

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Выпускная квалификационная работа Совместная работа деревянной балки с элементами усиления композитными материалами

Выполнил студент группы: м1-СТЗС21 Асрян К.В.

Руководитель работы: к.т.н., доцент. Муртазин М.Р.



Саратов 2019 год



Цели работы

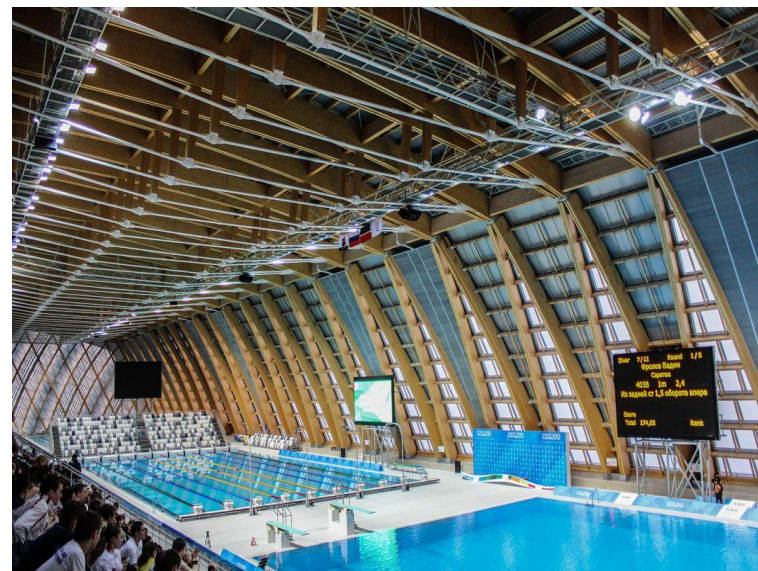
- 1) Обзор и анализ существующих методов усиления деревянных конструкций, в том числе полимерными композитными материалами.
- 2) Теоретическое исследование деревянных балок, усиленных полимерными композитными материалами при продольном армирование.
- 3) Численные исследования деревянных балок, усиленных полимерными композитными материалами методом внешнем симметричном продольным армированием по всей длине конструкции и усилением только на участках с максимальными напряжениями.
- 4) Составление рекомендаций по проектированию и производству работ по усилению деревянных балок



Глава 1. Деревянные конструкции и опыт их усиления.



Von Daehninkatu, Sandvika



Дворец водных видов спорта в г. Казань



Жилой дом Маррей Гров в г. Лондон



Склад минеральных солей в Пермском крае

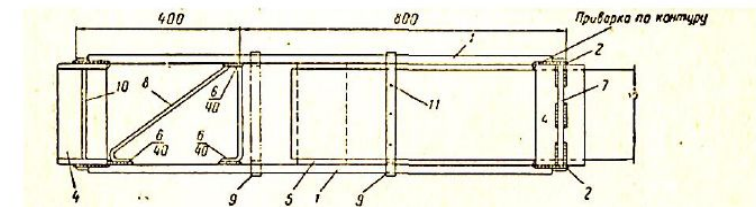
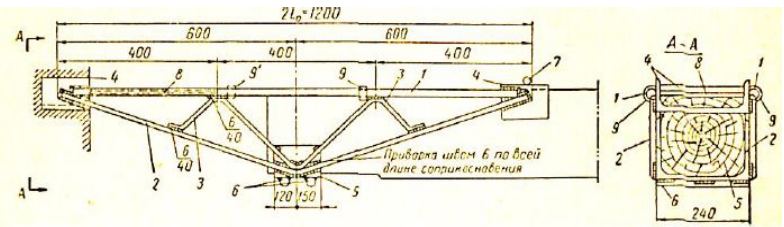


