

Дорожная карта «Использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе»

Дорожная карта «Использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе» (далее — Карта) представляет собой обобщающий документ, который отражает многоуровневую систему стратегического развития предметной области в рамках единой временной шкалы и содержит показатели экономической эффективности перспективных технологий и продуктов, обладающих высоким потенциалом спроса и привлекательными потребительскими свойствами. Дорожная карта разработана на основе данных экспертного исследования, а также исследования российских и зарубежных аналитических материалов.

Карта описывает структуру спроса на углеродное волокно и указывает перспективные рынки для продуктов на их основе. Дорожная карта оценивает возможности технологий по обеспечению ключевых потребительских свойств углеродных волокон, позволяющие сформировать существенные конкурентные преимущества для продуктов, созданных с их применением.



Общая характеристика предметной области

Углеродное волокно (углеволокно, УВ) — наноструктурированный органический материал, содержащий 92–99.99% углерода и обладающий высокими значениями прочности и модуля упругости.

В настоящее время наибольшее распространение получили углеродные волокна, которые используются в качестве армирующих наполнителей композитов и являются наиболее перспективными конструкционными материалами для создания ответственных изделий.

Дорожная карта рассматривает четыре основных вида углеродных волокон, имеющих необходимые показатели для широкого практического освоения в долгосрочной перспективе:

1. на основе полиакрилонитрильного (ПАН) волокна;
2. на основе вискозного волокна;
3. на основе пекового волокна;
4. волокно из газовой фазы.

Конкурентные преимущества каждого из типов углеволокна приведены в *Таблице 1*.

Таблица 1

Сравнение видов углеродных волокон

| | Вид углеродного волокна | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | на основе ПАН волокна | на основе вискозного волокна | на основе пекового волокна | волокно из газовой фазы |
| Прочность, ГПа | 1.8–7.0 | 0.35–0.70 | 1.4–4.0 | 1.0–4.0 |
| Модуль упругости, ГПа | 200–600 | 20–60 | 140–930 | 200–300 |
| Цена, \$/кг | 40 | 20 | 300 | нет данных |
| Объем рынка потребления | ■■■ ¹ | ■□□ | ■□□ | ■■□ ² |
| Отработанность технологии | ■■■ | ■■□ | □□□ | □□□ |
| Выход волокна из сырья | ■■■ | ■□□ | ■■□ | □□□ |
| Наличие сырья и производства в РФ | ■■■ | ■□□ | □□□ | □□□ |
| Биосовместимость | □ | ■ | □ | □ |

Согласно результатам исследования, для углеродных волокон на основе ПАН существует наиболее широкий рынок — от массовых до специальных применений. Эксперты считают целесообразным использование углеродных волокон на основе вискозы в медицине, а также в тех областях, где применение именно этого типа УВ установлено нормативно. Волокна на основе пека имеют достаточно ограниченное применение, главным образом специального характера (в частности, возможно сочетание волокон на основе ПАН и пека при производстве газовых центрифуг).

Технология производства углеродных волокон из газовой фазы в настоящее время находится в стадии разработки, поэтому такие волокна на рынке отсутствуют. Однако, как показало исследование, углеродное волокно из газовой фазы имеет перспективы широкого применения, что объясняется его ожидаемой низкой ценой при сравнительно высоких характеристиках.

Углеволоконистые композиты — многосложные структуры, образованные комбинацией углеродных волокон как армирующих элементов и связующего (матрицы). Механические и другие свойства композита определяются тремя основными параметрами: высокой прочностью углеродного волокна, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица–волокно.

Композиты на основе углеродных волокон отличаются высокими значениями трех основных показателей любой конструкции — прочностью, жесткостью и низким

¹ Знак «■» — наличие признака. Обозначение степени показателя: ■■■ — высокая; ■■■□ — средняя; ■□□ — низкая; □□□ — показатель отсутствует.

² Углеродных волокон из газовой фазы в настоящее время на рынке нет. В перспективе возможно появление широкого рынка.

