

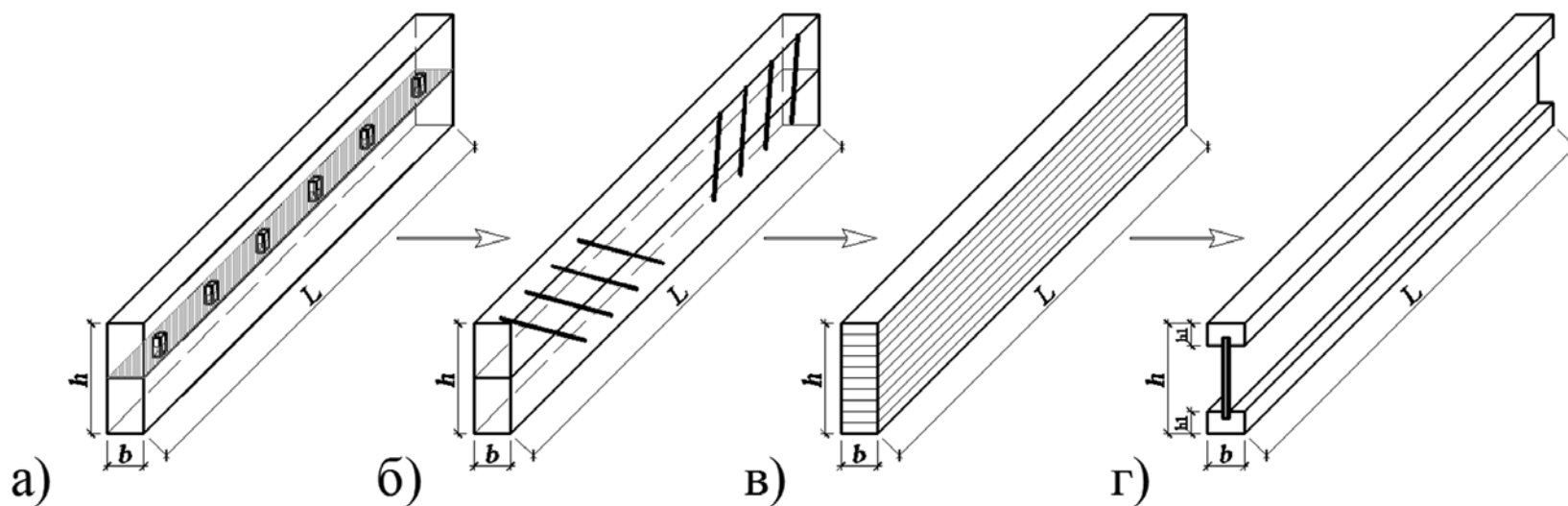


Применение наномодифицированных тканей с целью снижения материалоемкости современных деревянных конструкций

Рощина С.И., д.т.н., профессор, зав. каф. СК ВлГУ
Лисятников М.С., ассистент каф. СК ВлГУ

