



**eНано**

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ  
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

# **УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ: СУЩЕСТВУЮЩИЙ ОПЫТ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ**

**Грибанов Алексей Сергеевич:**

*кафедра «Строительные конструкции»*

*Владимирский государственный университет*

*им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*

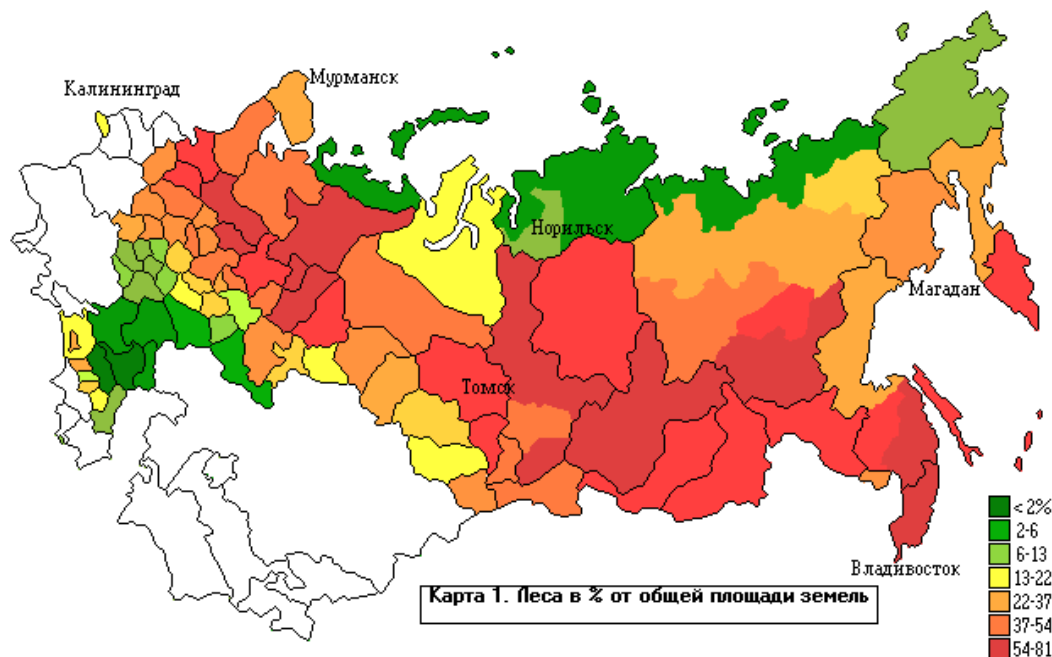


# Содержание

- ▶ Введение
  - ▶ Древесина как конструкционный материал
  - ▶ Классификация дефектов деревянных конструкций (ДК)
  - ▶ История развития композитных конструкций на основе древесины
  - ▶ Основные виды и характеристики полимерных композитов для усиления ДК
  - ▶ Анализ рынка композитных материалов на основе углеволокна
- ▶ Опыт применения композитных систем внешнего армирования
- ▶ Проблемы внедрения



# **Введение**



Площадь лесного фонда РФ – 885 млн.га (2015г.):  
хвойные – 72%, хиственные – 16%,  
твердолиственные – 2,5%

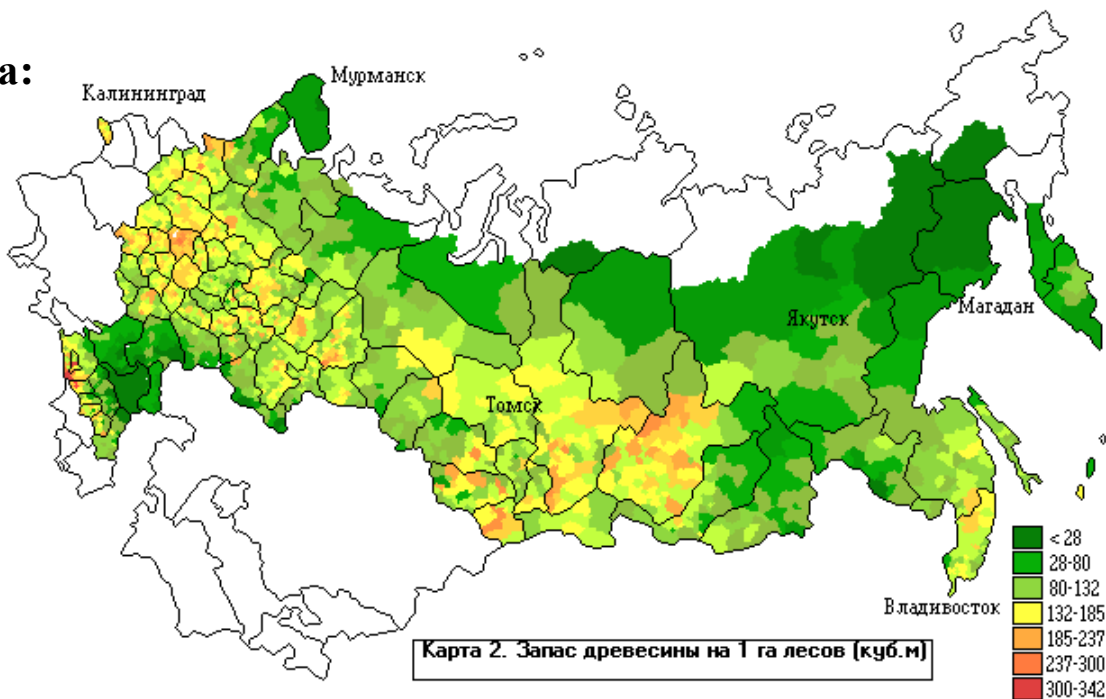
Общий запас древесины – 80,7млрд м3 (≈21-25%  
мировых запасов)

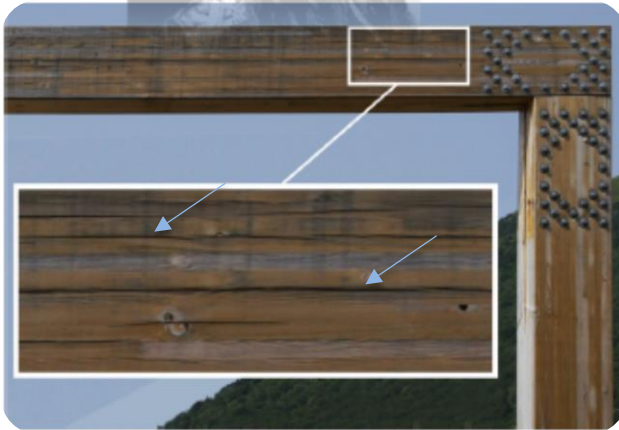
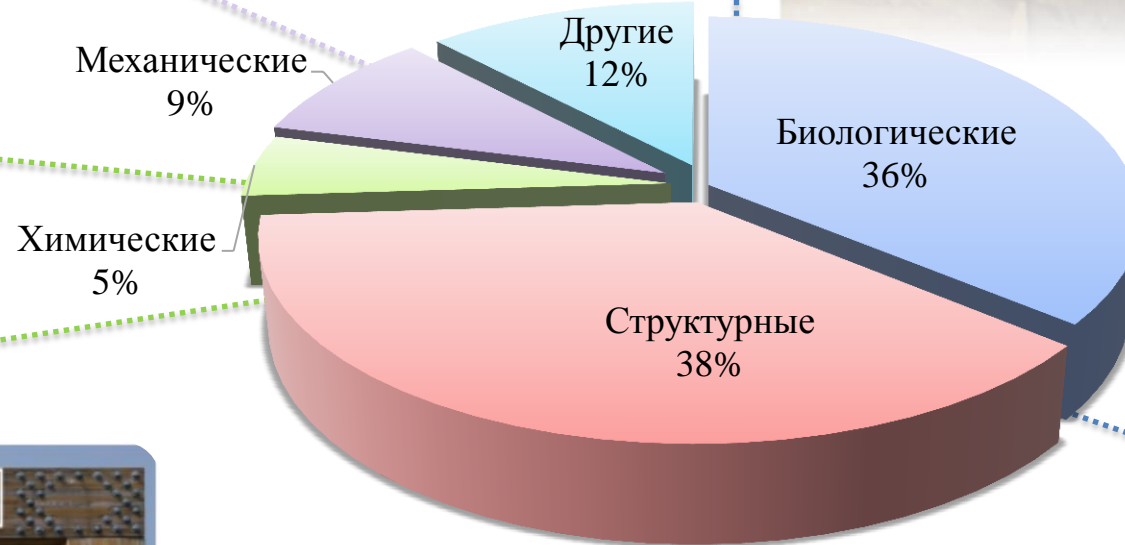
## Достоинства древесины как конструкционного материала:

1. Высокая удельная прочность
2. Простота и экономичность механической обработки
3. Малый удельный вес
4. Сейсмостойкость и восприятие динамических нагрузок
5. Радиопрозрачность
6. Экологичность
7. Химическая стойкость
8. Архитектурная выразительность