Фрагменты конструкций
покрытия с биопоражением

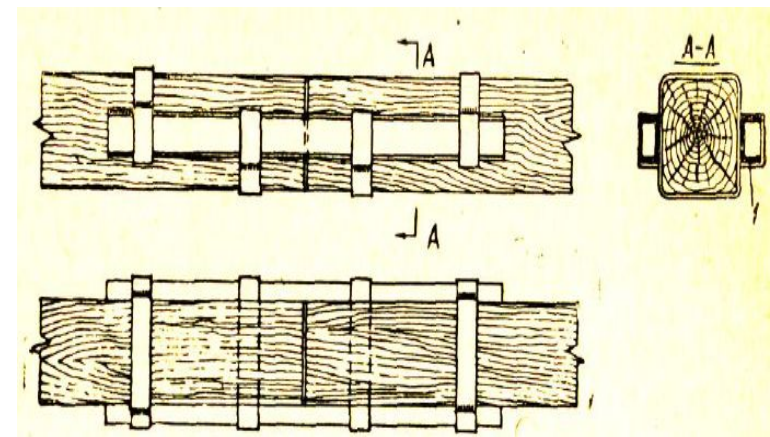


Разрыв нижнего пояса сегментной фермы

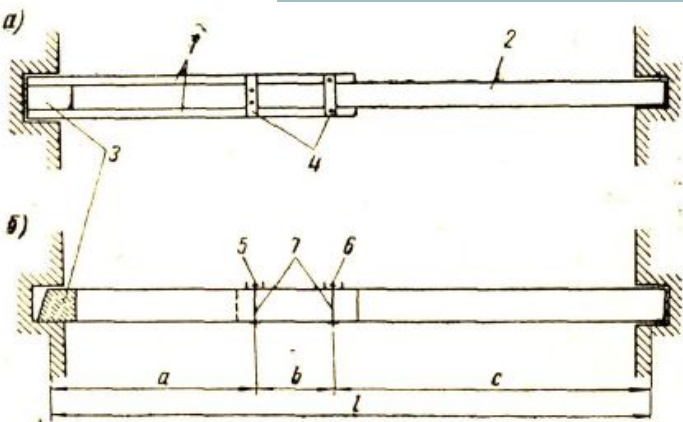
Классические методы усиления



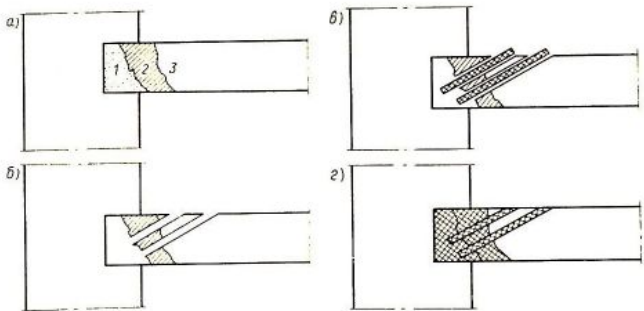
Усиление балок при помощи прутковых протезов



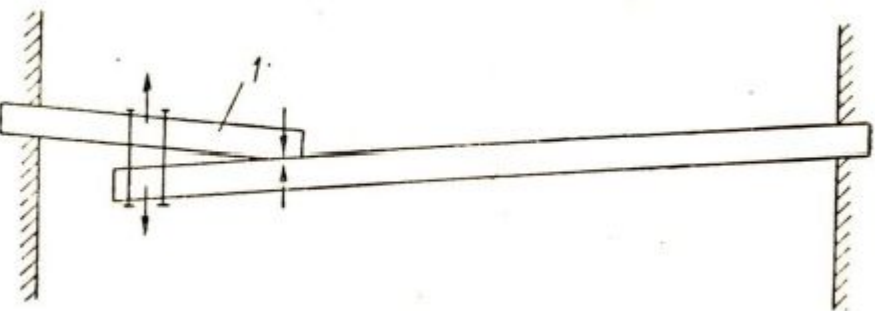
Усиление балок балочными протезами из жёстких профилей



Усиление балок наращиванием

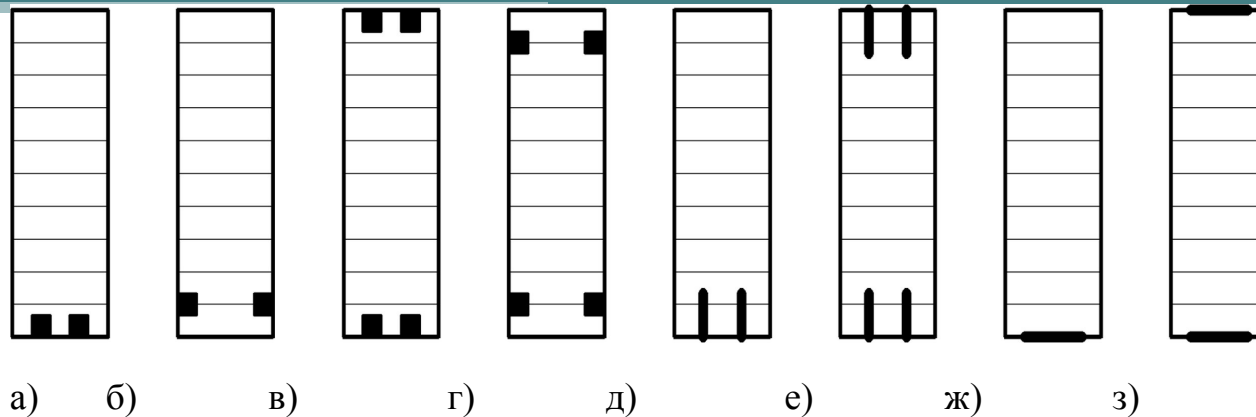
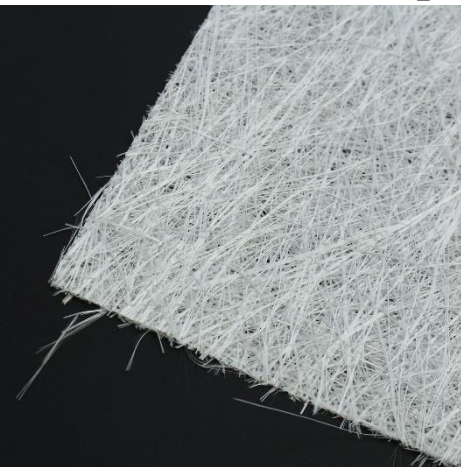


Усиление балок протезами из пластмасс



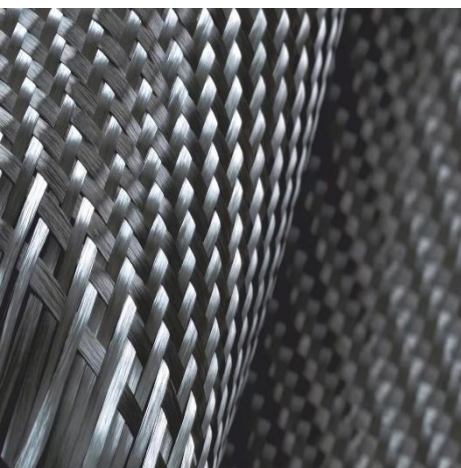
Усиление балок способом «надбалок» и «подбалок»