удельным весом. Углеродные волокна превосходят все известные волокнистые наполнители композитов по значениям прочности и модуля упругости. В результате упруго-прочностные характеристики композитов на их основе значительно превышают аналогичные показатели алюминия и стали. При этом удельный вес углеродных волокон не превышает 2 г/см³, что позволяет получать конструкции вдвое легче алюминиевых и впятеро легче стальных.

Дорожная карта рассматривает четыре основных вида углеволокнистых композитов, имеющих необходимые показатели для широкого практического освоения в долгосрочной перспективе:

1. композиты с полимерной матрицей (углепластики);
2. углерод-углеродные композиты;
3. композиты с металлической матрицей;
4. композиты с керамической матрицей.

Сравнительные характеристики композитов приведены в *Таблице 2*.

Таблица 2

Сравнение видов углеволокнистых композитов

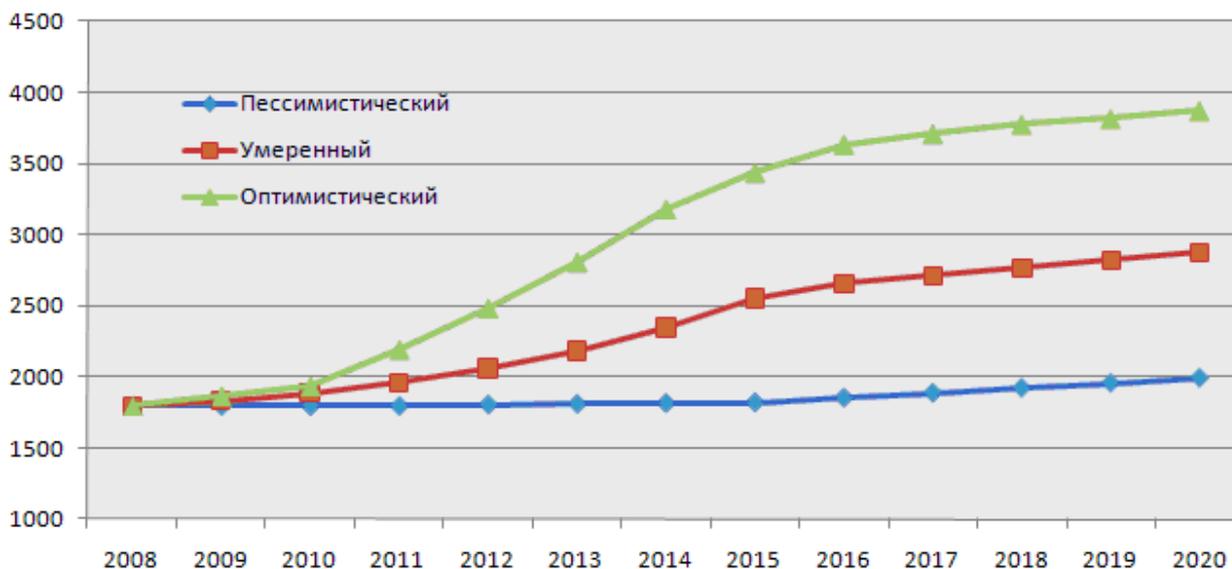
| | Вид углеволокнистого композита | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | С полимерной матрицей (углепластики) | Углерод-углеродные композиты | С металлической матрицей | С керамической матрицей |
| Прочность | 0.9-3.5 ГПа | ■ ■ □ | ■ □ □ | ■ ■ □ |
| Модуль упругости | ■ ■ ■ | ■ ■ □ | ■ ■ □ | ■ □ □ |
| Технологический задел | ■ ■ □ | ■ ■ ■ | ■ □ □ | □ □ □ |
| Простота технологии | ■ ■ ■ | ■ □ □ | □ □ □ | □ □ □ |
| Хемо- и термостойкость | ■ □ □ | ■ ■ □ | ■ □ □ | ■ ■ □ |
| Объем рынка потребления | ■ ■ ■ | ■ ■ □ | ■ □ □ | ■ □ □ |

Таким образом, наиболее широкий потенциальный рынок имеют углепластики (композиты с полимерной матрицей) за счет высоких физико-химических характеристик и относительной простоты изготовления. Углерод-углеродные композиты займут нишу специализированного применения, в особенности в областях, где существует необходимый технологический задел (например, тормозные диски). Композиты с металлической матрицей будут применяться в авиационной промышленности, а композиты с керамической матрицей будут использоваться в условиях высоких температур.