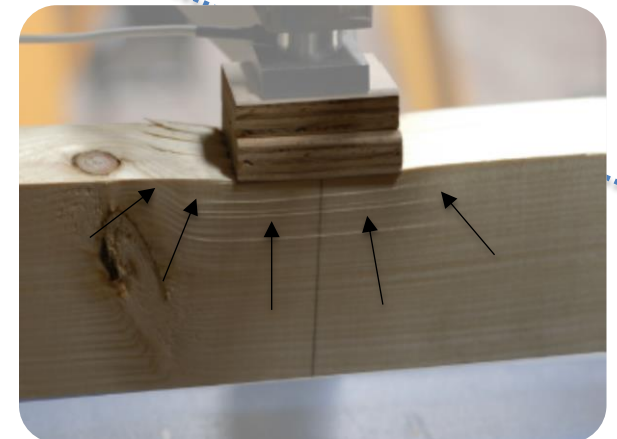
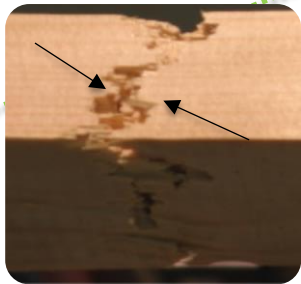
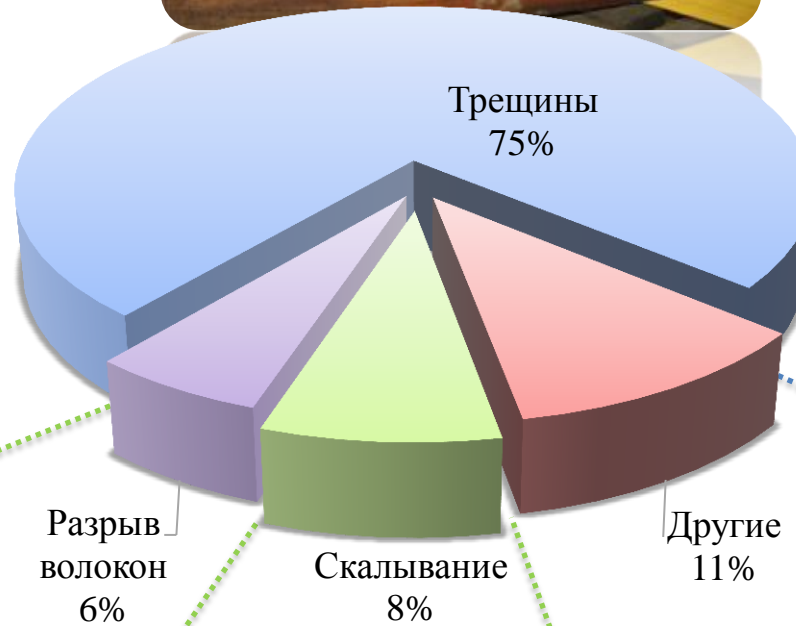
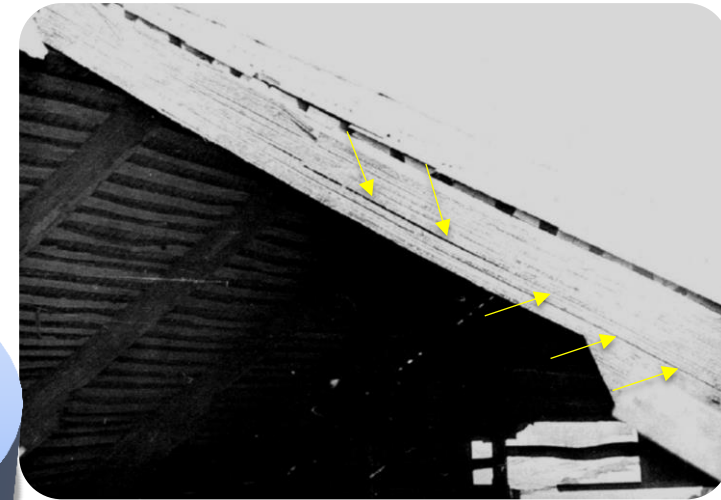
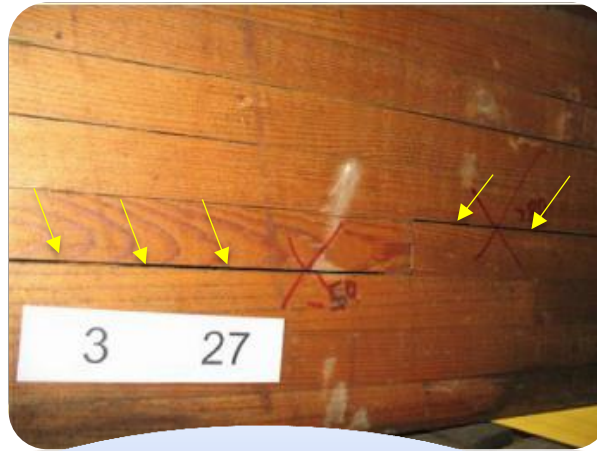
## Недостатки:

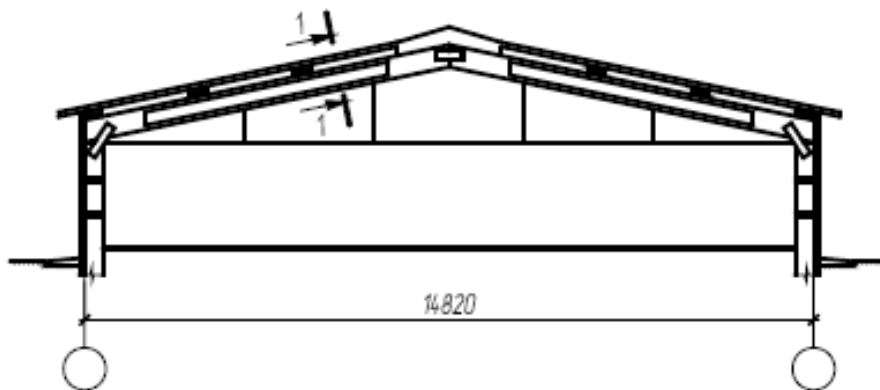
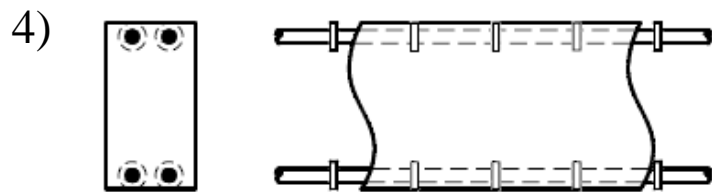
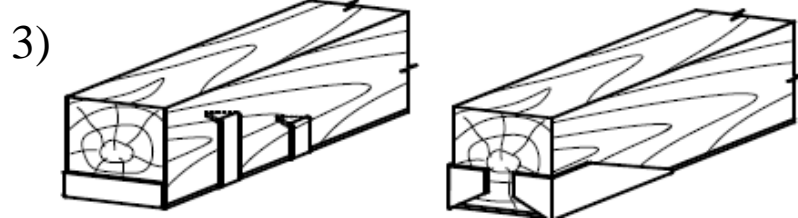
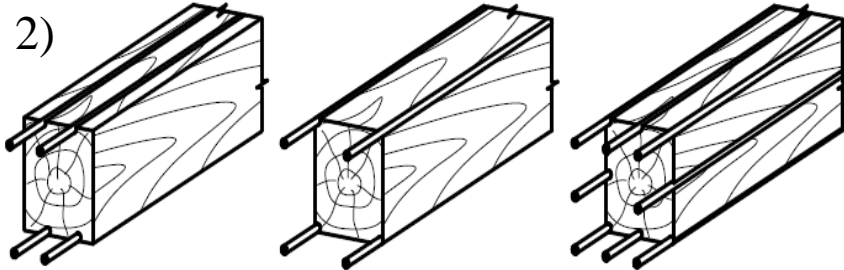
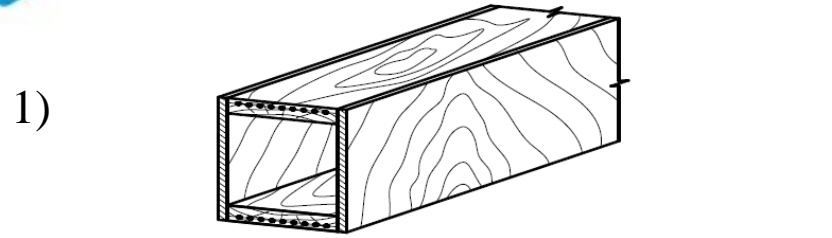
1. Анизотропия свойств
2. Влияние пороков



