

Актуальные проблемы современного бетоноведения

Ростов-на-Дону, 16 – 17 июня 2015 г.

**Перспективы применения
композитов в бетоне и железобетоне**

Проф. В.Ф. Степанова, проф. В.Р. Фаликман

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт
бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева
ОАО «НИЦ «Строительство»

Объем рынка ПКМ

- ◇ Мировой объем рынка в секторе полимерных композиционных материалов (ПКМ) приближается к **60 млрд. евро.**
- ◇ Общий объем мирового производства ПКМ составляет более **8 миллионов тонн.**
- ◇ С учетом ежегодного всемирного темпа роста 5-10%, рынок объемов продаж ПКМ к 2015 году может достичь **80 млрд. евро.**
- ◇ Объем потребления ПКМ, конструкций и изделий из них в России составляет **0,5-2%** от общемирового потребления.

Мировой рынок композитов

На основе стекловолокна



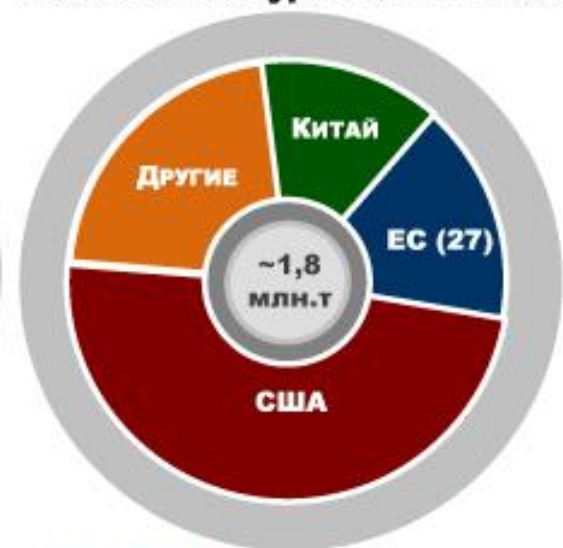
30% - КИТАЙ
22% - ЕВРОСОЮЗ (27 СТРАН)
18% - США
30% - ОСТАЛЬНОЙ МИР

