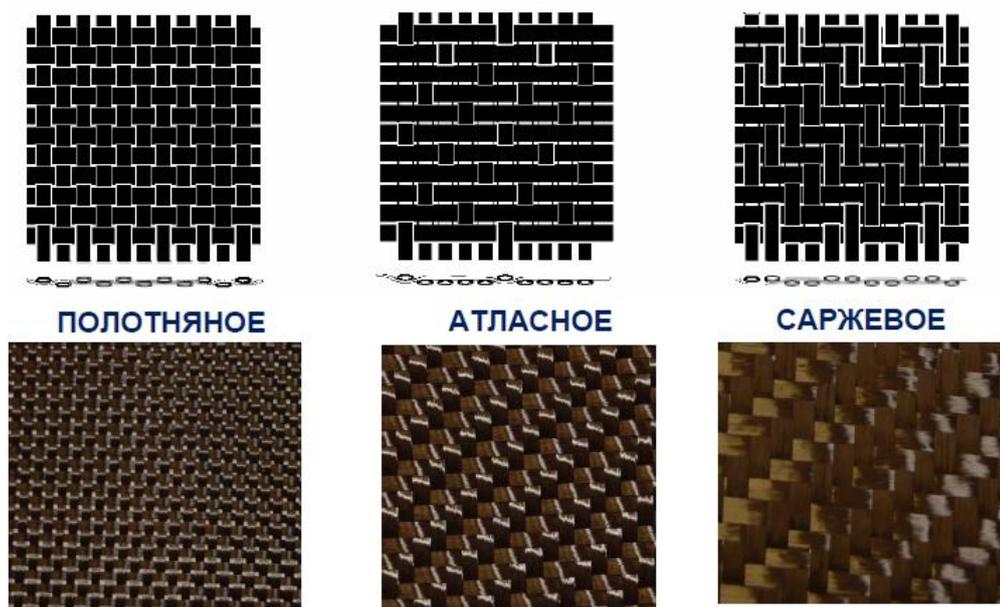
Такие условия, прежде всего, возникают в ракетно-космической технике. Например, в твердотопливном ракетном двигателе (ТТРД) температура газового потока достигает 2500°C и более, причем в продуктах горения твердого топлива содержатся абразивные частицы. Абляция и эрозионный унос материала в критическом сечении ТТРД сопровождается уменьшением тяги двигателя, повышением расхода топлива и может приводить к авариям.

Углерод-углеродные композиционные материалы применяются для изготовления изделий, работающих в наиболее сложных термически напряженных условиях, таких как: критические детали двигателей; высокотемпературные нагреватели и конструкции; тормозные диски современных высокоскоростных и тяжелогрузных гражданских самолетов и автомобилей.

Углеродные волокна могут выпускаться в разнообразном виде: штапелированные (резаные, короткие) нити, непрерывные нити, на основе которых производят различные тканые и нетканые материалы – войлок, ткани (рис. 3), ленты, жгуты, холсты и пр.

Изготовление всех видов текстильной продукции происходит по обычным технологиям, так же как для других видов волокон. Вид текстильной продукции определяется предполагаемым способом использования УВ в композиционном материале, точно так же, как и сам метод получения композита. Основные методы получения композитов, армированных углеродными волокнами, являются обычными для волокнистых материалов: выкладка, литье под давлением, пултрузия и другие.

**Рисунок 3. Разновидности плетения конструкционных тканей**



*Источник: обзор специальной литературы*

В процессе дальнейшей переработки углеволокнистых материалов получают полуфабрикаты для производства композитных изделий – препреги. По некоторым оценкам, до 55% производимого углеродного волокна перерабатывается в препреги.

*Препрег* – материал, получаемый пропиткой армирующей волокнистой основы дозированным количеством равномерно распределенного полимерного связующего (рис. 4).

**Рисунок 4. Базовая схема изготовления препрега методом пропитки**



*Источник: обзор специальной литературы*

Препреги производят двумя основными способами: методом пропитки и методом ламинирования, периодическим или непрерывным способами.

В готовые изделия препреги перерабатываются путем намотки, ручной выкладки с последующим прессованием, вакуумным или автоклавным формованием и т.п.

Экспертами отмечается тенденция снижения использования в настоящее время препрегов из стандартных тканей в сторону увеличения потребления препрегов из однонаправленных лент, благодаря внедрению автоматизированных способов выкладки из препрегов (ATL) и раскладки волокна (AFP) деталей и агрегатов из композиционных материалов.

Прогнозируется также увеличение спроса на непрепреговые типы углеродных материалов, прежде всего на мультиаксиальные ткани, в связи с развитием технологий с введением жидких смол – RTM (технология закрытого формования), RFI (инфузионная технология), RIM (реакционно-инжекционное формование). Данные технологии продолжают совершенствоваться и получают развитие благодаря показателям снижения стоимости изготовления деталей и агрегатов из композиционных материалов.

Одними из основных механических характеристик углеродных волокон являются модуль упругости и прочность на растяжение.

По этим свойствам углеродные волокна можно условно разделить на несколько групп, каждая из которых имеет свои области применения – высокомодульные (>500 ГПа), среднемодульные (200-500 ГПа), стандартные (низкомодульные, 100 ГПа) и высокопрочные (>4 ГПа).

Также углеродные волокна можно классифицировать по окончательной температуре обработки – I-й тип (>2000°C), II-й тип (1500°C) и III-й тип (1000°C). Как правило, углеродное ПАН-волокно II-го типа относится к высокопрочным волокнам, а высокомодульные углеродные волокна относятся к I-му типу.

Основными характеристиками углеродных жгутов, состоящих из тысяч тончайших непрерывных элементарных нитей (филаментов), являются диаметр монофиламентов и текс. Обычно производители выпускают углеволокно с диаметром элементарных нитей 5-7 мкм.

Текс (международное обозначение tex) – применяемая в текстильной промышленности внесистемная единица линейной плотности. Текс – это линейная плотность волокна, она определяется как масса в граммах 1000 м волокна. 1 текс равен линейной плотности такого однородного тела (волокна, нити и т. п.), масса которого равна 1 г, а длина – 1000 м.

Число нитей в жгуте обозначается таким образом: 1К, 3К, 6К и т.д., где К = 1000, т.е. волокно номиналом 12К – это углеродное волокно с 12000 элементарных нитей.