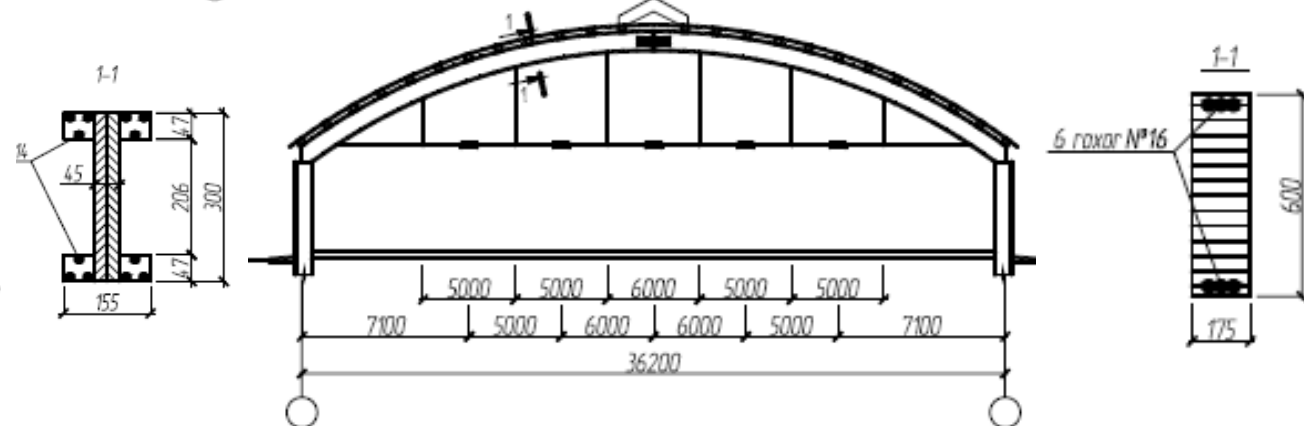
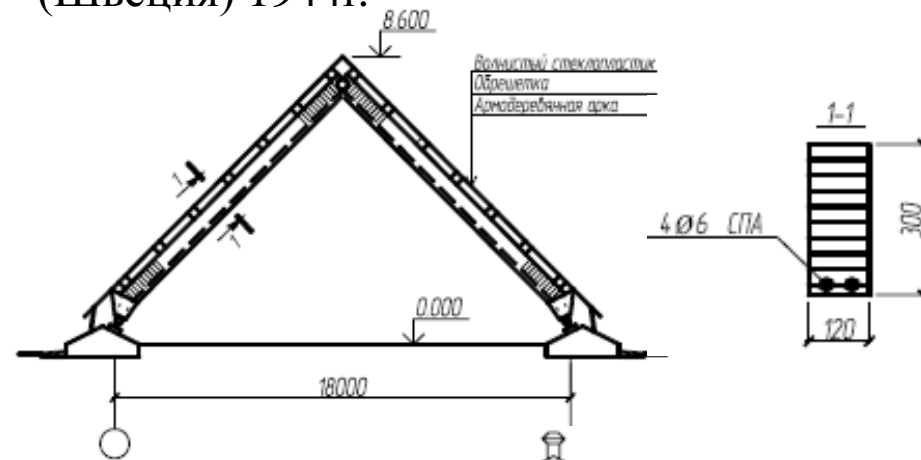


1) Blass HJ, Frese M. Failure analysis on timber structures in Germany. In: Kohler J, Fink G, Toratti T, editors. Assessment of failures and malfunctions. Germany: Shaker Verlag; 2011.  
 2) Blass HJ, Frese M. Failure analysis on timber structures. Karlsruhe: KIT Scientific publishing; 2010 [only in German: Schadensanalyse von Hallentragwerken aus Holz].





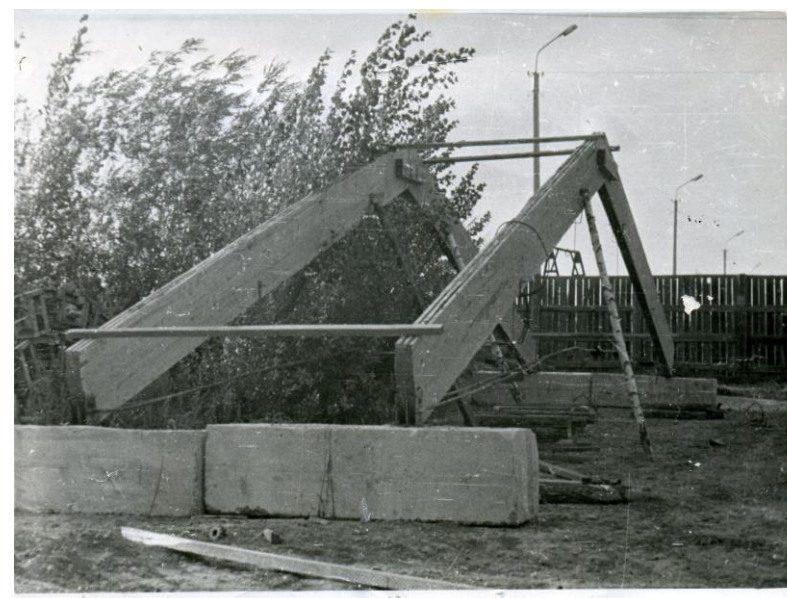
1. Коробчатый элемент, предложенный в 1921г. А. Клайтилем (США)
2. Армированные стальными стержнями брусчатые балки А. Фишера 1926г. (Германия)
3. Брусчатые балки, предложенные А.Л. Монасевичем (СССР) в 1937г.
4. Балки, армированные стальными стержнями с кольцевыми выступами, выполненные Х. Гранхольмом (Швеция) 1944г.



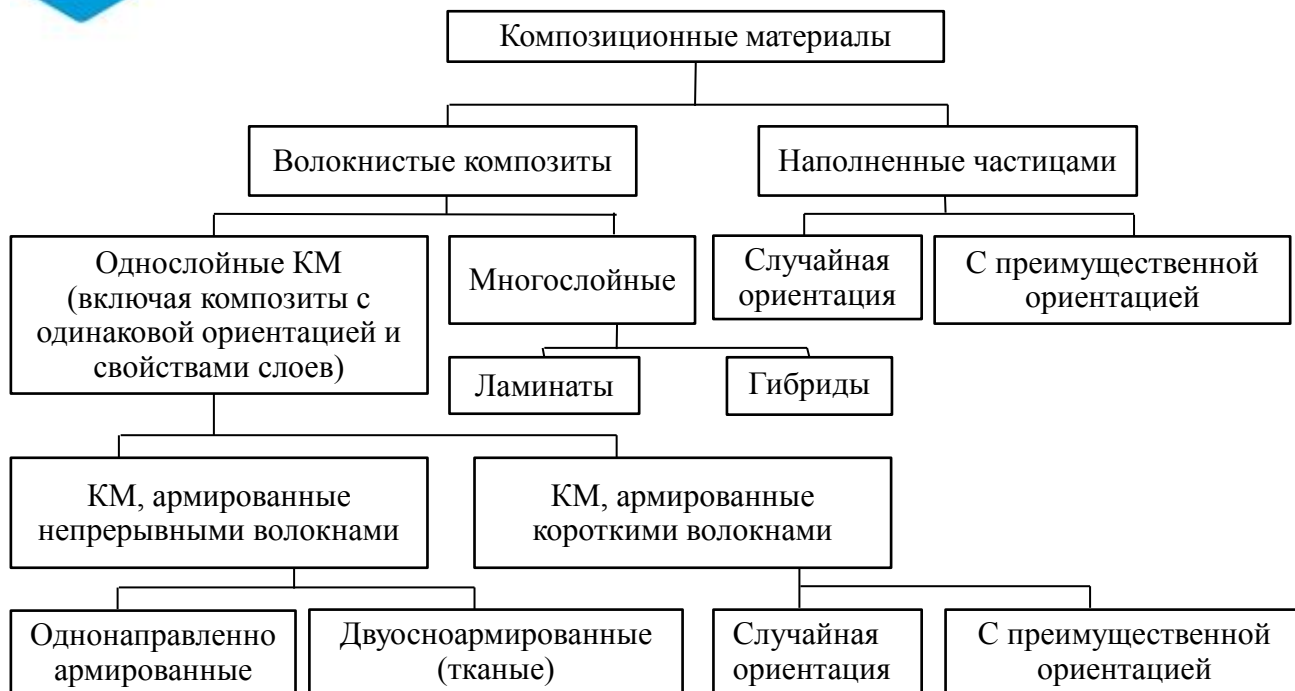


**Почетный строитель, к.т.н., проф. Щуко Владислав Юрьевич -** заведующий кафедрой «Строительные конструкции» в 1972-2007гг. (бывш. «Строительных конструкций и архитектуры») Владимирского государственного университета.