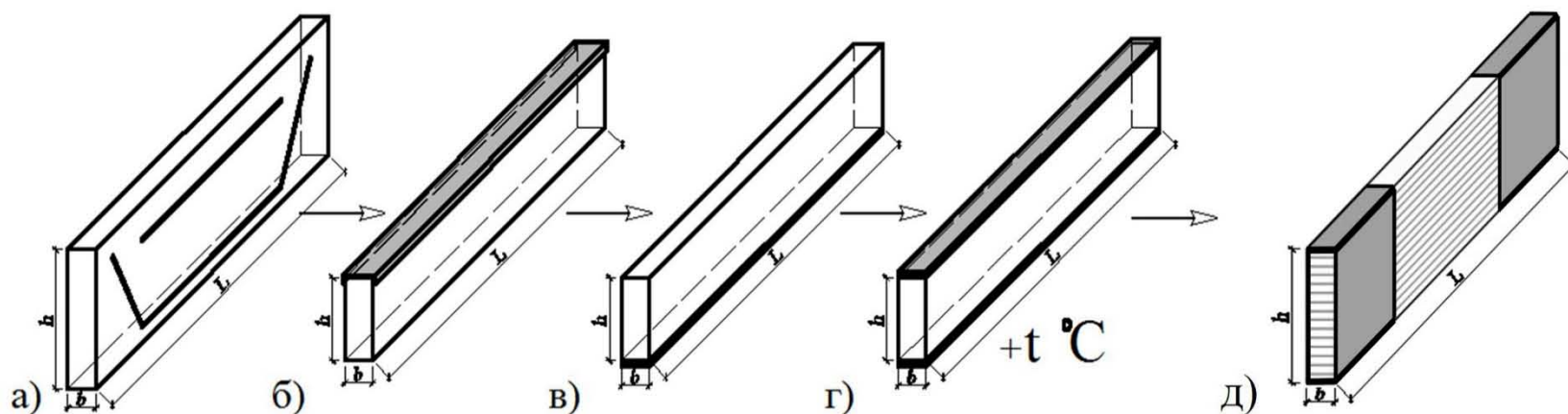


История развития КДК



а) балка на деревянных нагелях; б) балка на металлических стержнях;
в) клеёная балка; г) клеефанерная балка.

Исследования ВлГУ в области ДК и КДК

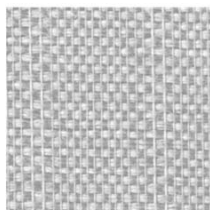


- а) балка армированная круглой арматурой; б) армирование жёсткой арматурой (швеллер); в) армирование стеклотканью в растянутой зоне; г) симметричное армирование стеклотканью с термическим упрочнением клеевой композиции; д) армирование стеклотканью приопорных зон

Стеклоткани



а)



б)



в)



г)



д)

Стеклоткань (стекловолокно) – это тепло-, электро- и гидроизоляционный материал, состоящий из взаимно-перпендикулярно переплетенных нитей стекла диаметром 3-100 мкм.

Основные прочностные свойства стеклотканей

Показатель	Марка исходного стекла				
	А	С	Е	С	Кварцевое
Плотность, кг/м ³	2500	2490	2540	2480	2210
Предел прочности при растяжении (при 22°С), ГПа	3 (100%)	3 (100%)	3,5 (117%)	4,6 (153%)	6 (200%)
Модуль упругости при растяжении (при 22°С), ГПа	74 (107%)	69 (100%)	72 (104%)	86 (125%)	75 (109%)

Виды переплетения
стеклотканей:

- а) полотняное; б) сеточное;
в) саржевое; г) сатиновое;
д) однонаправленная



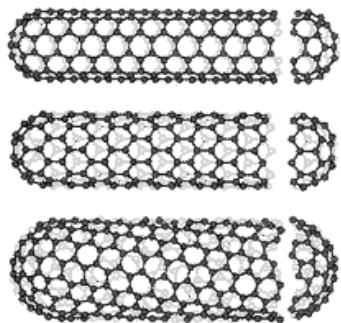


Нанотехнологии в технических отраслях

Углеродный материал «Таунит» М» чистотой >98% - многослойные углеродные нанотрубки длиной более 2 мкм с наружным диаметром 8...15 нм, внутренним диаметром 4...8 нм и удельной поверхностью 300 м²/г

Характеристики углеродных нанотрубок (УНТ)

УНТ





Балки, армированные в растянутой зоне

Маркировка балок сечением 100x70 мм,
пролетом 2250 мм:

Серия БД-1 – деревянные балки без армирования;

Серия БК-1 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, проклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;

Серия БК-2 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, проклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;

Серия БКУНТ-1 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок концентрацией 0.3%;

Серия БКУНТ-2 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок концентрацией 0.3%.



Численный метод расчета

1. Балка БД достигает предела прочности на сжатие при нагрузках:

в линейной постановке – 990 кг;

в нелинейной постановке – 1370 кг/м.

Таким образом, учет действительной работы древесины идет в запас, составляющий 1,4 раза.

2. Напряжения сжатия в древесине балок достигают расчетного сопротивления при нагрузках:

для балок БД - 1040 кг;

для балок БК-1 - 1600 кг;

для балок БК-2 - 1760 кг;

для балок БКУНТ-1 - 2030 кг;

для балок БКУНТ-2 - 2550 кг.

Таким образом, напряжения в древесине деревокомпозитных балок уменьшаются при использовании наноклеевой композиции по сравнению с обычной деревянной балкой (в 2 раза) и деревокомпозитной балкой без использования углеродных нанотрубок (в 1,4 раза).