Виды полимерных композитных материалов



а-г) армирование стержнями; д-е) армирование ламелями; ж-з) внешнее армирование ламелями и тканями

Стекловолокно



Углеродное волокно



Арамидное волокно

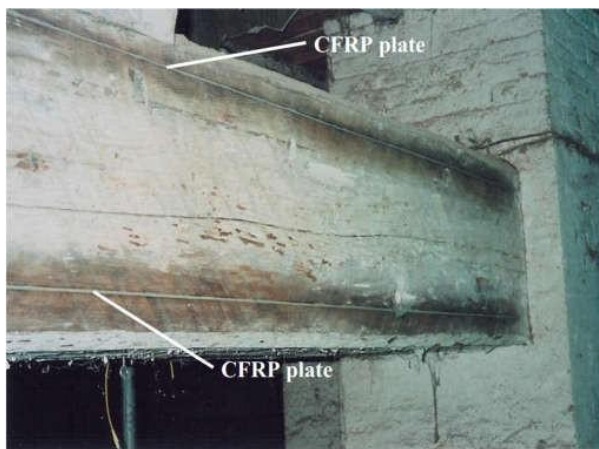
Характеристики стекло-, арамидо- и углеволокна

Вид волокон	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см ³	Относительное удлинение при разрыве, %
Стекловолокно E	3100-3500	76-78	2,50-2,60	4,50-4,90
Стекловолокно S	4380-4590	88-91	2,48-2,49	4,50-4,90
Стекловолокно AR	3100-3500	72-74	2,60-2,70	2,0-2,40
Арамидоволокно Kevlar® 49	3000	110-120	1,45	2,40
Углеродные волокна HS	3900-5000	215-245	1,80	1,10
Углеродные волокна HM	1800-3100	300-450	1,80-1,85	0,50
Углеродные волокна UHM	1200-2200	500-600	2,0-2,1	0,20

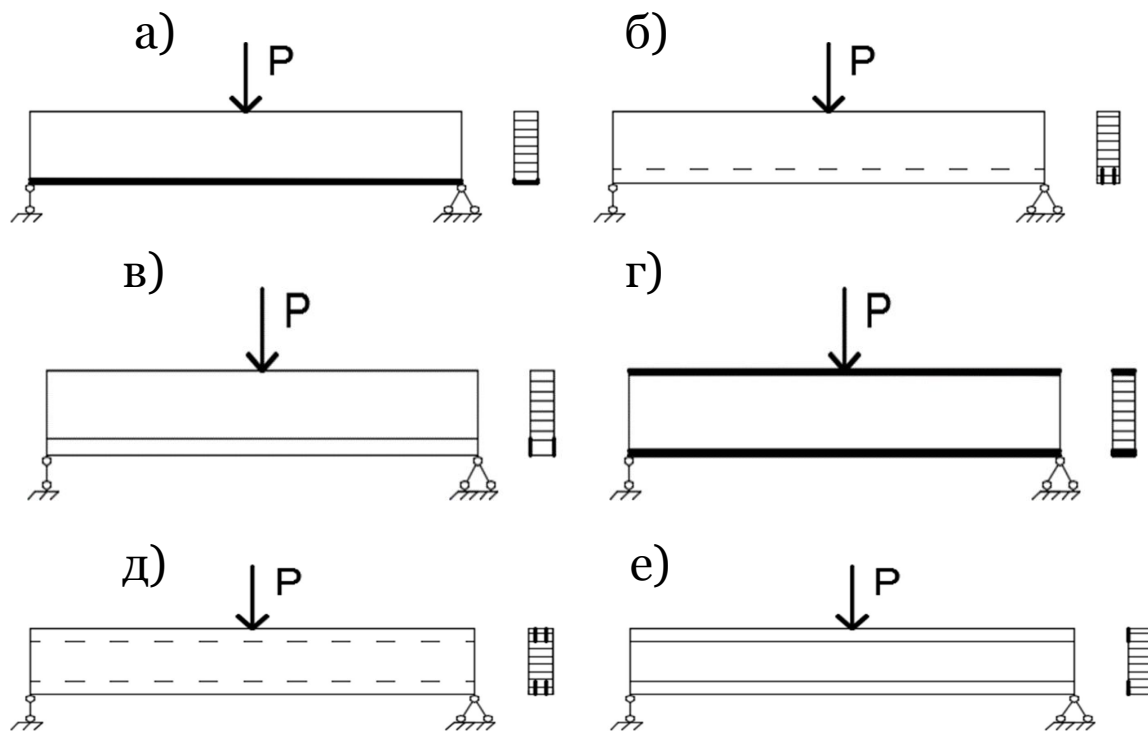
Глава 2. Теоретические исследования деревянных конструкций, усиленных полимерными композитами.