- Основоположник школы армированных деревянных конструкций
- С 1960-х годов проводил исследования влияния армирования на прочность и деформативность элементов деревянных конструкций

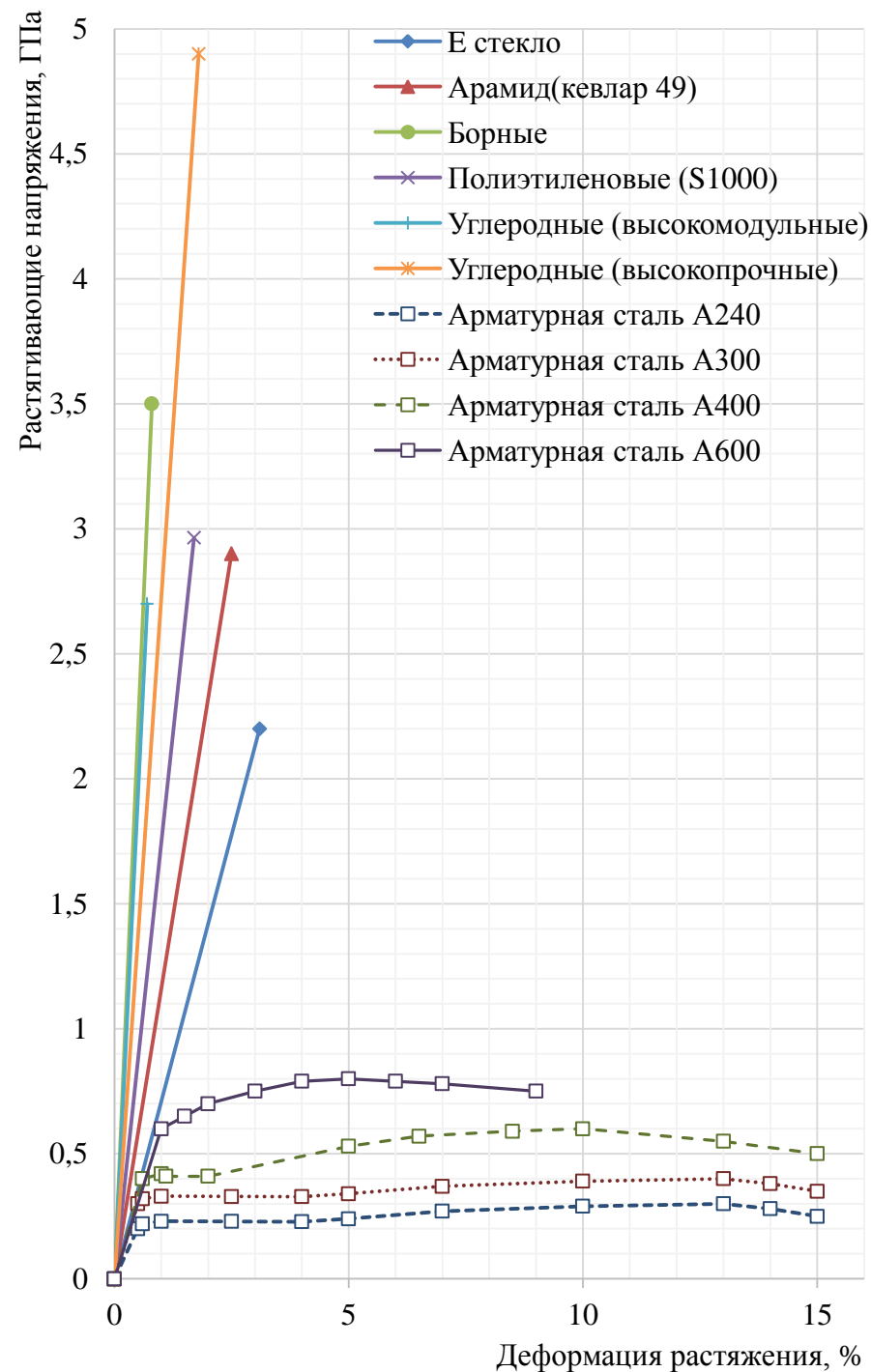






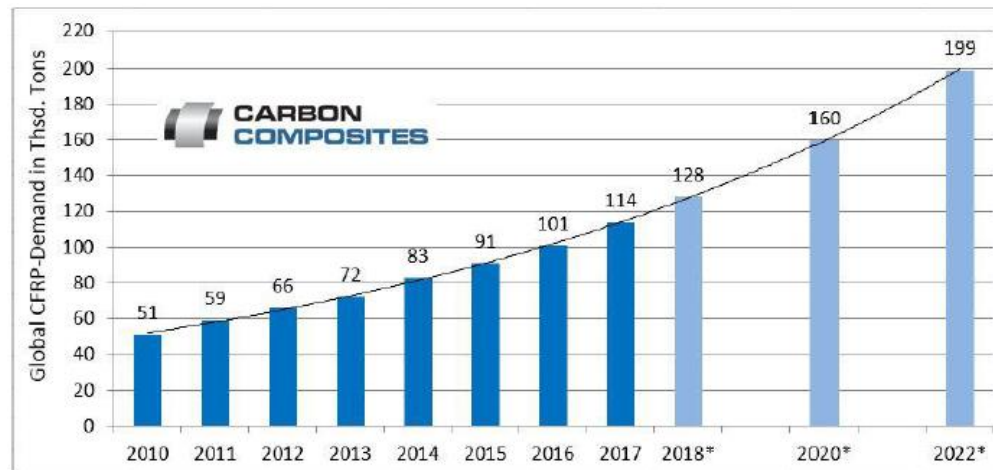
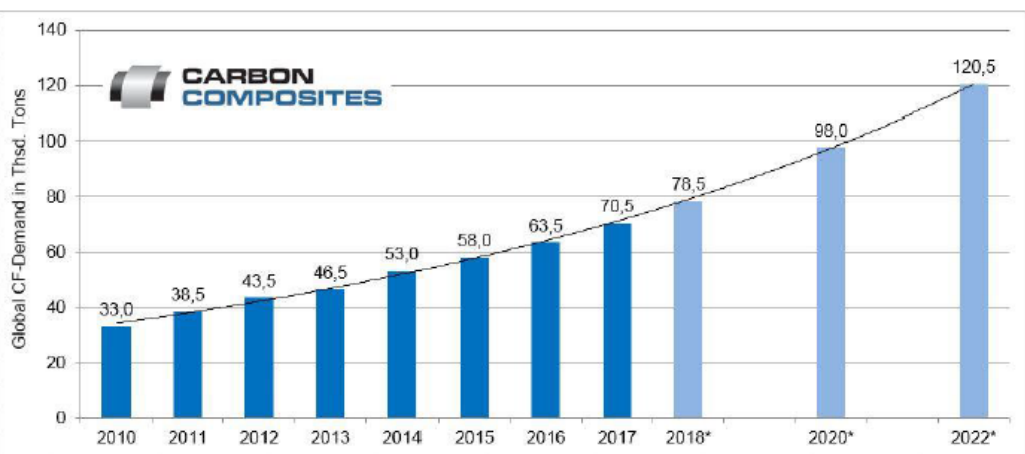
**Характеристики различных армирующих материалов и полимерных матриц**

Материал	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м <sup>3</sup>
Стекловолокно «S»	4585	85	3,5-4,7	2,48
Базальтовое волокно	4100	110	3,5-4,7	2,8
Углеволокно (высокопрочное)	4300-4900	230-240	1,9-2,1	1,8
Арамид	3200-3600	124-130	2,4	1,44
Арматурная сталь класса А400	390	205	20-30	7.8