На основе углеволокна



40% - ЕВРОСОЮЗ (27 СТРАН)
22% - США
20% - КИТАЙ
18% - ОСТАЛЬНОЙ МИР

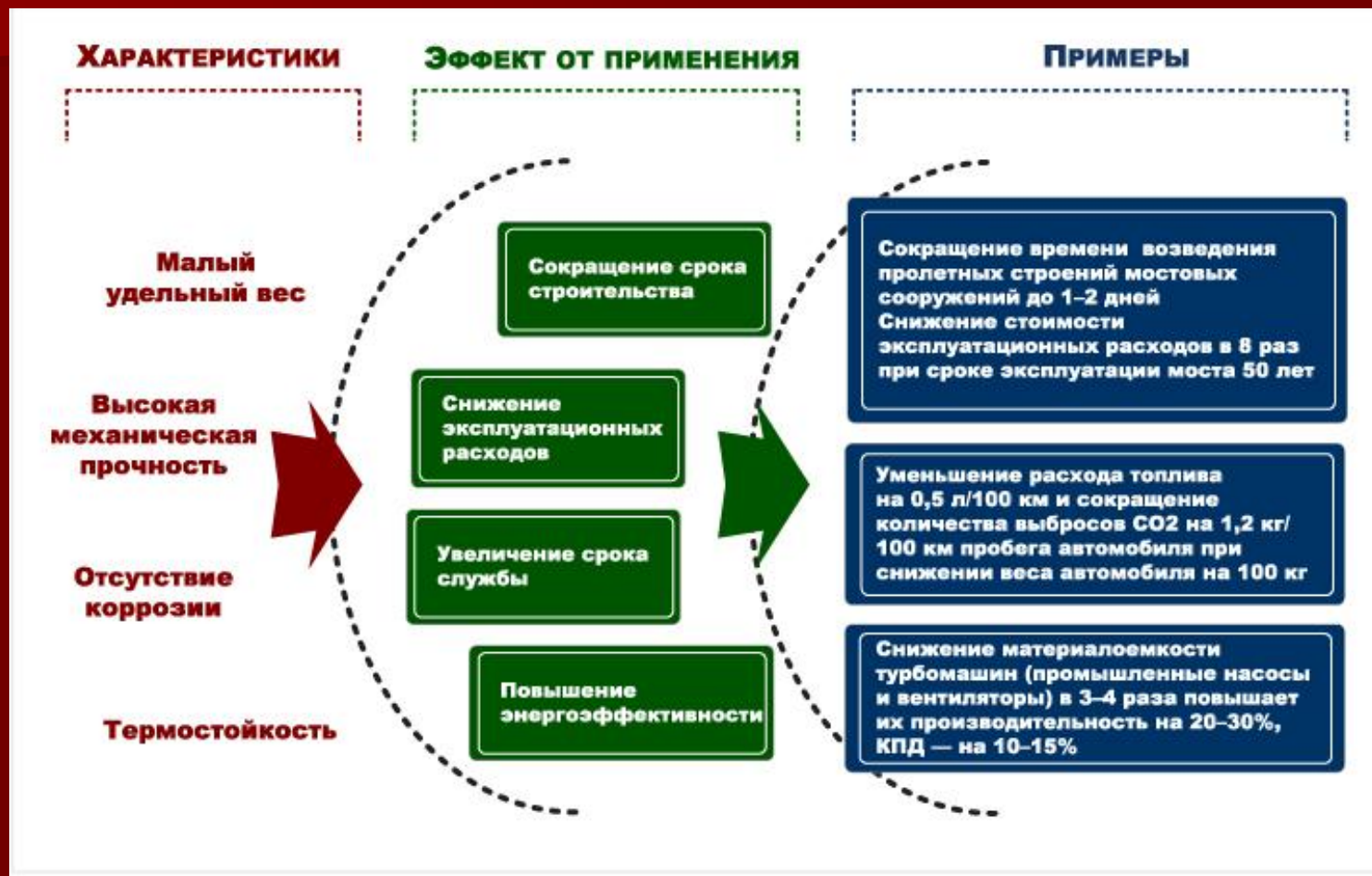
На основе натуральных волокон



46% - США
13% - КИТАЙ
13% - ЕВРОСОЮЗ (27 СТРАН)
28% - ОСТАЛЬНОЙ МИР

ДОЛЯ РОССИЙСКОГО РЫНКА — 0,3–0,5%

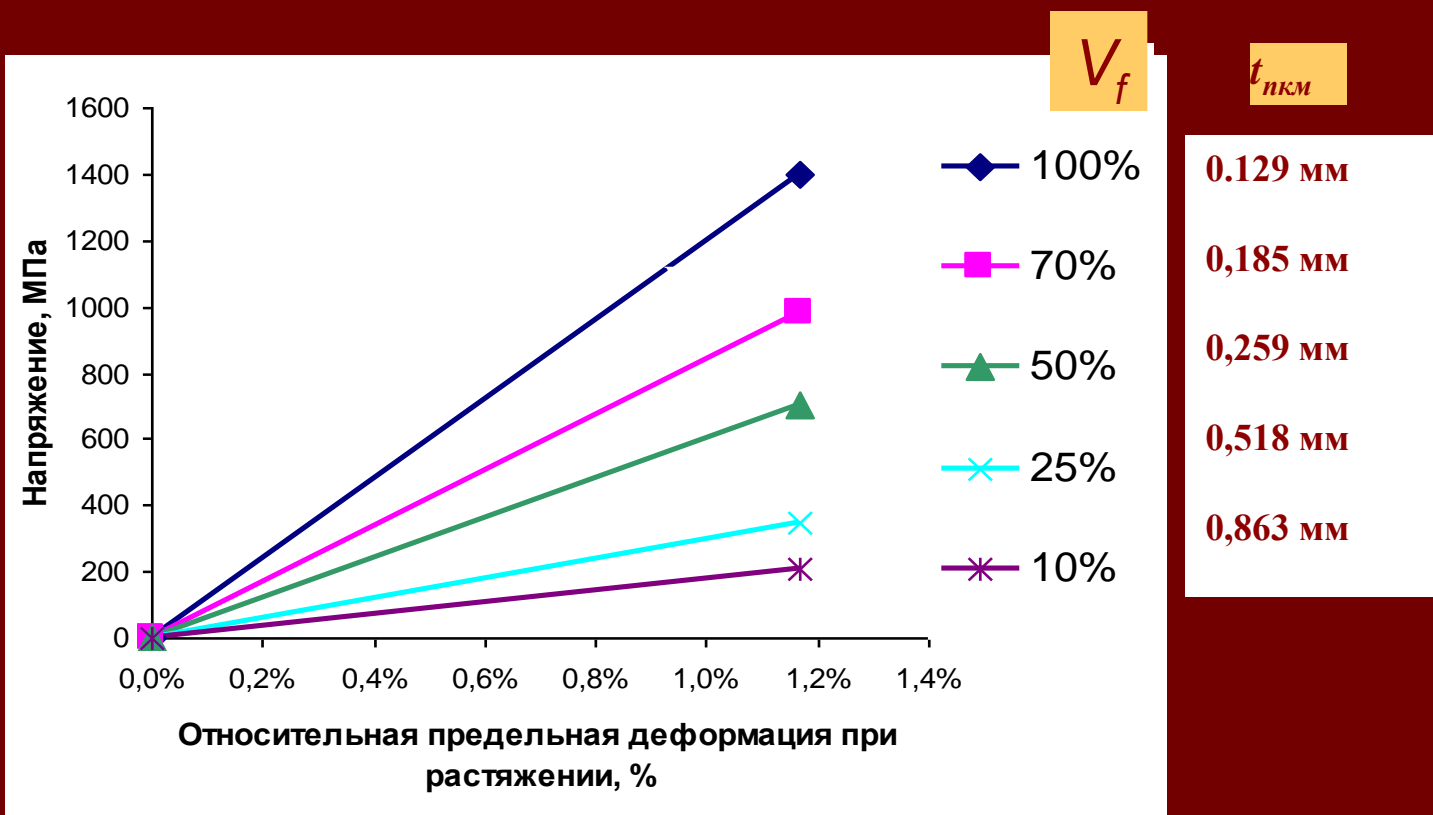
Преимущества композитов



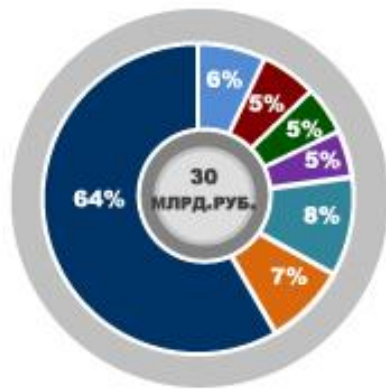
Особенности армированных пластиков

- ◇ Низкая плотность
- ◇ Выраженная анизотропия механических свойств
- ◇ Дисперсия прочности и длины волокон в пучке (нити, жгуте, ровинге)
- ◇ Максимальный объем содержания волокон:
 - стеклянных – 60-75%
 - углеродных – 65-70%
 - органических – 85-95% (за счет пластичного термопрофилирования поперечного сечения)

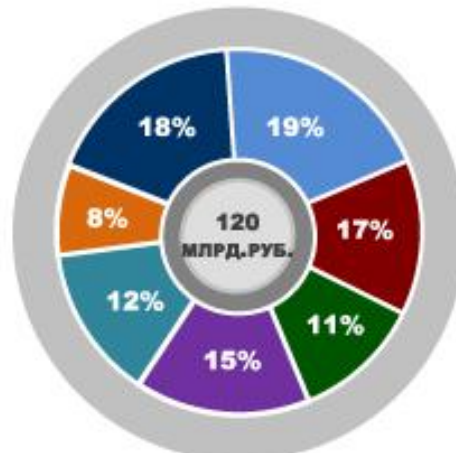
Зависимость напряжений-деформаций ПКМ от объемного содержания волокна