Усиление балок перекрытия в здании гольф-клуба, Болгария

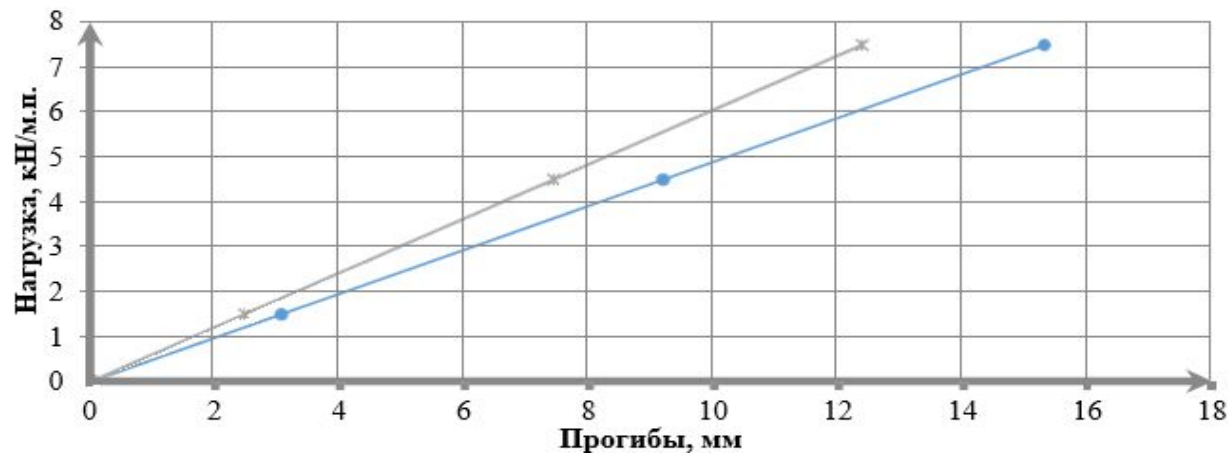


Усиление балок перекрытия в здании гольф-клуба, Болгария



Схемы усиления растянутой зоны: а – ламелями или ткаными материалами; б – ламелями, вклеенными в пазы; в – ламелями, наклеенными на боковые грани; Симметричное внешнее армирование ламелями: г – по верхней и нижней грани; д – вклеенными в пазы; е – наклеенными на боковые грани

Глава 2. Теоретические исследования деревянных конструкций, усиленных полимерными композитами.



— Балка без усиления ($\mu=0\%$); — Балка+углепластик ($\mu=0.875\%$).

Сравнительный график зависимости прогибов от нагрузки.

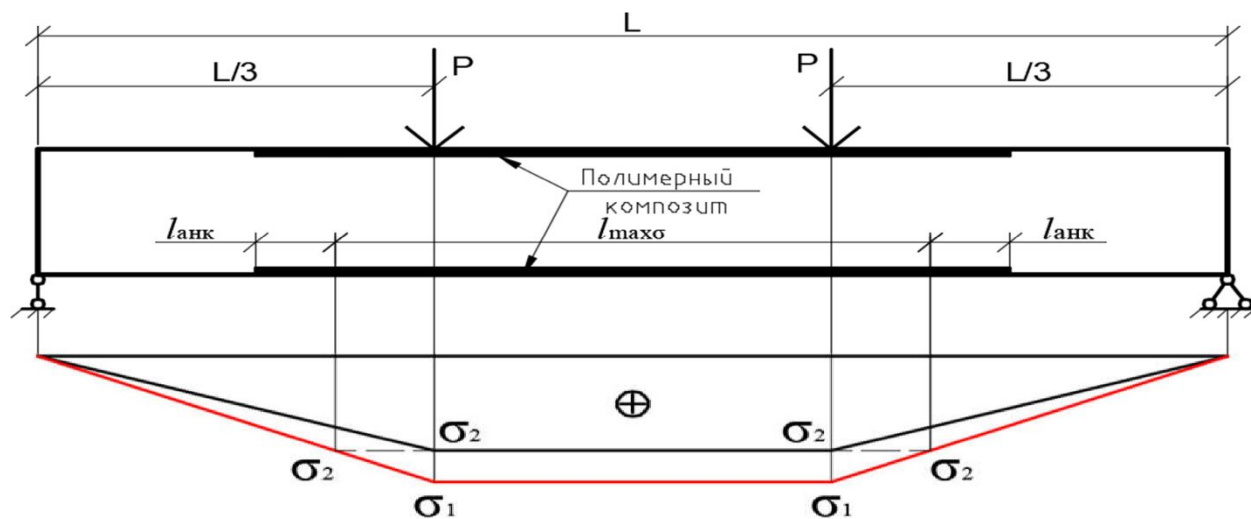
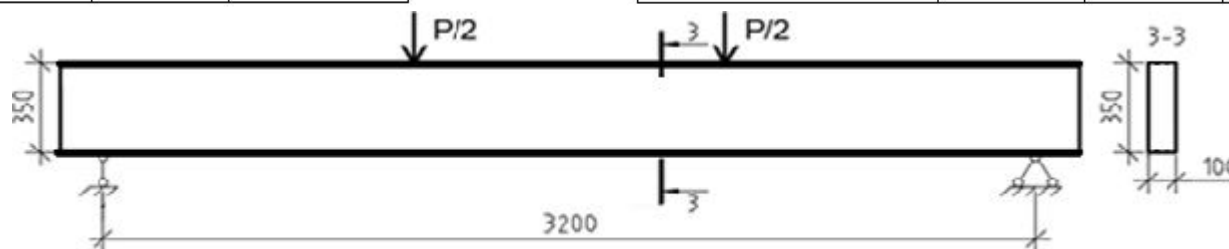