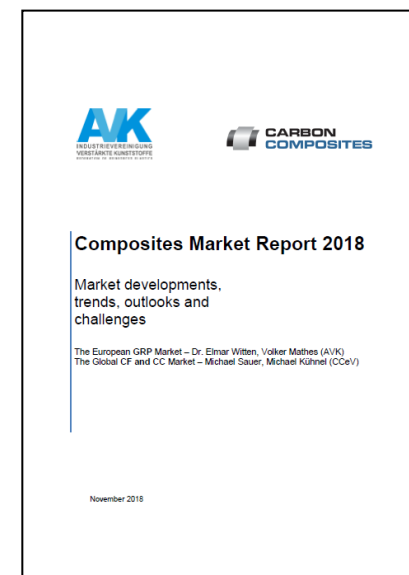
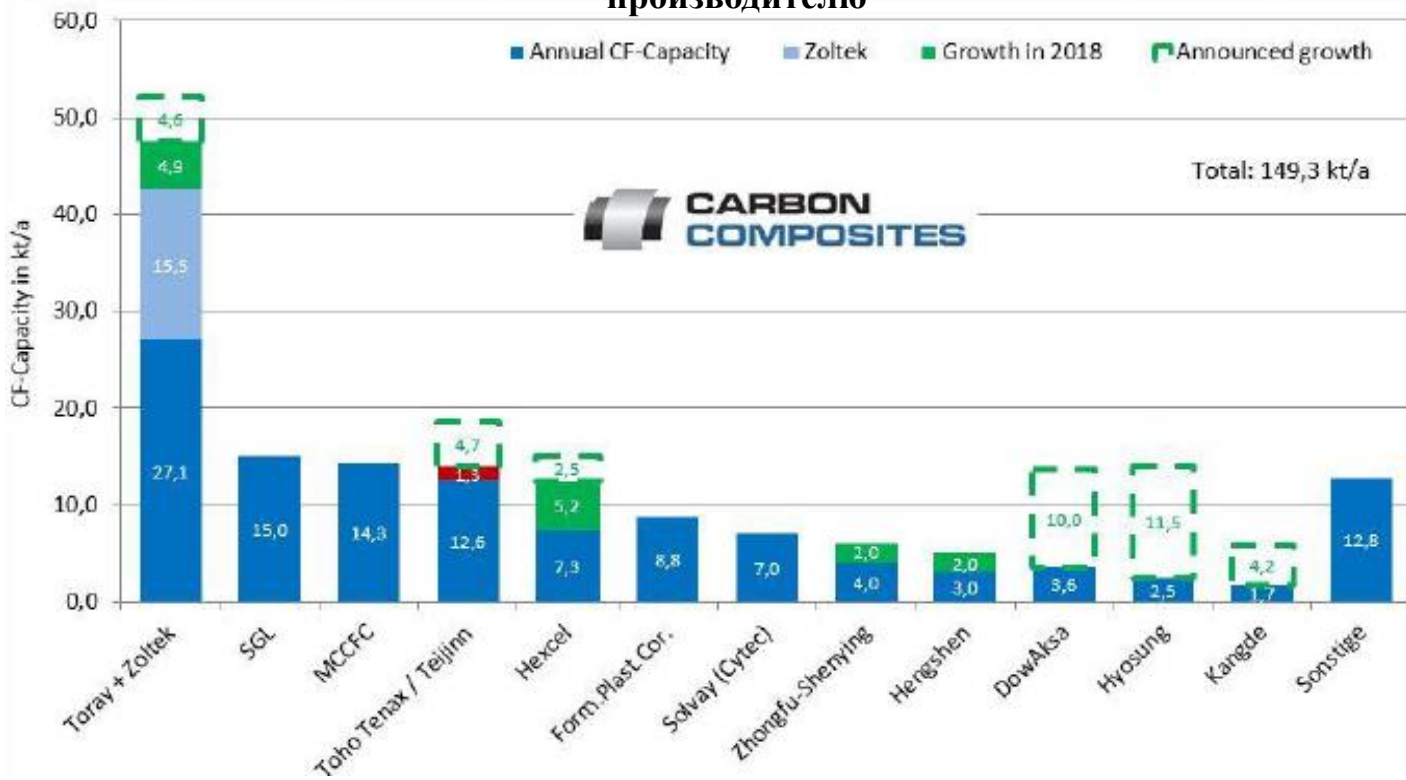


Потребность в углеволокне (CF) в тыс.т в мире по годам

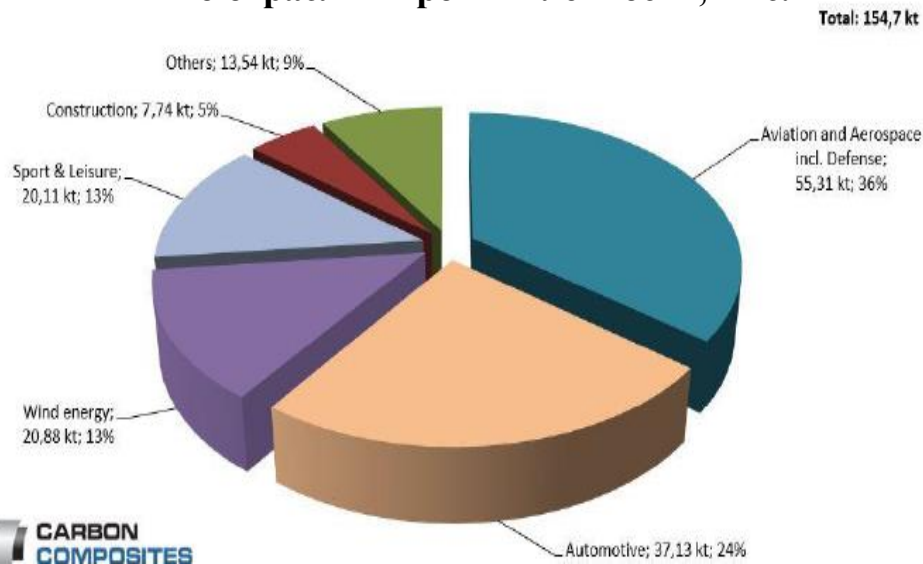
Потребность в углепластиках (CFRP) в тыс.т в мире по годам



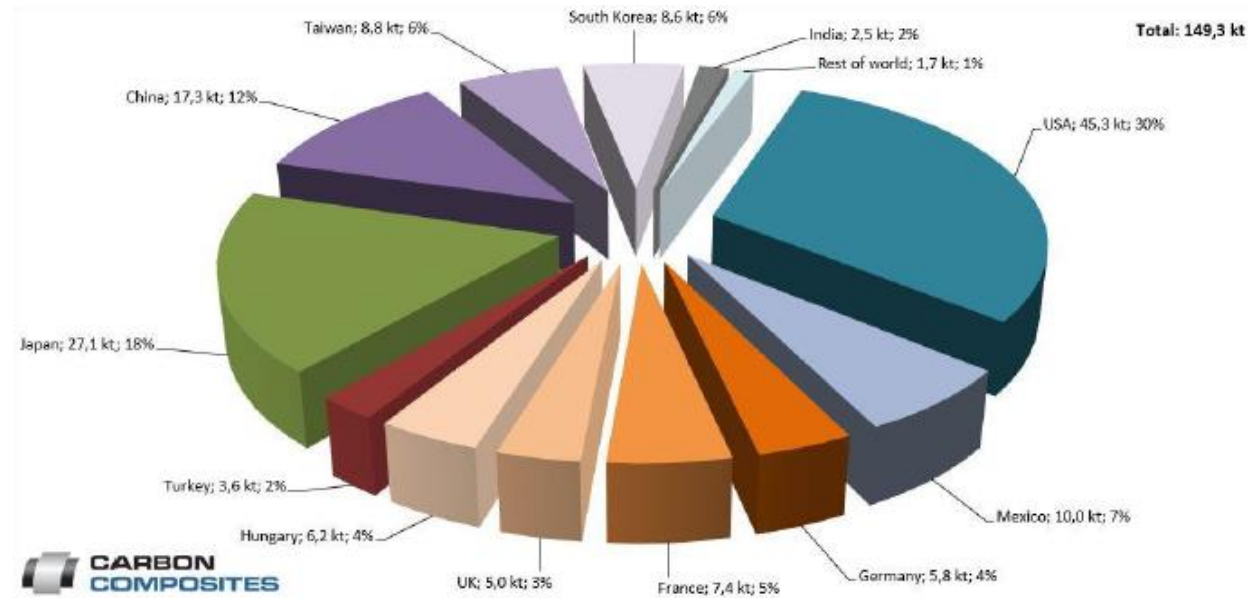
Теоретическая годовая мощность производства углеродного волокна в тыс.т по производителю



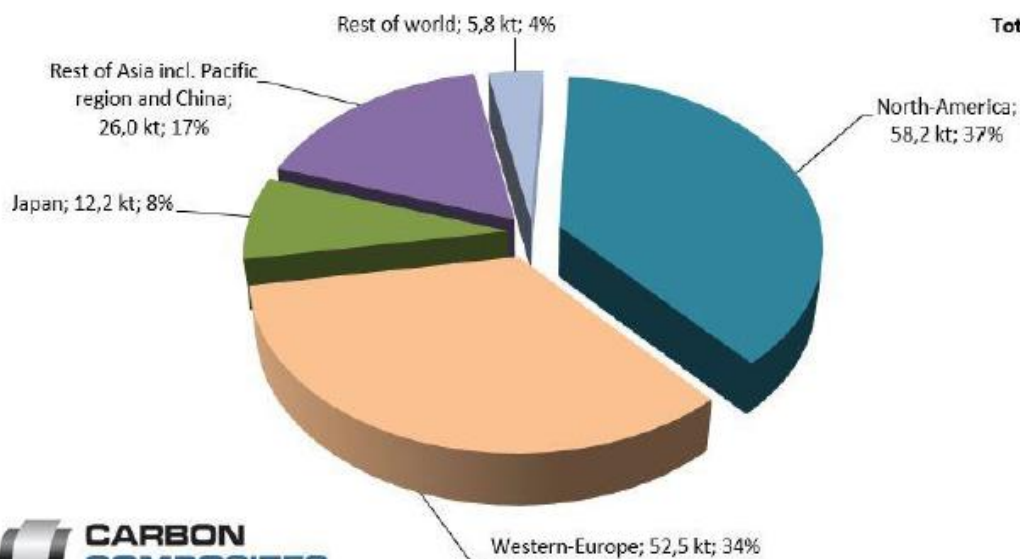
**Структура мирового потребления углеродного волокна (CF) по отраслям промышленности, тыс.т**