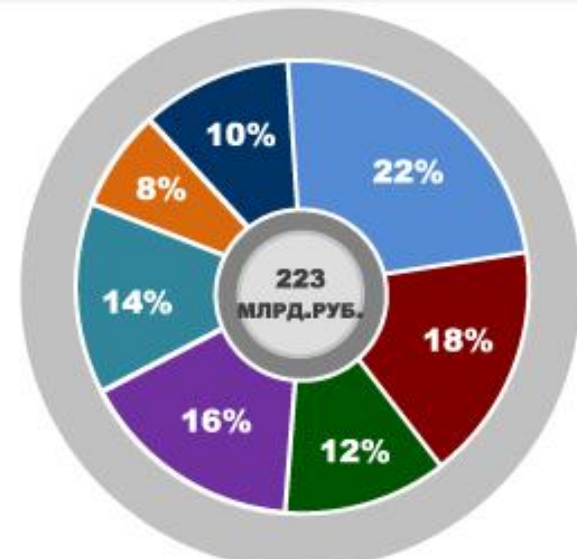
Структура российского рынка композитов к 2020 г. по гражданским секторам при различных сценариях развития



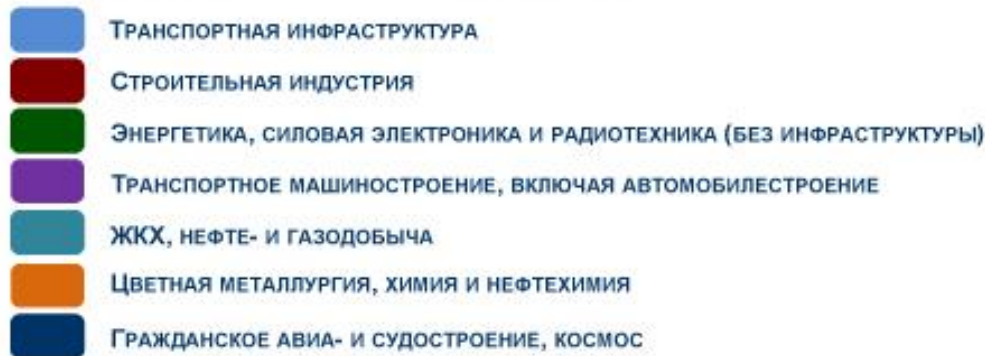
ИНЕРЦИОННЫЙ



БАЗОВЫЙ



ЦЕЛЕВОЙ



Ключевые задачи

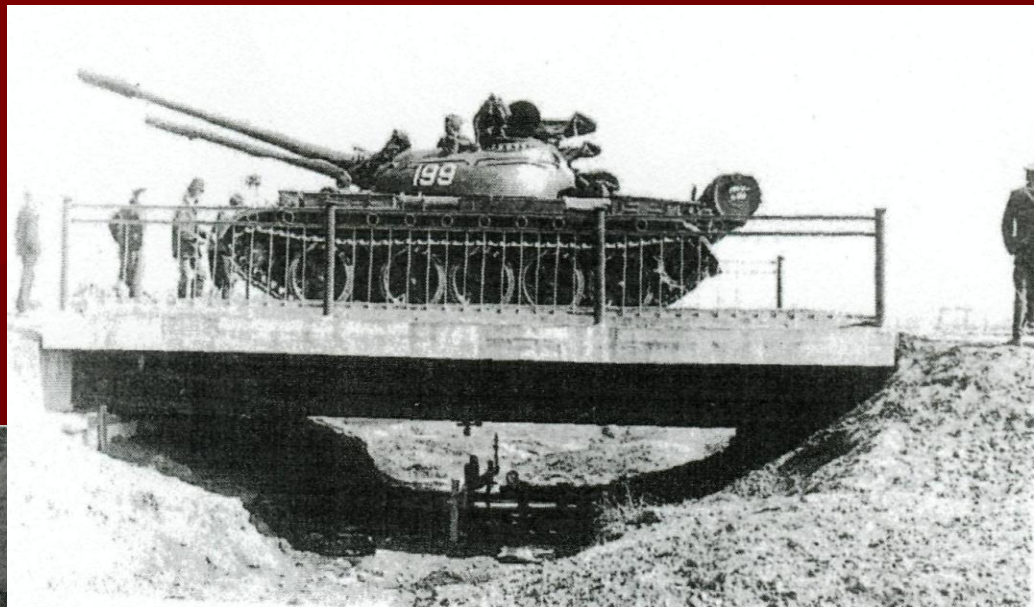
ОТКРЫТИЕ МАССОВЫХ РЫНКОВ ГРАЖДАНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТОВ СМОЖЕТ ОБЕСПЕЧИТЬ ОТРАСЛИ НЕОБХОДИМЫЙ ДЕНЕЖНЫЙ ПОТОК ДЛЯ ЗАПУСКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