Схема продольного армирования на участке действия максимальных усилий

Глава 3. Численные исследования деревянных конструкций, усиленных полимерными композитами

Название характеристики	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
Плотность	ρ	кг/м ³	500
Модуль упругости X	E_x	ГПа	0,4
Модуль упругости Y	E_y	ГПа	0,4
Модуль упругости Z	E_z	ГПа	10
Коэффициент Пуассона XY	ν_{xy}	-	0,3
Коэффициент Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0,018
Коэффициент Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0,018
Модуль сдвига XY	G_{xy}	МПа	80
Модуль сдвига YZ	G_{yz}	МПа	500
Модуль сдвига XZ	G_{xz}	МПа	500

Название характеристики	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
Ламели из углепластика			
Плотность	ρ	кг/м ³	1600
Модуль упругости X	E_x	ГПа	9,45
Модуль упругости Y	E_y	ГПа	9,45
Модуль упругости Z	E_z	ГПа	230
Коэффициент Пуассона XY	ν_{xy}	-	0,4
Коэффициент Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0,0122
Коэффициент Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0,0122
Модуль сдвига XY	G_{xy}	МПа	3900
Модуль сдвига YZ	G_{yz}	МПа	5500
Модуль сдвига XZ	G_{xz}	МПа	5500



Метод внешнего симметричного продольного усиления конструкции углепластиковыми ламелями по граням.

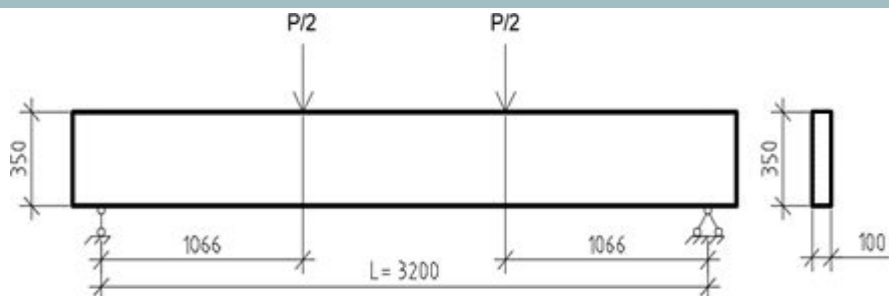
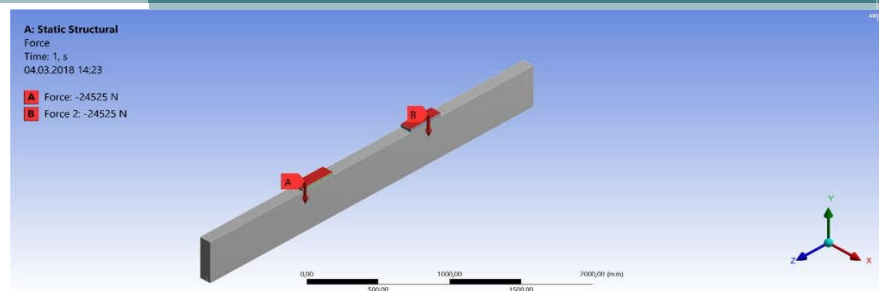
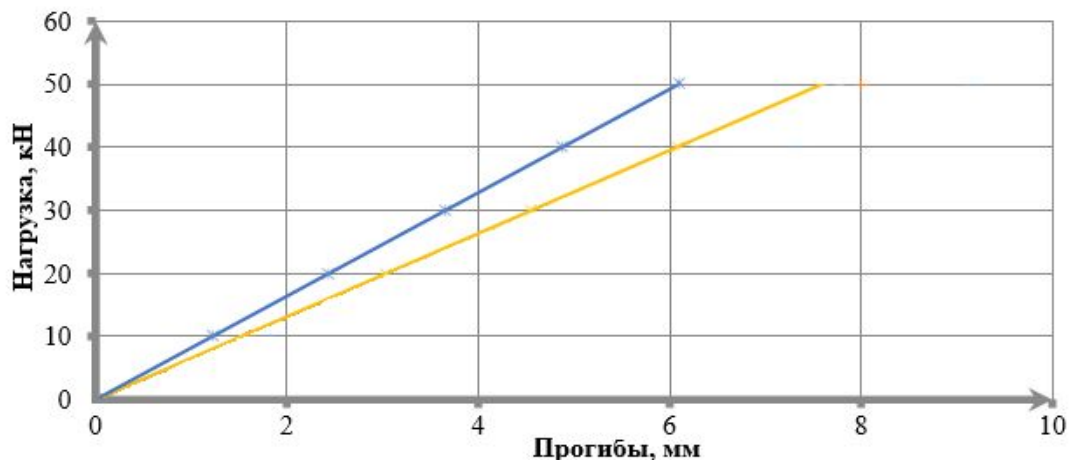