Мировой рынок углеродного волокна

По результатам исследования выявлены три возможных сценария развития мирового рынка углеволокна (рис. 1).

Рис. 1. Мировой рынок углеродного волокна (млн. долл. США)

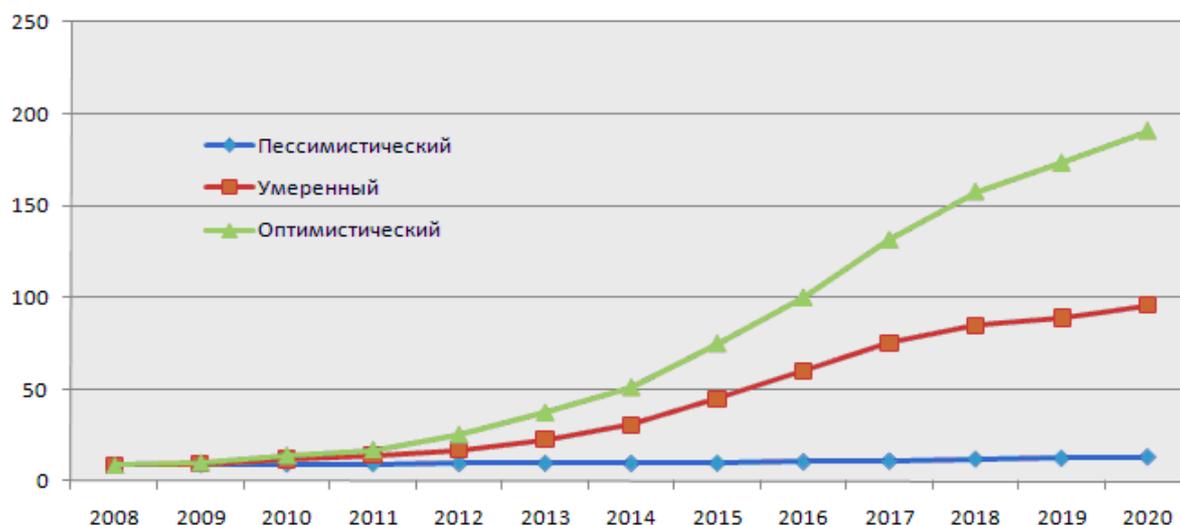


- **Оптимистический сценарий** предполагает, что глобальный экономический кризис проявится в сокращении темпов роста объема рынка УВ до 10% (или возможно даже сохранении существующих темпов роста в 15%). Затем вместе с возобновлением роста мировой экономики темпы увеличения рынка в реальном выражении восстановятся и составят 20–25% в год. Тем не менее, за счет снижения цены темп роста в денежном выражении окажется меньше — 10–15%. Основными движущими силами рынка будут: 1) рост спроса на УВ (в т. ч. в связи с появлением соответствующих требований и нормативов); 2) развитие и совершенствование технологий; 3) снижение цены углеволокна.
- **Умеренный сценарий** исходит из того, что после снижения темпов до 5% в 2009–2010 гг. рост объема рынка возобновится. В среднем темпы роста в 2013–2015 гг. в реальном выражении будут составлять 10–15%, а в денежном выражении за счет снижения цены рынок будет расти на 5–10%. Основными факторами, способствующими развитию, станут поддержка стратегически важных отраслей, развитие инновационных направлений и постепенный рост спроса, связанный с нуждами оборонно-промышленного комплекса.
- **Пессимистический сценарий** основан на предположении о том, что проблемы в мировой экономике сильно отразятся в первую очередь на наукоемких отраслях. В этом случае в ближайшие два года темпы роста рынка прогнозируются на уровне 2–3%, а далее рост будет носить скорее «инфляционный» характер — на уровне 5–6% годовых. Однако эксперты оценивают вероятность реализации пессимистического сценария в долгосрочной перспективе как низкую.