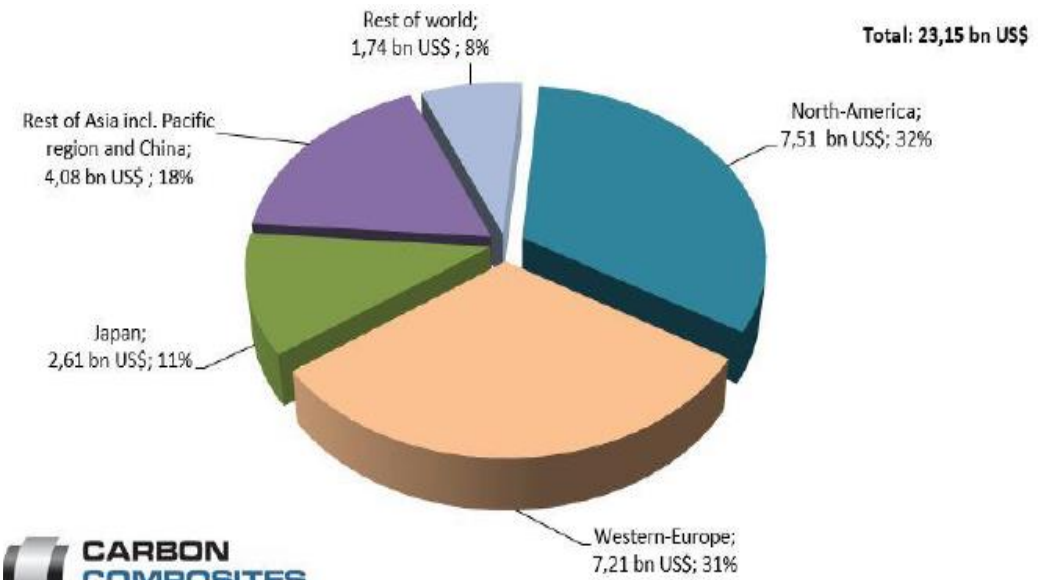
**Структура потребления CF по регионам, тыс.т**



**Структура потребления CC (carbon composites) по регионам, тыс.т**

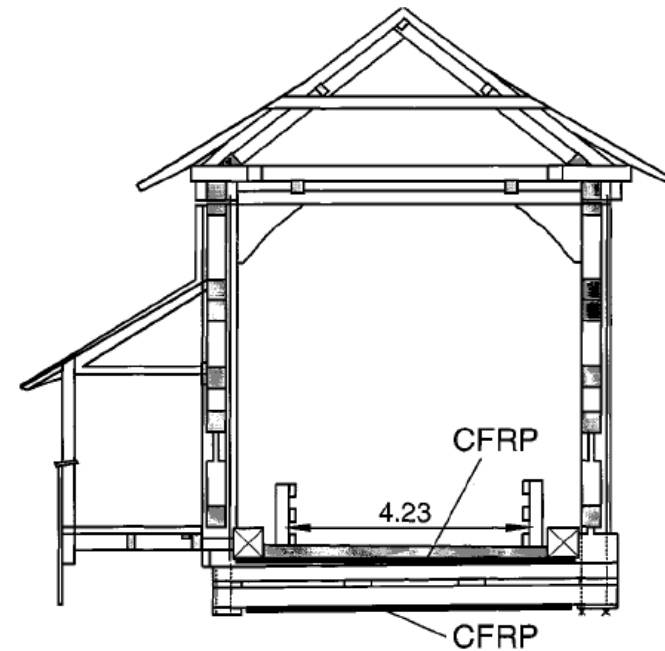


**Объем рынка CC по регионам млрд. \$**





# **Опыт применения композитных систем внешнего армирования**





**Усиление деревянных конструкций здания  
компании «SIAZ» в г. Тревизи, Италия. 2003г.**

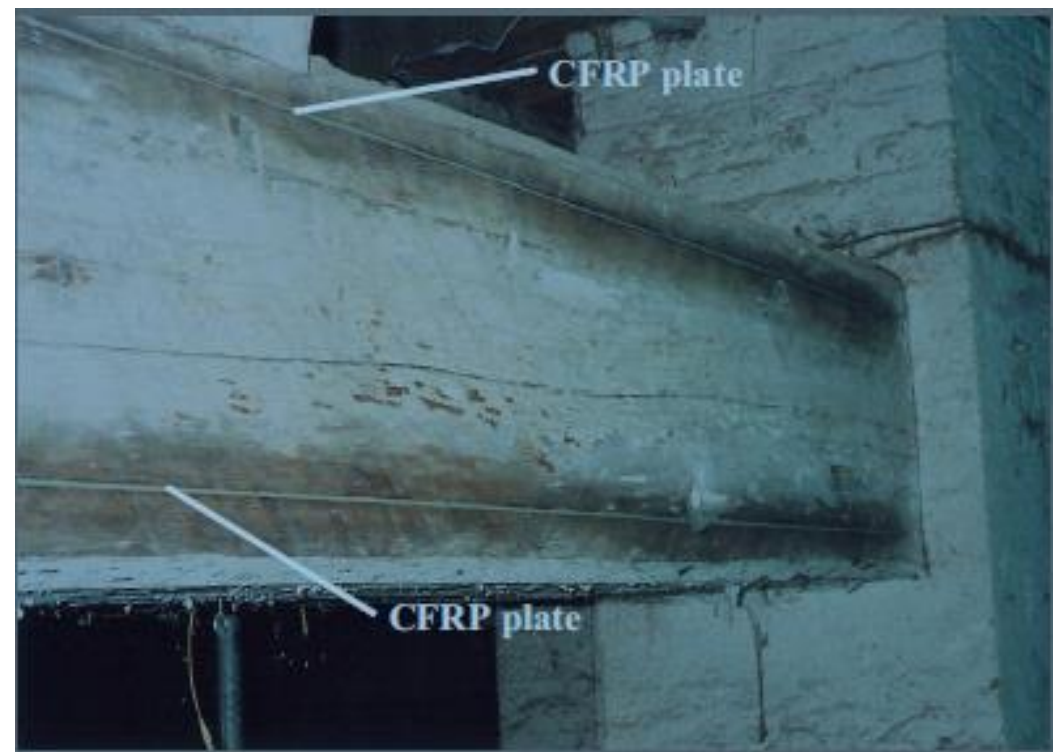
Балки перекрытия выполнены из древесины пихты, расположены на первом этаже складского здания, ранее используемого для хранения кукурузы.

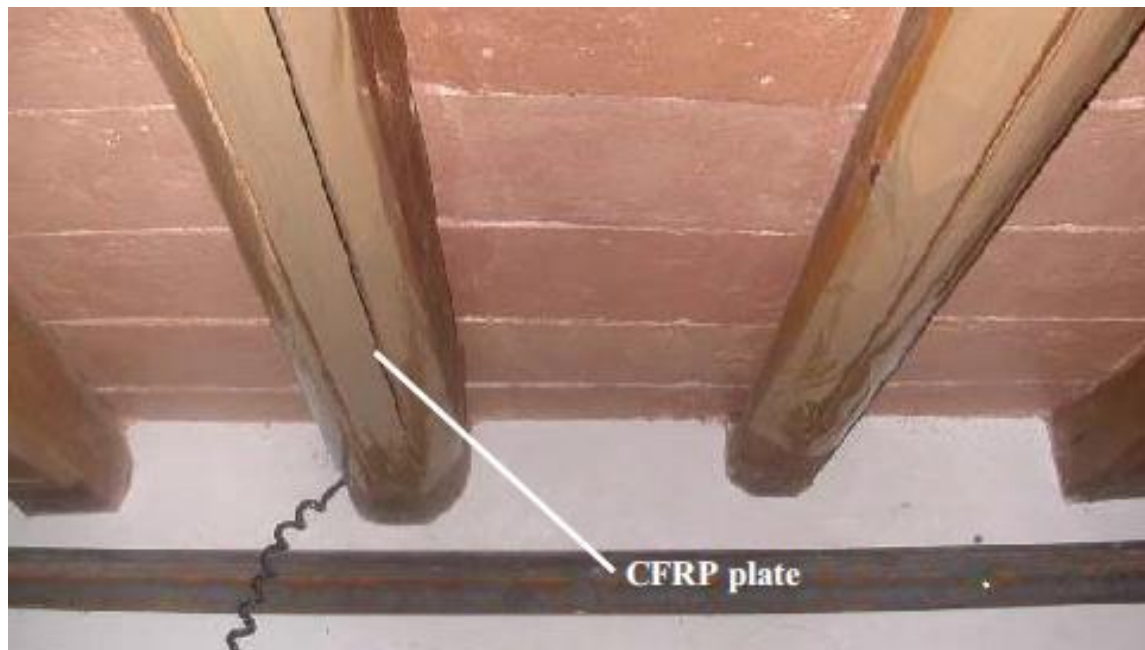
Усиление конструкций производилось под руководством инженеров Giannantoni A., Menghini F. и профессора Borri A.

**Усиление балок перекрытия дворца Палаццо Нобили,  
ранее Банк Италии в г. Лукке, Италия. 2005г.**

Поражение отдельных участков балочной конструкции насекомыми.