Схема приложения нагрузки на балку

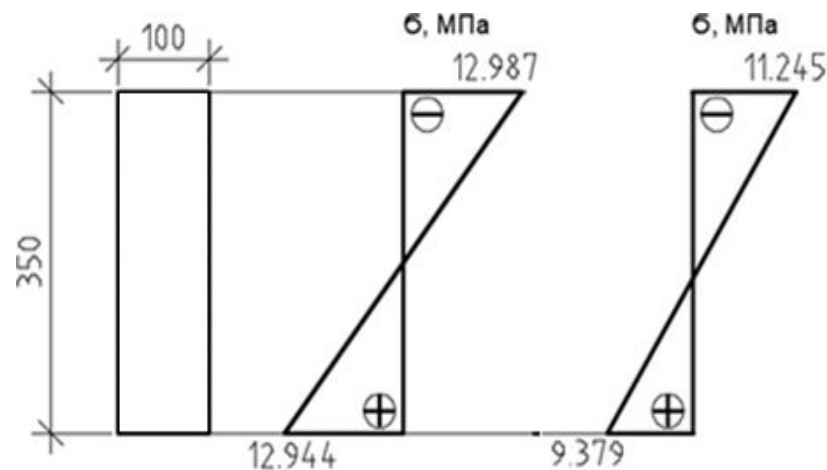


Общий вид расчетной модели в «ANSYS»



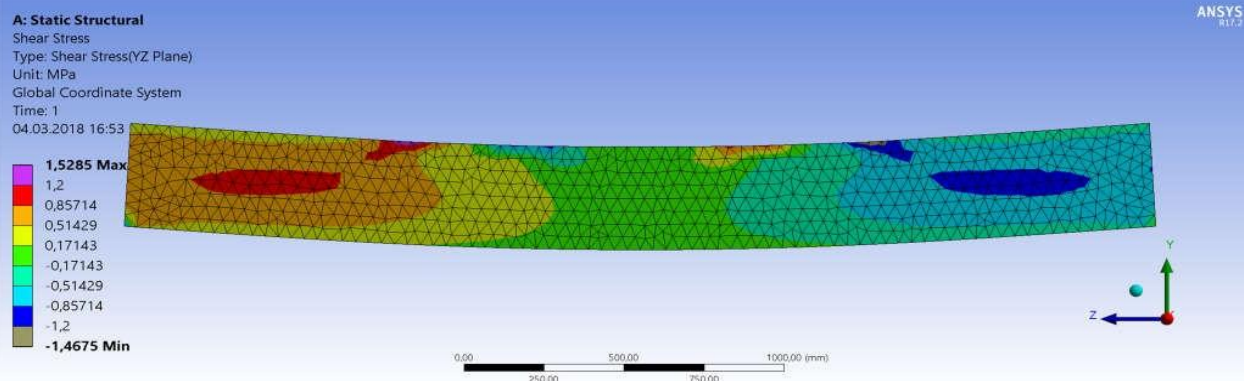
--- Без усиления; --- С усилением.

График зависимости прогиба от нагрузки



1) Без усиления; 2) С усилением.

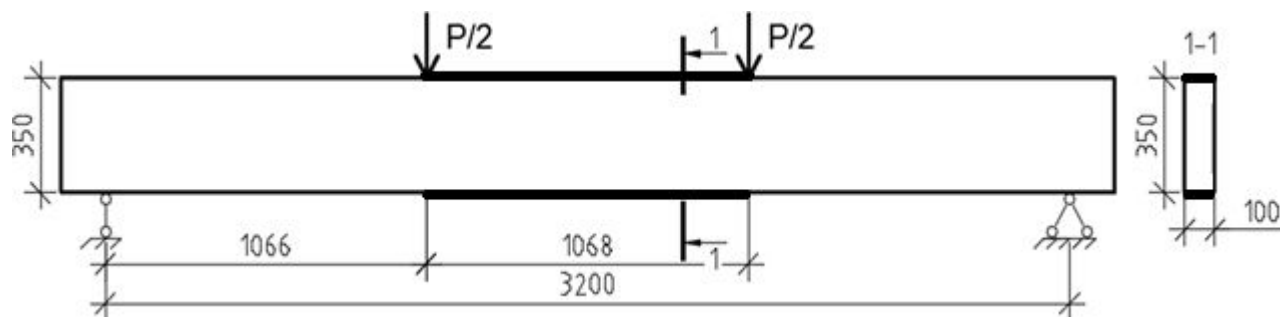
Эпюры нормальных напряжений в балке при усилении углепластиковыми ламелями



Изополя касательных напряжений в опытной балке

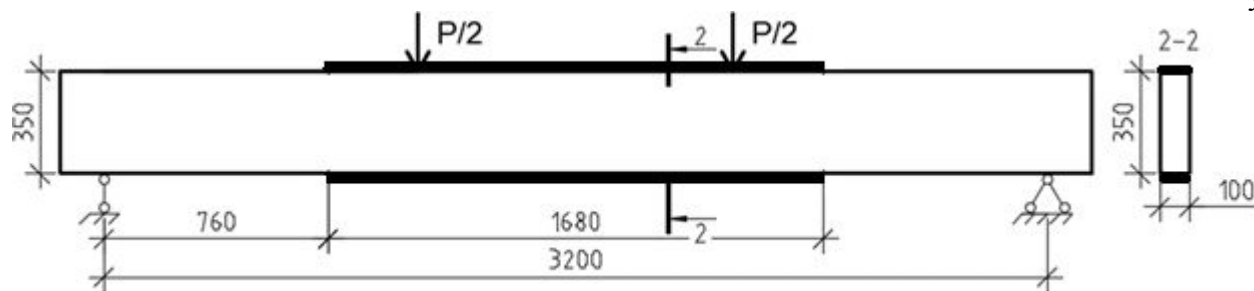
Глава 3. Численные исследования деревянных конструкций, усиленных полимерными композитами

а)