Экспериментальная установка

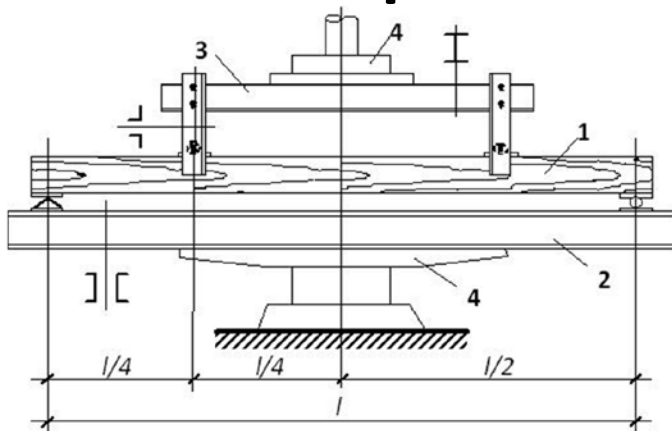


Схема экспериментальной установки для испытания балок пролетом 2,25 м:

- 1 – армированная деревянная балка
- 2 – реактивная балка [№14;
- 3 – распределительная траверса I №10;
- 4 – гидравлический пресс.

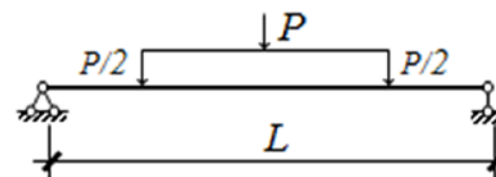


Схема нагружения

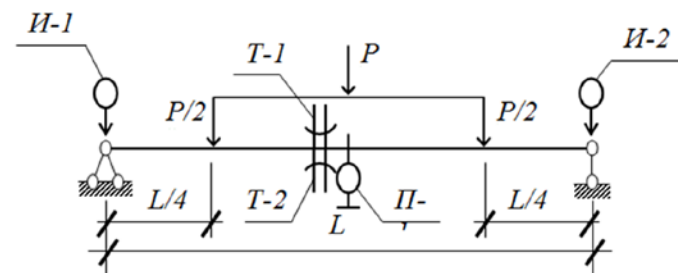


Схема расположения измерительных приборов:

- П-1 – прогибомер марки 6-ПАО;
- Т-1, Т-2 – тензометры Гукенбергера;
- И-1, И-2 – индикаторы часового типа.



Результаты исследования

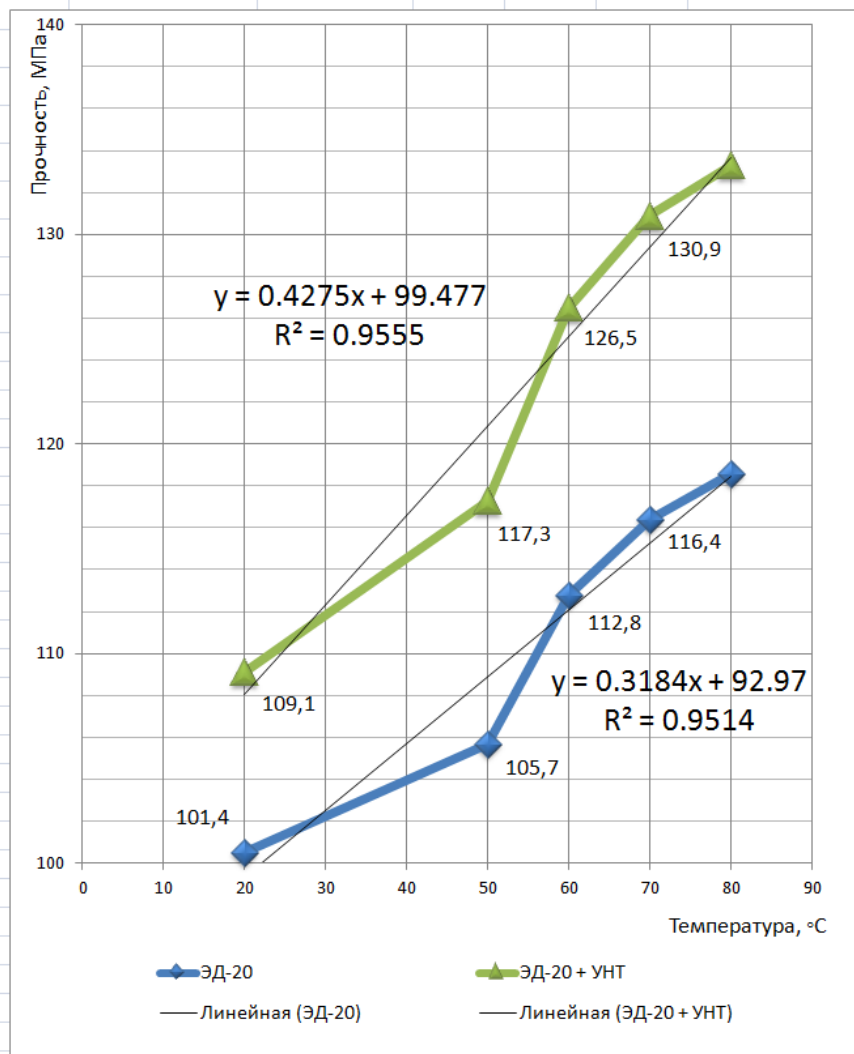
В предложенной конструкции деревокомпозитных балок обеспечивается уменьшение поперечного сечения на 20...25%, повышение прочности на 34...56%, уменьшение деформативности на 24...42% по сравнению с обычными деревянными балками