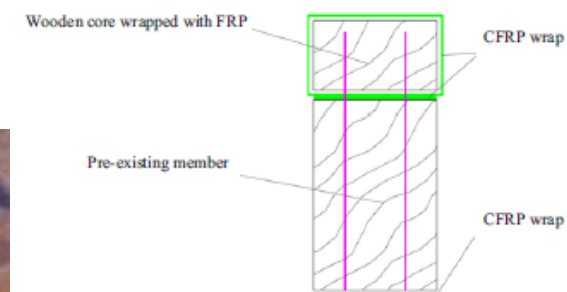
Выполнено усиление растянутой зоны балок перекрытия ламинатами на основе углеродного волокна (CFRP) по руководству инженеров M. Martinelli, Legno Piu. S.r.l





## Усиление балок перекрытия резиденции в г. Сполето, Италия. 2003г.

Чрезмерные прогибы конструкции пола. Усиление конструкций производилось путем клеивания ламелли на основе углеродного волокна в предварительно выбранные в конструкции пазы. Работы выполнены под руководством инженеров Giannantoni A., Menghini F. и профессора Borri A.



## Усиление балочного перекрытия исторического здания в г. Лукка, Италия. 2004г.

Дефекты в виде трещин в балочных конструкциях при проведении ремонтных работ.

Усиление включало в себя использование однонаправленных углеродных лент в растянутой зоне и усиление сжатой зоны путем внедрения на клеенных стержнях дополнительной балочной конструкции в обойме из композитных углеродных материалов. Работы выполнены под руководством инженеров Giannantoni A., Menghini F. и профессора Borri A.





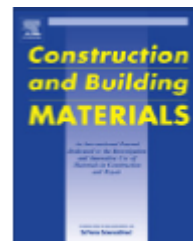
Отклонения геометрических размеров и необходимость увеличения нагрузок на перекрытие в рамках реконструкции.

Усиление выполнено путем наклеивание однонаправленных углеродных лент в растянутой зоне и установке дополнительных хомутов по длине конструкции.

Несущая способность элементов перекрытия увеличена на 27%, снижение деформативности – на 20%. Проект разработан инженерами Geshanov I. и Kachlakev D.









Дефекты, образовавшиеся при ненадлежащих условиях складирования и хранения конструкций.

Проект усиления разработан инженерами компании НИИ ВСУ «ИнтерТЭК».





## **Проблемы внедрения**

## **Основные проблемы, препятствующие широкому внедрению композитных систем внешнего армирования деревянных конструкций**

1. Отсутствие нормативной базы как следствие недостаточного объема исследований в данной области
2. Высокая стоимость полимерных композитов на основе углеродного и арамидного волокна по сравнению с традиционными материалами
3. Особенности анатомического строения древесины
4. Низкая огнестойкость композитных систем внешнего армирования
5. Иные

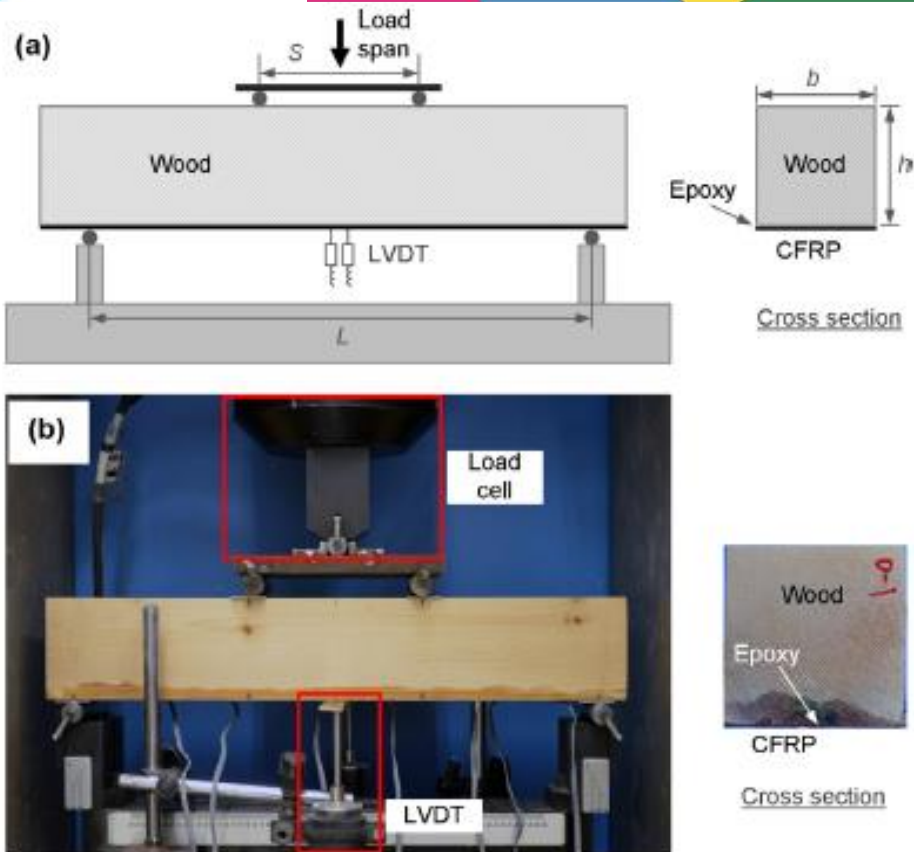


Fig. 2. (a) The schematic diagram; and (b) photo of four-point bending test setup.