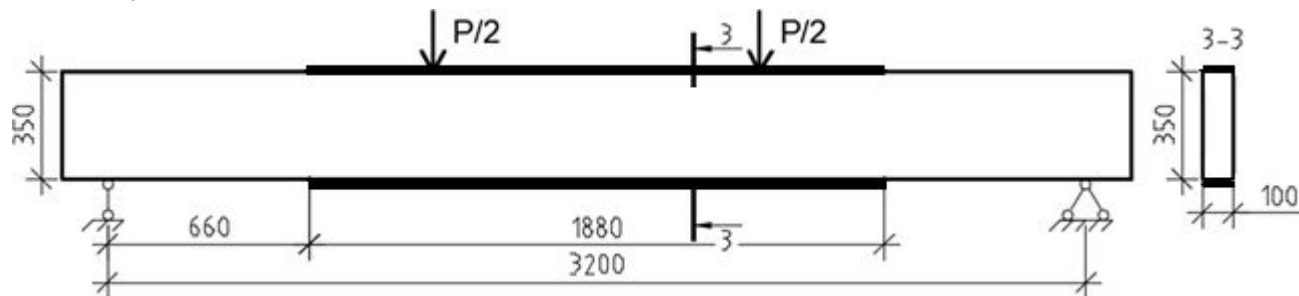


а – длина ламели 1068мм; б – длина ламели 1680мм; в – длина ламели 1880мм

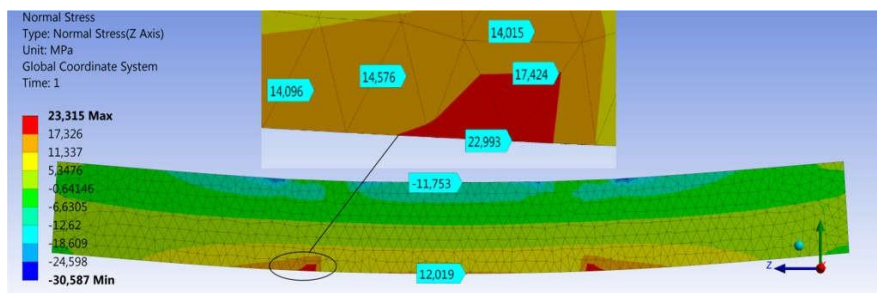
б)



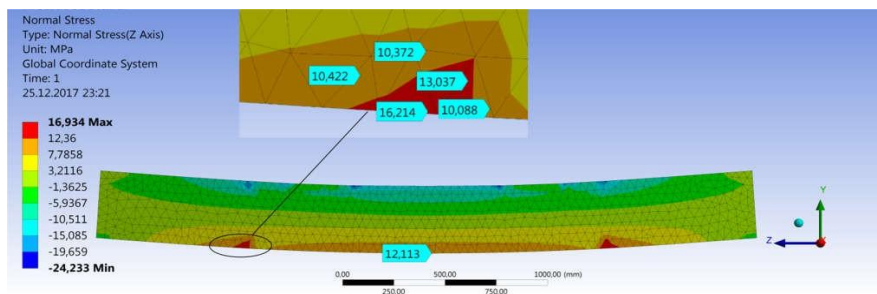
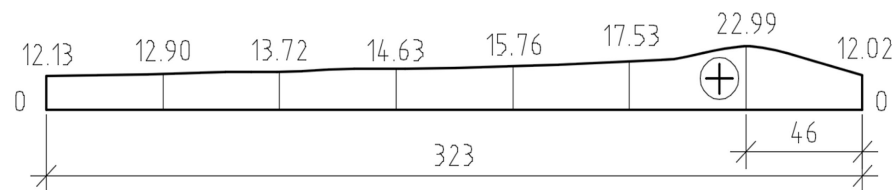
Схемы балок армированных углепластиковыми ламелями по граням



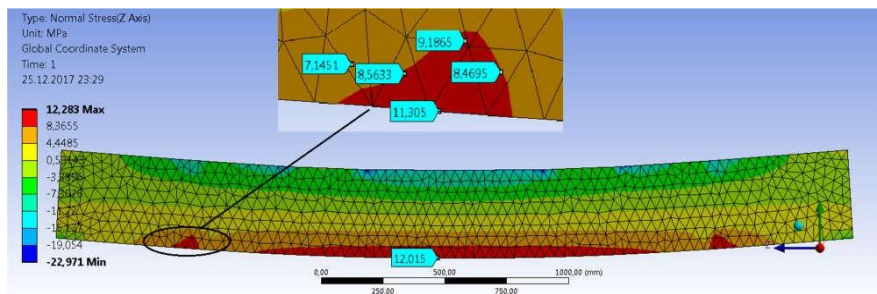
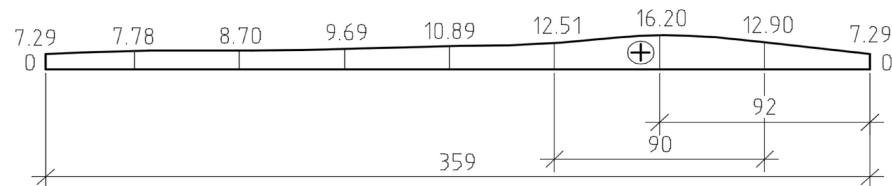
Глава 3. Численные исследования деревянных конструкций, усиленных полимерными композитами.