- ▶ **Создать единый комплекс нормативно-технической документации на «гражданские» композиты и правила их применения в различных секторах экономики, разработать и поддерживать открытый реестр российских композиционных материалов**
- ▶ **Разработать и реализовать отраслевые и региональные программы внедрения композиционных материалов в строительстве, энергетике, транспортной инфраструктуре и т.д.**
- ▶ **Перейти к идеологии жизненного цикла при государственных закупках и закупках естественных монополий, госкорпораций и компаний с госучастием**
- ▶ **Реализовать приоритетные НИОКР по созданию композиционных материалов нового поколения для гражданских секторов экономики, создать открытую для всех производителей «инфраструктуру» инжиниринга, исследований, испытаний и квалификации композиционных материалов**
- ▶ **Сформировать современную систему подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для композитной отрасли и отраслей – потребителей композиционных материалов**

Немного истории

- Работы по неметаллической композитной арматуре были начаты в НИИЖБ в конце 60-х годов прошлого столетия.
- В начале 70-х годов стеклопластиковая арматура была применена в мостовых конструкциях.

Опыт применения композитной арматуры



Мост в Амурской области возведен в 1975г.



Мост в Приморском крае возведен в 1984г.



Мост в Еврейской автономной области возведен в 1989г.

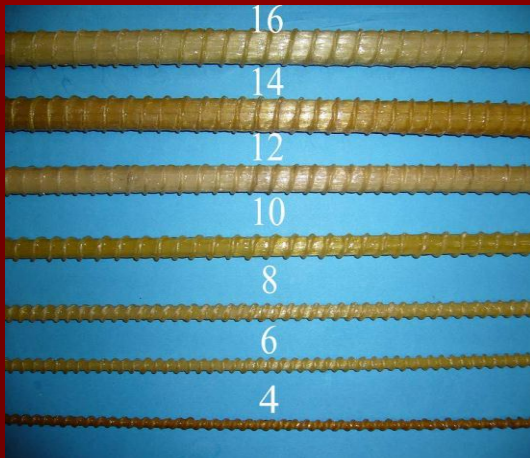
Немного истории

- После перерыва в исследованиях, начиная с середины 90-х годов, в России, в том числе в НИИЖБ, ведутся интенсивные работы по созданию и внедрению АНК в строительстве.
- Первые технические условия на стеклопластиковую и базальтопластиковую арматуру периодического профиля были разработаны в 2004 году НИИЖБ совместно с ООО «АСП».

Неметаллическая арматура

- Несколько лет назад разработана базальтопластиковая и стеклопластиковая неметаллическая композитная арматура периодического профиля (АБП) и (АСП), выпускаемая по ТУ 5769-248-35354501-2007 «Арматура неметаллическая композитная периодического профиля».