Балки с симметричным армированием



Исследование модифицированных клеевых составов





Исследование модифицированных клеевых составов

Вид испытываемой смолы	Холодное отверждение, МПа		Двухстадийное отверждение при температуре второй стадии, МПа:					
	t=20 ⁰ C		t=50 ⁰ C		t=60 ⁰ C		t=70 ⁰ C	
Эпоксидная смола ЭД-20	97,5	101,4 (100%)	102,3	105,7 (104%)	108,6	112,8 (111%)	114,6	116,4 (114%)
	104,9		104,9		111,3		116,9	
	98,6		104,6		111,1		118,2	
	102,3		103,2		112,9		114,9	
	98,1		108,6		109,8		113,8	
	101,0		106,4		116,5		118,6	
	108,1		109,4		114,8		117,2	
	98,4		106,7		116,2		116,9	
	103,6		105,6		114,6		116,2	
Эпоксидная смола ЭД-20 с включением УНТ	112,4	109,1 (107%)	116,3	117,3 (115%)	125,6	126,5 (125%)	129,6	130,9 (129%)
	108,6		114,9		128,3		128,6	
	106,5		120,4		122,4		134,9	
	112,4		116,4		124,3		132,0	
	106,9		118,3		126,2		129,3	
	107,5		120,5		129,7		132,8	
	111,5		116,4		127,2		132,4	
	106,0		115,3		125,1		128,3	
	109,7		117,5		129,6		130,5	



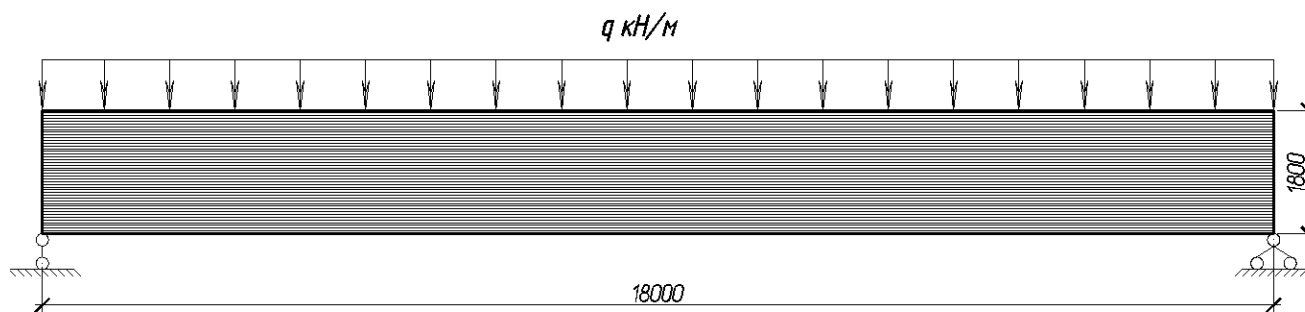
Экспериментальные исследования

В предложенной конструкции симметрично армированных деревокомпозитных балок обеспечивается уменьшение поперечного сечения на 18...24%, повышение прочности на 58...68%, уменьшение деформативности на 46...52% по сравнению с обычными деревянными балками. Повышение прочности достигается на 15...19 %, и уменьшение деформативности на 12...16% по сравнению с деревокомпозитными балками с одиночным армированием.