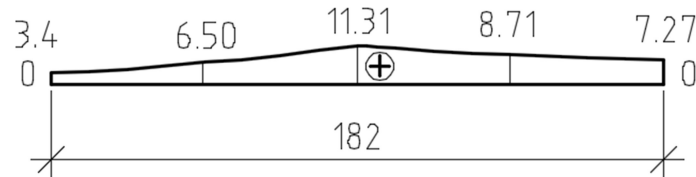
Изополя нормальных напряжений в древесине при длине углепластиковой ламели 1068мм и эпюра нормальных напряжений в древесине в зоне концентрации на границе обрыва композита.



Изополя нормальных напряжений в древесине при длине углепластиковой ламели 1680мм и эпюра нормальных напряжений в древесине в зоне концентрации на границе обрыва композита.



Изополя нормальных напряжений в древесине при длине углепластиковой ламели 1880мм и эпюра нормальных напряжений в древесине в зоне концентрации на границе обрыва композита.



Глава 4. Рекомендации по проектированию и производству работ по усилению изгибаемых деревянных конструкций

Анализ работы конструкции и выбор способа усиления.

При создании проекта для новых конструкций у здания должна быть:

- 1) Проектная документация;
- 2) Мотив для выполнения усиления;
- 3) Цель проекта усиления;
- 4) Планируемые полезные нагрузки после производства работ по усилению;
- 5) Условия эксплуатации здания, планируемые после усиления.

Мероприятия по защите конструкций от биопоражений.

Для предотвращения биопоражения древесины необходимо выполнять химическую обработку конструкций, она предусматривает обработку конструкций инсектицидами, антисептиками, лакокрасочными составами комплексного действия, консервантами. Инсектициды и антисептики предназначены для прекращения и/или устранения жизнедеятельности насекомых и грибов. За долгие годы практики и исследования в сфере деревянного строительства было придумано больше количество химических составов для различных условий эксплуатации и различных пород древесины. Подробное описание составов и условий их применения приведено в труде Ломакина А.Д. «Защита деревянных конструкций»

Соединение древесины с полимерным композитом.

Главными требованиями для клеевого соединения, является:

- 1) Высокая механическая прочность и жесткость;
- 2) Устойчивость к воздействию циклических нагрузжений;
- 3) Устойчивость к температурно-влажностному режиму;
- 4) Долговечность;

Характеристики древесины усиливаемой конструкции

Если усиление производится на новых конструкциях, то прочностные характеристики древесины учитываются непосредственно, которые указаны в паспорте качества и гарантируются заводом изготовителем. При усилении уже существующих и уже эксплуатируемых конструкций, то здесь необходимо соблюдение всех правил и мероприятий по проведению детального (инструментального) сплошного обследования.

По результату проведенного обследования составляется дефектная ведомость и отчетная документация с оценкой технического состояния конструкции, результатами выполненных испытаний и данными поверочных расчетов.

Мероприятия по огнезащите конструкций

Одним из эффективных путей снижения пожарной опасности ПКМ и конструкций из них является применение вспучивающихся и теплоизоляционных огнезащитных покрытий. Одновременно со снижением горючести, воспламеняемости и распространения пламени, такие покрытия

Общий вывод по проделанной работе

1. Строительство из древесины активно развивается и спрос на этот материал и его производные ежегодно возрастает. Экологичность, небольшой собственный вес, низкая стоимость делают использование этого материала приоритетным в жилищном строительстве, а высокая устойчивость к воздействию химически агрессивных сред позволяет применять его в аквапарках, бассейнах, складах минеральных удобрений и солей.

2. Необходимость усиления деревянных конструкций возникает не только в старых зданиях и сооружениях, но и в современных. Это может быть связано со сменой назначения здания, увеличением полезных нагрузок, ремонтом поврежденных элементов, устранением заводского брака.

3. Анализ отечественных и зарубежных исследований в области усиления деревянных конструкций полимерными композитами показал, что данная область является недостаточно изученной во всем мире, а объем проводимых исследований недостаточен для создания полноценного нормативного документа и руководства для проектирования усиления.

4. Исследования носили комплексный характер и включали теоретические и численные исследования, результаты которых показали хорошую сходимость и соответствие теоретическим предпосылкам.

5. Для усиления армированием целесообразно использовать современные материалы – полимерные композиты. Композиты обладают целым рядом достоинств – высокие прочностные характеристики, малый собственный вес, простота монтажа и устойчивость к воздействию агрессивных сред.

6. Приведена методика расчета для усиления конструкций продольным армированием. Методика предполагает усиление как полностью разгруженных конструкций (или новых), так и конструкций, находящихся под нагрузкой. Предложен способ расчета продольного армирования конструкций на участках с максимальными напряжениями для экономии композитного материала.

7. Численные исследования усиленных деревянных конструкций подтвердили правильность принятых теоретических предпосылок. В ходе исследований установлено, что благодаря совместной работе деревянной балки и полимерного композита, жесткость опытной балки, усиленной углепластиковыми ламелями, увеличивалась на 20%, а несущая способность более чем на 35%. Подтверждена правильность определения длины полимерного композита при армировании конструкции в зонах с максимальными напряжениями. Значения напряжений не превышают расчетных. Благодаря этому удалось снизить расход на используемый для усиления материал.

8. На основании проведенных исследований были составлены рекомендации по проектированию и производству работ по усилению деревянных балок.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