Производители композитной арматуры



Разработка нормативных документов

Нормативные документы:

1. Принят Межгосударственный стандарт «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия» ГОСТ 31938-2012.
2. Подготовлена первая редакция Межгосударственных стандартов «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы испытаний»
3. Подготовлена первая редакция свода правил (СП) по расчету и проектированию конструкций, армированных АКП.
4. Подготовлено дополнение к СНиП ... «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Физико-механические показатели АКП по ГОСТ

Наименование показателя	АСК	АБК	АУК	ААК	АКК
Предел прочности при растяжении, σ_b , МПа, не менее	800	800	1400	1200	1000
Модуль упругости при растяжении, E_r , ГПа, не менее	50	50	130	70	100
Предел прочности при сжатии, σ_{bc} , МПа, не менее	300	300	1000	500	500
Предел прочности при поперечном срезе, τ_{sh} , МПа, не менее	150	150	350	190	190
Обозначение вида АКП: АСК – стеклокомпозитная; АБК – базальтокомпозитная; АУК – углекомпозитная; ААК – арамидокомпозитная; АКК – комбинированная композитная					

Допустимые значения изменения основных физико-механических характеристик АКП после старения в щелочной среде

Наименование показателя	Норма
Предел прочности сцепления с бетоном τ_r , МПа, не менее	12
Снижение предела прочности при растяжении после выдержки в щелочной среде $\Delta\sigma_b$, %, не более	25
Предел прочности сцепления с бетоном после выдержке в щелочной среде τ_r , МПа, не менее	10

Области применения неметаллической арматуры:

С учётом современного состояния коррозионных исследований и свойств опытно-промышленных партий неметаллической арматуры рекомендуется ее применение:

- для армирования бетонных конструкций и смешанного армирования железобетонных конструкций;
- в армированных конструкциях, подвергающихся воздействию агрессивных сред согласно СП 133.30-2012 (СНиП 2.03.11-85), вызывающих коррозию стальной арматуры (хлористые соли, агрессивные газы повышенных концентраций и другие).

Целесообразно применение АКП в элементах дорожного строительства, которые подвергаются агрессивному воздействию противогололёдных реагентов;

- в причальных сооружениях;
- при ремонте железобетонных конструкций, поврежденных воздействием агрессивных, в первую очередь хлоридных сред;

- в случаях, когда отсутствует возможность обеспечить нормативные требования к толщине защитного слоя (тонкостенные конструкции различного назначения, например: панели защитных сооружений от шума, ограды, конструкции архитектурного назначения и другие);
- в бетонах на шлакопортландцементе, пуццолановом цементе, смешанных вяжущих с высоким содержанием активных минеральных добавок и т.п.;
- в монолитных бетонах с хлоридсодержащими противоморозными добавками, (хлорид кальция ХК, нитрат-хлорид кальция НХК, нитрат-хлорид кальция с мочевиной НХКМ и другие);
- в пористых и крупнопористых бетонах (дренажные трубы), легких и ячеистых бетонах, в том числе при монолитном строительстве;
- при армировании кирпичной кладки, в т. ч. в зимнее время, когда в кладочный раствор вводятся ускорители твердения и противоморозные добавки – хлористые соли, вызывающие коррозию стальной арматуры.

С целью улучшения теплотехнических характеристик стен, рекомендуется применение АКП в наружном слое трёхслойных стеновых панелей с гибкими связями.

СТЕКЛОПЛАСТИКОВАЯ АРМАТУРА



АРМИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ



КЛАДКА КИРПИЧА С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ



КРЕПЛЕНИЕ СТЕНЫ С ПОМОЩЬЮ БАЗАЛТОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ



УКЛАДКА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ



ВЯЗКА СЕТКИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ДОРОЖНЫХ ЗНАКАХ














Композитные материалы на основе углеродных тканей

Области применения:

для восстановления несущей способности и усиления строительных конструкций различных инженерных сооружений:

- промышленных и гражданских зданий
- мостов, труб, бункеров, причальных сооружений
- тоннелей различного назначения, городских надземных сооружений
- реставрации памятников архитектуры