Балки с армированием приопорных зон

Схема загрузки балки



Обозначение балок

ДКБ – деревоклееная балка;

ДКБ_у¹ – деревоклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в один слой ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 0,95\%$);

ДКБ_у³ – деревоклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в три слоя ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 2,8\%$);

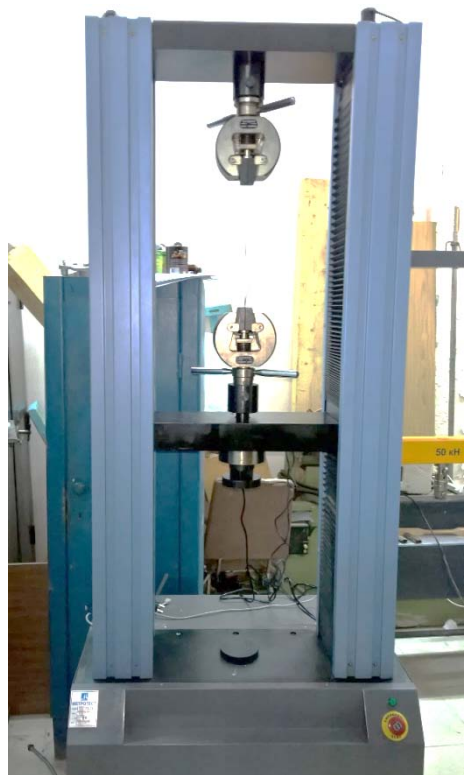
ДКБ_у⁵ – деревоклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в пять слоев ($l_{об} = 1,8$ м, $\mu = 4,7\%$);



Численный метод расчета



Исследование усиленных образцов

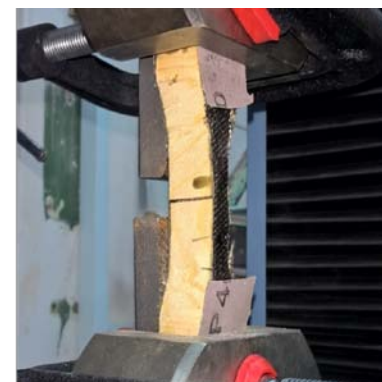


Общие виды испытания опытных образцов на скалывание вдоль волокон



Общие виды испытания опытных образцов на сжатие поперек волокон

Установлено, что предел прочности деревокомпозитных образцов увеличивается при скалывании до 49%, сжатии поперек волокон – 39%, растяжении под углом к волокнам – в 2 раза.



Общие виды испытания опытных образцов на растяжение под углом к волокнам



Технология усиления ДК и КДК наномодифицированными тканями

Механическая обработка древесины



Подготовка стеклоткани

Раскрой рулонов стеклоткани по требуемым размерам изготавливаемой балки



Приготовление клеевой нанокompозиции

Ультразвуковое диспергирование нанотрубок; Смешивание раствора, содержащего УНТ с эпоксидной смолой; Термообработка нанодисперсии; Добавка отвердителя.

Эпоксидно-диановая неотвержденная смола марки ЭД-20 – 100 вес. ч.;

Отвердитель – полиэтиленполиамин (ПЭПА) – 10...15 вес. ч.;

Растворитель – стеариновая кислота – 0,5...2,0 вес. ч.; УНТ «Таунит» М» – 0,3 вес. ч.

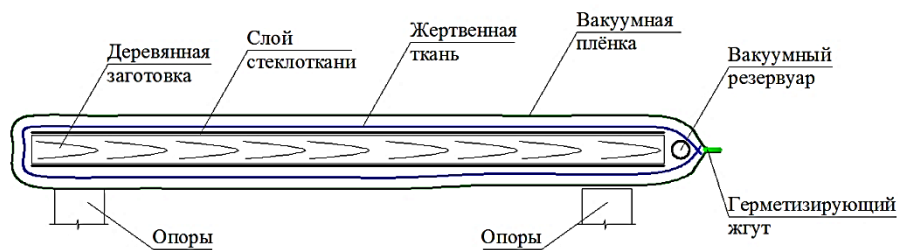
Технология усиления ДК и КДК наномодифицированными тканями

Механическая обработка древесины

Процесс склеивания деревянной заготовки и элемента усиления производили по методу вакуумной инфузии.

Преимущества метода:

- Возможность изготовления крупногабаритных изделий;
- Снижение количества отходов;
- Низкая стоимость материалов и оборудования;
- Улучшение соотношения армирующего материала и смолы.



Технология усиления ДК и КДК наномодифицированными тканями

Тепловая обработка конструкции

Для соблюдения технологического процесса композитная конструкция прогревается до температуры 60-70оС и выдерживается в течении шести часов. При этом влажность воздуха в камере поддерживают 70-80%, чтобы не происходило дальнейшего высыхания древесины конструкции.



Приемка готовой балки

Окончательная обработка, контроль качества, маркировка, паспортизация, упаковка и транспортировка, складирование готовой продукции