Российский рынок углеродного волокна

В процессе исследования определены три возможных сценария развития российского рынка углеволокна (рис. 2).

Рис. 2. **Российский рынок углеродного волокна (млн. долл. США)**



- **Оптимистический сценарий** предполагает, что потребление УВ в России по структуре будет соответствовать мировому, а производство выйдет на новый качественный, количественный и ценовой уровень. По этому сценарию темпы роста к 2013 г. составят в среднем 45–50% в год. При этом более вероятен не плавный рост, а резкий скачок. После 2017 г. планируется выход на среднемировые темпы роста в 10–20%. В среднесрочной перспективе экспорт из России может составить порядка 20% от общего объема производства УВ в стране. К 2020 г. производство углеродных волокон будет составлять около 5% мирового объема.
- **Умеренный сценарий** основан на предположении, что в России будет производиться порядка 3% мирового объема УВ к 2020 г., из них 5–10% будут поставляться на экспорт. Для гражданских нужд появится отечественное производство среднего по характеристикам волокна при сохранении позиций в производстве высокомодульного волокна. К 2013 г. предполагается рост объема выпуска УВ до 600 тонн в год, что соответствует среднегодовому темпу прироста в 30–35%. Однако фактически такой равномерный рост маловероятен: эксперты прогнозируют, что в 2013 г. (год завершения федеральной целевой программы по малотоннажной химии) произойдет сильный количественный скачок. При этом темп роста в 2013–2017 гг. может даже несколько увеличиться, а далее рост будет находиться в пределах 10–15% в год.
- **Пессимистический сценарий** предполагает, что Россия не обладает необходимыми ресурсами для выхода на значительные объемы и высокий уровень качества продукции: к 2020 г. в стране будет производиться не более 0.5% мирового объема УВ. Экспортные перспективы по качеству и цене являются неопределенными, и рост внутреннего спроса на УВ, скорее всего, будет удовлетворяться за счет импорта.

Сегменты рынка продуктов из углеродных волокон

В ходе исследования выделены семь основных областей применения углеродных волокон:

| | |
|-----------------------------|---|
| 1. аэрокосмическая отрасль; | 5. спорт и досуг; |
| 2. строительство; | 6. добыча и транспортировка нефти и газа; |
| 3. энергетика; | 7. медицина. |
| 4. промышленность; | |

1. Аэрокосмическая отрасль

| Продукты | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Элементы двигателей самолетов, вертолетов и ракет ▪ Конструкционные элементы самолетов, вертолетов и планеров | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Обшивка аппаратов типа «Стелс» ▪ Корпуса космических антенн ▪ Обшивка спускаемых аппаратов |
| <p>Драйверы спроса</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Улучшение массо-габаритных характеристик изделий ▪ Обеспечение конкурентоспособности отрасли ▪ Наличие долгосрочных соглашений ▪ Увеличение доли применяемых композитных материалов | <p>Факторы, тормозящие развитие</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Низкая производительность (большой производственный цикл, время на НИОКР) ▪ Высокая стоимость и длительное время испытаний материалов ▪ Сложность в переработке сырья ▪ Высокая стоимость углеволокна |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <p><i>Стеклопластики</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Сравнительно низкая стоимость (10-20 \$/кг) ▪ Прозрачность для радиоволн | <p><i>Органопластики</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Более низкая плотность ▪ Возможность использоваться длительное время при повышенных температурах |
| <p><i>Композиты на основе волокон из карбида кремния</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая ударная прочность при изгибе и растяжении ▪ Износостойкость | <p><i>Сталь</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Относительно низкая стоимость ▪ Ремонтопригодность ▪ Отработанность технологий |
| <p><i>Титан</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Хорошее соотношение цена-прочность ▪ Высокая коррозионная стойкость | <p><i>Алюминий</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Низкая стоимость ▪ Отработанность технологий |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Увеличение доли применяемых композитных материалов для улучшения рабочих характеристик (в самолетах Boeing и Airbus более 50% веса — композиты) | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Возможность для реализации проектов по созданию в России полного цикла «НИОКР — опытное производство — массовое производство» ▪ Целесообразна закупка технологий и оборудования на уровне высоких технических переделов | |