Материалы на основе углеволокна

	Углеродное волокно		Углеродная лента
	Углеродная фибра (чопсы)		Ткани двунаправленные
	Нити углеродные		Нетканые материалы
	Жгут углеродный		Препреги
	Сетка из углеродного волокна		Ламинат (углеродная ламель)
			Стержни композитные

Системы «внешнего армирования»

- **однонаправленные ленты** – однонаправленные анизотропные ПКМ имеют высокий модуль упругости при растяжении

- **ПКМ ортотропные** – ткани, сплетенные из последовательно чередующихся слоев волокон (в двух и более направлениях).

Наиболее распространенные – холсты, ламели, ламинаты.

Механизмы разрушения усиленных углепластиком балок



*а) разрыв композита б) нарушение сцепления
в) и г) отделение защитного слоя*

Экономика усиления с применением композитов

Конструкции усиления	Стоимость усиления традиционными методами	Стоимость усиления композиционными материалами
Балки		
Железобетонные подстропильные балки в производственном здании (значительный износ конструкций)	2,7 млн. руб.	0,8 млн. руб.
Стропильные и подстропильные балки производственного здания (значительный их износ)	2,7 млн. руб.	0,8 млн. руб.
Подрансовые балки (значительный износ и увеличение проежных нагрузок)	22,3 млн. руб.	18,5 млн. руб.
Колонны		
Колонны каркаса производственного здания (увеличение проежных нагрузок)	1,95 млн. руб.	0,85 млн. руб.
Усиление колонн здания жилого комплекса	1,1 млн. руб.	0,54 млн. руб.
Перекрытия		
Перекрытие в цокольного общественного здания (увеличение проежных нагрузок, значительный износ конструкций)	35 млн. руб.	9 млн. руб.
Рёбристые плиты перекрытия производственного здания (значительный износ)	8,3 млн. руб.	3,46 млн. руб.
Плиты перекрытия общественного здания (изменение расчётной схемы конструкции – устройство проёмов значительных размеров)	7,36 млн. руб.	4,73 млн. руб.
Производственные здания и сооружения		
Железобетонные конструкции транспортной галереи (значительный износ)	16,3 млн. руб.	10,7 млн. руб.
Конструкции кирпичного жилого здания (восстановление несущей способности из-за образования трещин, возникших при эксплуатации)	1,6 млн. руб.	1 млн. руб.
Мосты		
Пролётные строения и опоры моста (значительный износ и увеличение проежных нагрузок)	1,3 млн. руб.	0,8 млн. руб.
Пролётные строения автомобильного моста (ошибка проектирования, увеличение расчётных нагрузок)	3,5 млн. руб.	2,43 млн. руб.
Пролётные строения автомобильного моста (значительный износ конструкций)	4,2 млн. руб.	2,7 млн. руб.

Ремонт моста

*Калькуляция себестоимости ремонта моста
(п.Татищево, Саратовская обл.) системой внешнего
армирования углеродными лентами*

Статьи затрат	Сумма, руб.
Проектирование	100 000,00
Материалы	417 756,00
Проведение работ	238 455,00
Итого:	
Сметная стоимость с НДС	756 211,00

*Калькуляция себестоимости ремонта моста
(п.Татищево, Саратовская обл.) традиционным
методом усиления металлическими шпренгелями*

Статьи затрат	Сумма, руб.
Проектирование	100 000,00
Материалы	649 823,00
Проведение работ	649231,00
Итого:	
Сметная стоимость с НДС	1399054,00

Экономический эффект

642 843,00 рублей - 45.9%

Несущая способность моста (п.Татищево, Саратовская обл.)