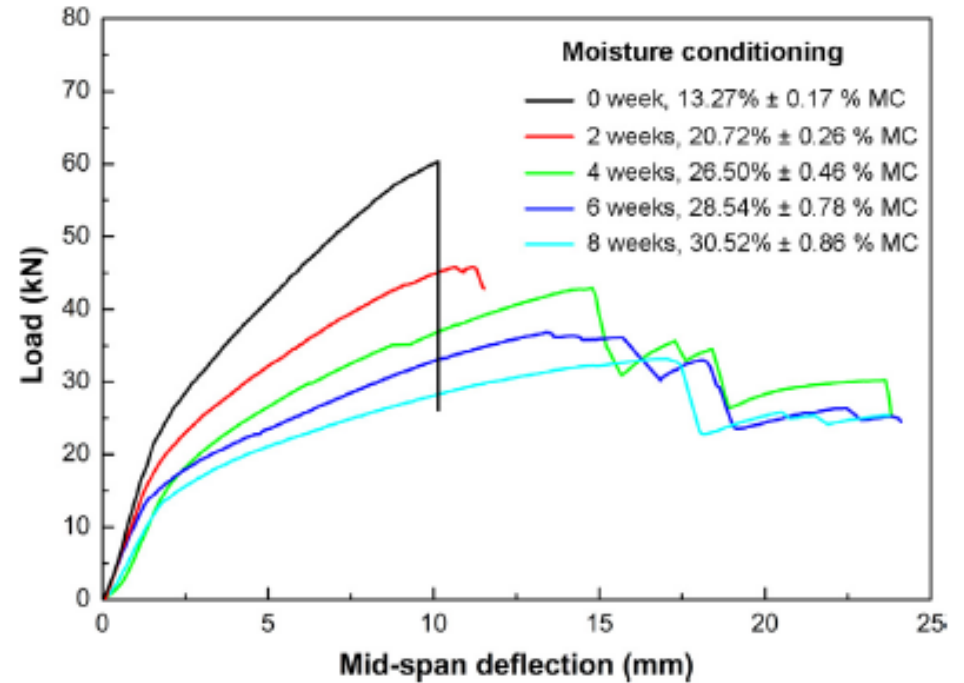
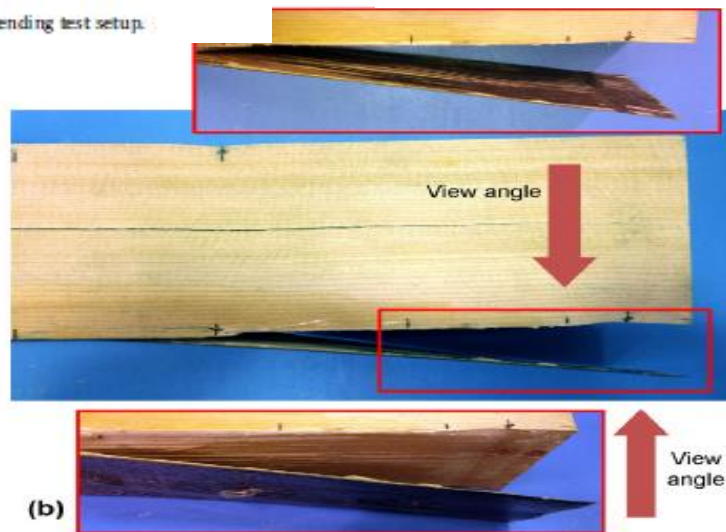
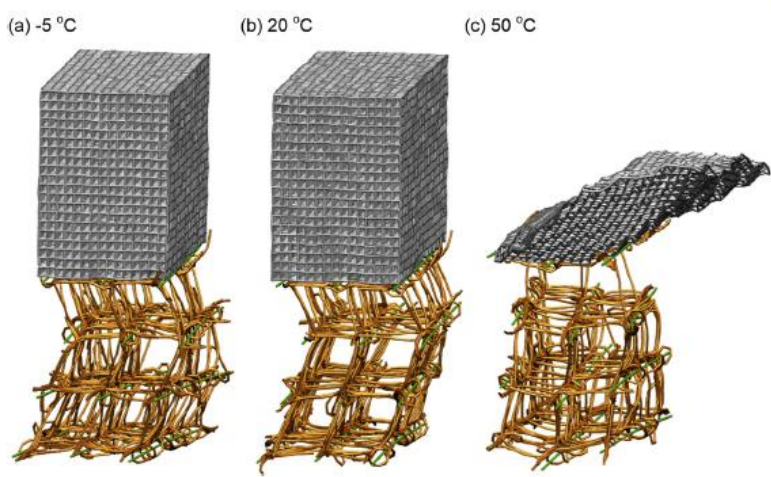
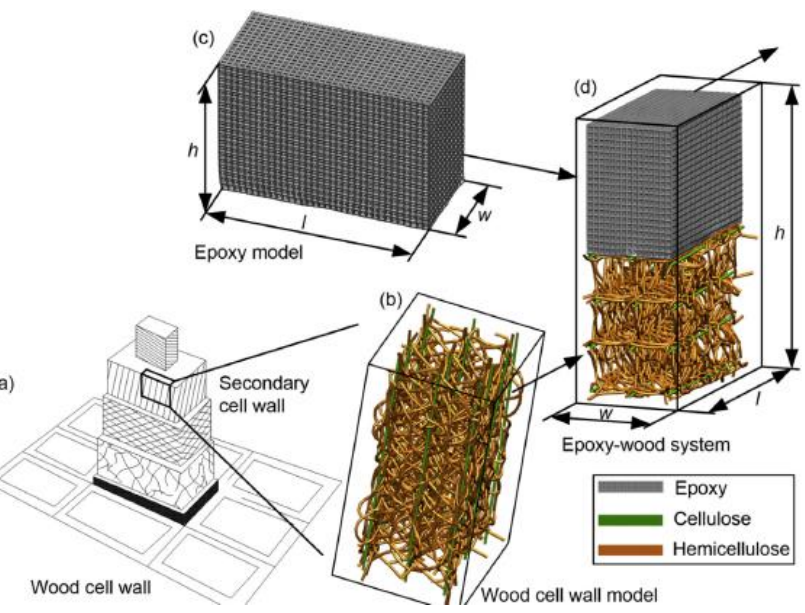
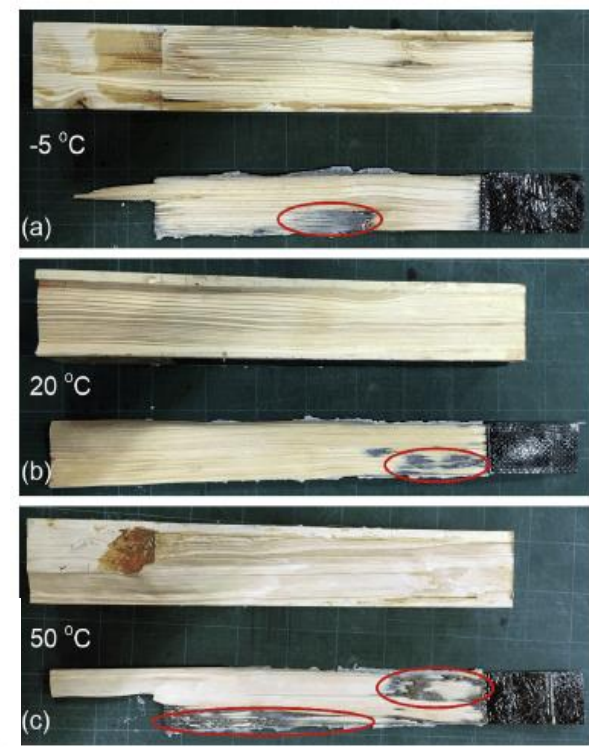
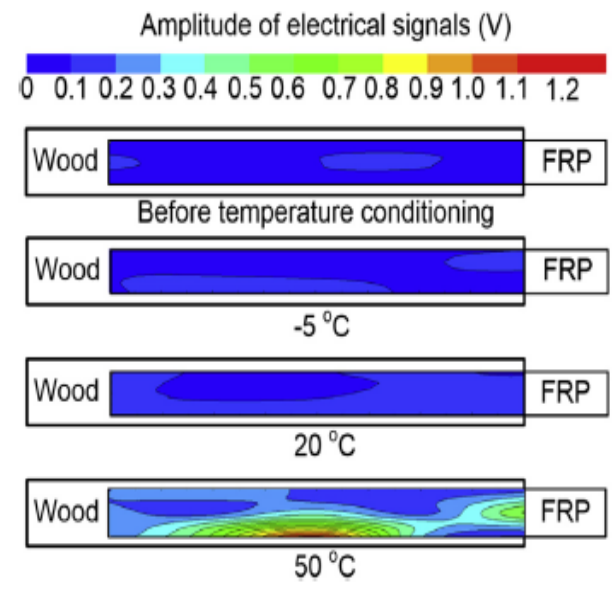
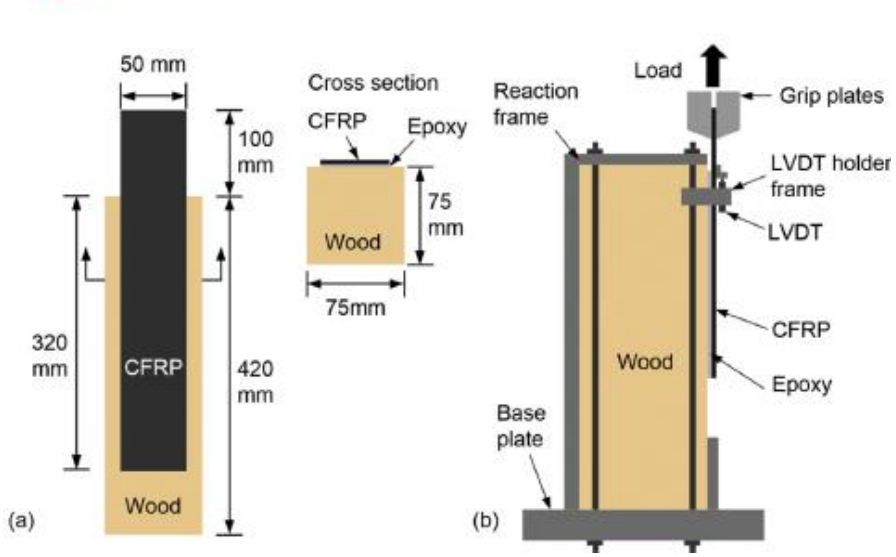


Fig. 5. The load-deflection relationship of CFRP-bonded wood samples after various moisture conditioning durations. The moisture content (MC) is also displayed.

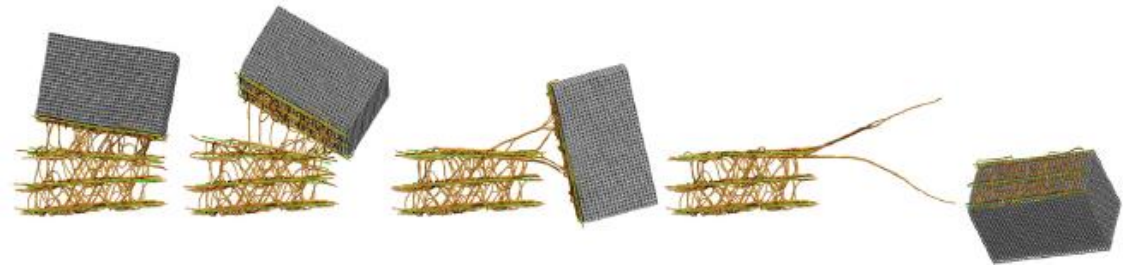


Ao Zhou, Lik-ho Tam, Zechuan Yu, Denvid Lau. Effect of moisture on the mechanical properties of CFRP-wood composite: An experimental and atomistic investigation. *Composites:Part B*. 2015. No. 71. Pp. 63-73.



(a) Initial stage (b) Failure initiation (c) Hemicellulose straining (d) Detached state

Lik-ho Tam, Ao Zhou, Zechuan Yu, Qiwen Qiu, Denvid Lau. Understanding the effect of temperature on the interfacial behavior of CFRP-wood composite via molecular dynamics simulations. *Composites:Part B*. 2017. No. 109. Pp. 227–237.





# eНано

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ  
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

## Спасибо за внимание

-  117036, г. Москва, проспект  
60-летия Октября, 10А,
-  Тел.: +7 495 988 53 88
-  E-mail: [info@edunano.ru](mailto:info@edunano.ru)
-  [www.edunano.ru](http://www.edunano.ru)