2. Строительство

| | |
|---|---|
| Продукты | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Мостовые конструкции ▪ Упрочняющая обметка и элементы для высотного, сейсмостойкого и прибрежного строительства ▪ Легкие опоры мобильных укрытий | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Корпуса и узлы химически стойкого оборудования, трубопроводов и арматуры ▪ Арматура для бетона ▪ Элементы для восстановления железобетонных изделий |
| Драйверы спроса | Факторы, тормозящие развитие |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Количество и состояние мостов ▪ Развитие направления новых материалов в отрасли ▪ Сокращение временных и денежных издержек | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Отсутствие СНиП ▪ Высокая стоимость материалов ▪ Низкая доступность информации об испытании материалов |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <i>Стеклопластики</i> | <i>Базальтопластики</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Сравнительно низкая стоимость (10-20 \$/кг) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Относительно низкая стоимость; ▪ Работоспособность в условиях повышенных температур и влажности |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Увеличение доли применяемых композитных материалов для улучшения рабочих характеристик ▪ Плохое состояние мостов (в России более 20% мостов имеют структурные дефекты) | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Возможность для реализации проектов по созданию в России полного цикла «НИОКР — опытное производство — массовое производство» ▪ Разработка соответствующих нормативных документов (СНиП и др.) | |

3. Энергетика

| | |
|---|---|
| Продукты | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Гироскопы как накопители энергии ▪ Решетчатые опоры линий электропередач ▪ Несущие сердечники высоковольтных кабелей | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Роторы с большим числом оборотов ▪ Газовые центрифуги нового поколения ▪ Лопасты ветроэнергетических установок |
| Драйверы спроса | Факторы, тормозящие развитие |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Увеличение доли применяемых композитных материалов ▪ Энергоэффективность как национальный приоритет ▪ Появление новых поколений газовых центрифуг для обогащения урана ▪ Рост мирового рынка ветроэнергетики ▪ Потребность в ветряных турбинах в открытом море, обладающих легким весом, устойчивостью к влаге и высокой прочностью | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая стоимость углеволокна ▪ Высокие риски в области атомной энергетики ▪ Неясные перспективы ветроэнергетики в России |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <i>Стеклопластики</i> | <i>Композиты на основе волокон из карбида кремния</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Сравнительно низкая стоимость (10-20 \$/кг) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая ударная прочность при изгибе и растяжении ▪ Износостойкость |
| <i>Сталь</i> | <i>Алюминий</i> |

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Относительно низкая стоимость Ремонтопригодность Отработанность технологий | <ul style="list-style-type: none"> Низкая стоимость Отработанность технологий |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> Рост мирового рынка ветроэнергетики (УВ в лопастях), увеличение размера лопастей ветряных установок Рост рынка атомной энергетики (УВ в центрифугах по обогащению урана) | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> Реализации проектов по созданию в России полного цикла «НИОКР — опытное производство — массовое производство» для атомной энергетики Формирование спроса на УВ у производителей конечных продуктов, в производстве которых может применяться УВ Экспансия на мировой рынок для ветроэнергетики | |