	обозначение нормативной нагрузки	значение единичной нагрузки, тонн
Проектная нагрузка до усиления	Н-13; НГ-60(Д)	48,00
Фактическая нагрузка до усиления		20,00
Фактическая нагрузка после усиления	АК-14	82,23

Увеличение несущей способности

62,23

Сравнительные характеристики холстов и ламинатов

	Ламинаты	Холсты
Форма	Прямоугольные ленты	Тонкая однонаправленная или двунаправленная ткань
Размеры: - Толщина - Ширина	1,2 – 1,4 мм 50 – 150 мм	0,065 – 0,36 мм 150 – 1400 мм
Метод применения	Приклеивание изготовленных на заводе профилей с помощью связующих	Пропитка сухого волокна смолами, приклеивание и отверждение на месте
Особенности применения	<ul style="list-style-type: none"> •Только для плоских поверхностей; •Необходимо двухкомпонентное тиксотропное связующее для приклеивания; •Не рекомендуется использование более одного слоя; •Допускается некоторая неровность поверхности бетона; •Качество гарантировано производителем; •Простота в использовании; •Подходит для усиления на действие изгибающего момента; •Необходима противопожарная защита. 	<ul style="list-style-type: none"> •Легко использовать на изогнутых поверхностях; •Необходимы низковязкие смолы для приклеивания и пропитки; •Возможно использование нескольких слоев; •Все неровности должны быть отремонтированы; •Необходима хорошо отлаженная система контроля качества; •Хорошая совместимость с отделочными материалами, такими как краска или штукатурка; •Подходит для усиления как на действие изгибающего момента, так и поперечной силы; •Необходима противопожарная защита.

Разработка нормативных документов

Нормативные документы:

1. Разработан проект национального стандарта «Изделия композитные полимерные для армирования конструкций. Общие технические условия».
2. Подготовлен проект национального стандарта «Изделия композитные полимерные для армирования конструкций. . Методы испытаний»
3. Разработан Свод правил (СП) «Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Правила проектирования»
4. Подготовлено дополнение к СНиП ... «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Совершенствование регуляторной базы

- На сегодня действует примерно 200 нормативных документов, из которых 70% - стандарты, за которые ответственны 23 Технических комитета Росстандарта, представляющих различные отрасли народного хозяйства
- В августе 2012 года Росстандарт и Минрегион РФ утвердили Программу разработки нормативных документов в области проектирования и строительства, расширяющих спектр применения полимерных композиционных материалов на 2012 – 2015 годы, которая содержит 24 документа
- В конце 2012 года Росстандарт утвердил Комплексную программу стандартизации в области композиционных материалов, предусматривающую частно-государственное партнерство и софинансирование при разработке около 500 межгосударственных и национальных стандартов.
- В программе три блока – краткосрочный (1 год), среднесрочный (3 года) и перспективный (8-10 лет).
- Строительный сегмент программы предполагает разработку 67 нормативных документов.

Барьеры развития рынка

Экономические барьеры

- Как правило, отсутствие экономической заинтересованности заказчика в снижении эксплуатационных расходов
- Низкая окупаемость строителей в силу высокой цены на композитные материалы, при отсутствии развитых механизмов ГЧП, использующих принципы жизненного цикла сооружения
- Высокие капитальные затраты, необходимые для освоения производства

Регуляторные барьеры

- Недостаточность необходимой нормативной базы:
 - регламентирующей использование композитов
 - стимулирующей использование и производство композитов

Общие барьеры инновационной среды

- Фундаментальное отставание от иностранных игроков по всей цепочке создания добавочной стоимости
- Нехватка подготовленных специалистов
- Недостаток информации и низкая осведомленность участников рынка

Отраслевая программа внедрения композиционных материалов, конструкций и изделий из них в строительном комплексе России

- Краткий анализ текущей ситуации производства и применения материалов (композитов), конструкций и изделий из них в сфере транспортной инфраструктуры, строительства, жилищно-коммунального хозяйства
- Драйверы и барьеры российского рынка композиционных материалов в сегментах строительства и строительных материалов
- Совершенствование регуляторной базы
- Основные направления разработки, производства и внедрения композиционных материалов, изделий и конструкций
- Механизмы и основные направления реализации «Дорожной карты»
- Ключевые индикаторы реализации «Дорожной карты»