4. Промышленность

| | |
|---|---|
| Продукты | |
| <ul style="list-style-type: none"> Баллоны высокого давления Детали ходовой части, корпуса и тормозов автомобилей Обшивка подводных лодок и судов на воздушной подушке Высокотемпературная теплоизоляция | <ul style="list-style-type: none"> Несущие конструкции в текстильном и транспортном машиностроении Узлы трения в транспортном машиностроении Сорбционные установки |
| Драйверы спроса | Факторы, тормозящие развитие |
| <ul style="list-style-type: none"> Улучшение массогабаритных характеристик изделий Необходимость повышения надежности и безопасности транспортных средств и оборудования Повышение экологической эффективности Энергоэффективность как национальный приоритет | <ul style="list-style-type: none"> Высокая стоимость углеволокна Сложность в переработке сырья Высокий процент брака при производстве компонентов Низкая производительность вследствие длительного цикла производства |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <i>Стеклопластики</i> | <i>Боропластики</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> Сравнительно низкая стоимость (10-20 \$/кг) | <ul style="list-style-type: none"> Сочетание достаточно высоких значений прочности и модуля упругости Высокая термоустойчивость |
| <i>Базальтопластики</i> | <i>Композиты на основе волокон из карбида кремния</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> Относительно низкая стоимость Стойкость в условиях повышенных температур и влажности | <ul style="list-style-type: none"> Высокая ударная прочность при изгибе и растяжении Износостойкость |
| <i>Сталь</i> | <i>Титан</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> Относительно низкая стоимость Ремонтопригодность Отработанность технологий | <ul style="list-style-type: none"> Хорошее соотношение цена-прочность Высокая коррозионная стойкость |
| <i>Алюминий</i> | |
| <ul style="list-style-type: none"> Низкая стоимость | <ul style="list-style-type: none"> Отработанность технологий |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> Ужесточение норм выбросов углекислого газа (снижение веса конструкции за счет применения УВ) Сокращение расхода топлива | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> Активное продвижение УВ целевым группам потребителей со стороны государства Формирование спроса на УВ у производителей конечных продуктов, в производстве которых может применяться УВ | |

5. Спорт и досуг

| | |
|---|---|
| Продукты | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Яхты и узлы для них ▪ Спортивное снаряжение для зимних видов спорта ▪ Струнные инструменты и динамики | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Рыболовное снаряжение ▪ Теннисные ракетки |
| Драйверы спроса | Факторы, тормозящие развитие |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Рост рынка спортивных товаров ▪ Увеличение доли применяемых композитных материалов | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая стоимость углеволокна ▪ Высокая конкуренция со стороны альтернативных материалов |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <i>Алюминий</i> | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Низкая стоимость | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Отработанность технологий |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Рост рынка спортивных товаров с применением композиционных материалов (сноуборды, лыжи, удочки, теннисные ракетки, клюшки, яхты) | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ В среднесрочной перспективе — финансирование проектов, находящихся на конечных стадиях технологической цепочки ▪ В долгосрочном периоде — сочетание умеренного прямого финансирования с активной деятельностью по созданию инфраструктуры (венчурных фондов, узкопрофильных технопарков и т. п.) | |

6. Добыча и транспортировка нефти и газа

| | |
|---|---|
| Продукты | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Подъемные трубы для глубоководных буровых установок | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Нефтегазопроводные трубы |
| Драйверы спроса | Факторы, тормозящие развитие |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Присутствие в стратегических регионах (Арктика) ▪ Увеличение доли применяемых композитных материалов ▪ Наличие долгосрочных соглашений | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая стоимость углеволокна ▪ Инвестиционные риски ▪ Ограниченное количество компаний-потребителей, использующих соответствующую технологию |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <i>Базальтопластики</i> | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Относительно низкая стоимость | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Стойкость в условиях повышенных температур и влажности |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Повышение требуемой глубины буровых установок (более 2.4 км) ▪ Повышение значимости присутствия в стратегически важных регионах (шельф Арктики) | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Активная государственная поддержка долгосрочного характера из-за не очень высокой привлекательности сегмента для частного капитала ▪ Разработка соответствующих нормативных документов (включая ГОСТ, ТУ, спецификации на конечные продукты, в которых применяется УВ) | |

7. Медицина

| | |
|---|--|
| Продукты | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Инвалидные коляски ▪ Искусственные протезы | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Медицинские лечебные салфетки ▪ Диализаторы |
| Драйверы спроса | Факторы, тормозящие развитие |

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Развитие сектора новых материалов в медицине ▪ Высокая доля внедрения инноваций | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая стоимость углеволокна |
| Преимущества альтернативных продуктов | |
| <i>Титан</i> | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Хорошее соотношение цена-прочность | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая коррозионная стойкость |
| Тенденции | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Растущее использование новых материалов (УВ для протезов, лечебных салфеток и инвалидных колясок) | |
| Стратегия | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Поддержка участия российских производителей УВ в конечных звеньях технологических цепочек с передовыми компаниями и странами ▪ Инвестиции в продукты с высокой степенью рыночной готовности | |

Композиционные материалы на основе углеродных волокон находят все более широкое применение в летательных аппаратах и изделиях, для которых моменты инерции играют определяющую роль (центробежные накопители энергии и высокоскоростные центрифуги). С использованием углеродных волокон также целесообразно создание глубоководных бурильных установок для освоения шельфа, для присутствия в стратегически важных регионах, например в Арктике.

По итогам исследования выявлено, что целесообразно расширять сферу применения углеволокна в промышленности для изготовления оборудования с высокими рабочими характеристиками, в частности в автомобилестроении (например, с целью значительного снижения веса автомобиля), судостроении (главным образом, для обшивки корпуса).

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что применение углеродных волокон целесообразно для производства медицинских товаров (лечебные салфетки, инвалидные коляски), товаров для спорта и досуга, которые показаны как самостоятельные области применения на соответствующем слое дорожной карты.



Технологические задачи

Результаты исследования свидетельствуют о том, что для существенного увеличения объемов производства углеродного волокна и повышения его качества необходим комплекс мероприятий, направленных на решение ключевых технологических задач. Основные усилия должны быть сосредоточены на повышении прочности углеродных волокон, снижении себестоимости их производства и повышении качества композитов на основе углеволокна. Перечень ключевых технологических задач представлен в Таблице 3.

Таблица 3

Технологические задачи для предметной области

| |
|---|
| 1. Разработка технологий и оборудования для получения высокопрочного УВ |
| <ul style="list-style-type: none">▪ Разработка технологии производства ПАН-прекурсора для получения высокопрочных УВ методом мокрого формования▪ Отработка «сухо-мокрого» способа получения ПАН▪ Разработка технологий снижения дефектов и примесей ПАН-волокон и УВ▪ Отработка технологических режимов термоокисления и карбонизации ПАН-нитей и жгутов▪ Разработка высокопроизводительного оборудования для получения высокопрочных углеродных волокон в виде жгутов |
| 2. Разработка технологий и оборудования для снижения себестоимости производства УВ |
| <ul style="list-style-type: none">▪ Разработка высокопроизводительного оборудования для получения технического ПАН-прекурсора в виде жгутов▪ Снижение удельной нормы расходов сырья▪ Создание оборудования для производства ПАН-жгута и углеволокна на основе текстильного ПАН-жгута▪ Разработка технологий и оборудования для эффективной регенерации и утилизации отходов, тепловыделений и выбросов, образующихся при производстве УВ▪ Разработка новых составов прекурсоров и переход на материалы большей линейной плотности |
| 3. Разработка технологий повышения качества композитов на основе УВ |
| <ul style="list-style-type: none">▪ Оптимизация структуры углепластика с целью повышения прочности▪ Разработка технологий и создание производства современных типов связующих, в том числе с добавлением наночастиц▪ Разработка технологий поверхностной обработки и оптимизация составов замасливателей, используемых при получении УВ |

Описание визуального представления дорожной карты

Визуальное представление дорожной карты включает шесть основных слоев (рис. 3):

- ① Основные технологические тенденции и развилки в области углеродных волокон и композитов на их основе
- ② Перспективные продукты на основе углеволокна, ожидаемое время их появления на рынке
- ③ Области применения и рыночные перспективы инновационных продуктов на основе углеродных волокон. Прогнозы объемов и темпов роста основных сегментов рынка
- ④ Альтернативные технологии и их конкурентоспособность, основные конкурентные преимущества
- ⑤ Прогноз важнейших потребительских характеристик углеволокна
- ⑥ Основные риски и ограничения для предметной области

Визуальное представление дорожной карты иллюстрирует взаимосвязи между основными технологиями, определяющими развитие предметной области, характеристиками существующих и перспективных углеродных волокон и композитов на их основе, перспективными продуктами и сегментами их рынков, объем и динамика которых, в свою очередь, определяют востребованность углеродных волокон.

Рис. 3. Структура дорожной карты

