

ЗАО «Холдинговая Компания «Композит»»

Система внешнего армирования FibARM.
Расчетное обоснование



Структура ЗАО ХК «Композит»

ЗАО «Холдинговая компания «Композит»

УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ



УЧРЕДИТЕЛИ

КОМПОЗИТ
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



РОСАТОМ

КОМПОЗИТ
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



РОСАТОМ



РОСНАНО
Российская корпорация нанотехнологий

КОМПОЗИТ
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ

КОМПОЗИТ
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



РОСНАНО
Российская корпорация нанотехнологий

КОМПОЗИТ
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ

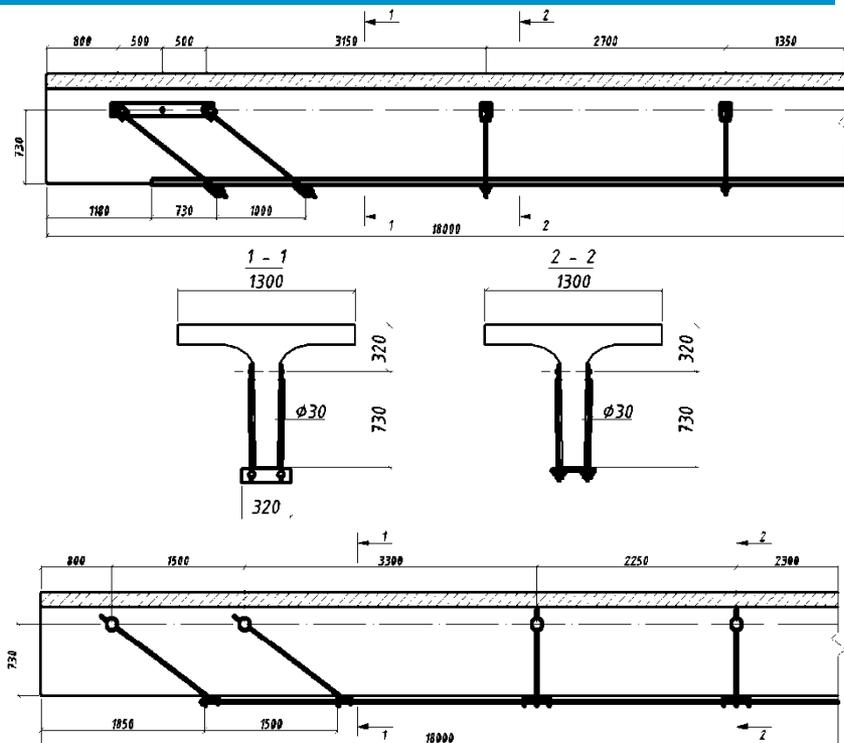


Внешнее армирование

Суть системы внешнего армирования

Идея

- Установка на поверхность растянутой зоны усиливаемой конструкции элементов, обладающих высокой прочностью на растяжение;
- Совместная работа с усиливаемой конструкцией обеспечивается за счет специальных составов.



«Руководство по усилению железобетонных мостов методом наклейки поверхностной арматуры» Утверждено Минавтодором РСФСР 3 сентября 1987г.



Внешнее армирование

Суть системы внешнего армирования



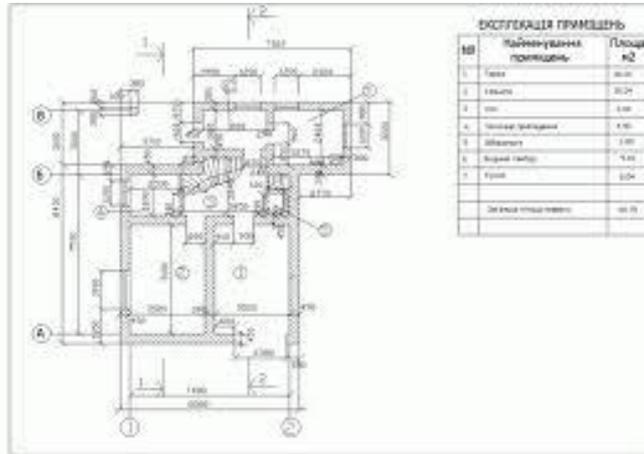
Назначение

- При проектировании и строительстве – повышение сейсмостойкости, прочности и надежности возводимых конструкций с увеличением межремонтных сроков при сохранении материалоемкости;
- При реконструкции – усиление несущих конструкций для восприятия повышенных нагрузок или обеспечения работоспособности по измененной конструктивной схеме;
- При усилении – устранение последствий разрушения бетона и коррозии арматуры в результате длительного воздействия природных факторов и агрессивных сред или механического воздействия.



Область применения

Применение на различных стадиях



Проектирование

- Повышение прочности конструкций;
- Повышение прочности при чрезвычайных нагрузках;
- Повышение долговечности конструкций.
- Повышение надежности здания

Строительство и эксплуатация

- Заниженное сечение арматуры;
- Недостаток прочности бетона;
- Образование проемов;
- Изменение режима эксплуатации здания;
- Восстановление архитектурных форм;
- Последствия повреждения конструкций.



Область применения

Элементы, подлежащие усилению

Конструктивные элементы

- растянутые элементы;
- сжатые и внецентренно сжатые элементы;
- пролетные зоны изгибаемых конструкций;
- приопорные зоны конструкций;
- различные элементы и стыки конструкций.



Материалы конструкций

- бетонные и железобетонные конструкции;
- каменные и армокаменные конструкции;
- деревянные конструкции;
- металлоконструкции.



Материалы для Системы Внешнего Армирования

Углеродные ленты FibARM Tape



Назначение

- Универсальны для всех типов конструкций;
- Оптимальны для решения большинства задач
- Удобны в применении

Тип ткани	Параметры							
	Вид плетения	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Модуль упругости, ГПа (волокна)	Прочность на растяжение, ГПа (волокна)	Расчетная толщина ленты монослоя, мм	Модуль упругости, ГПа (пластик)	Прочность на растяжение, ГПа (пластик)
Однонаправленные углеродные ленты								
FibARM Tape - 230/300	Полотно	300	230	245	4,3	0,128	245	3,6
FibARM Tape - 530/300	Полотно	300	530	245	4,3	0,294	245	3,6
Двунаправленные углеродные ткани								
FibARM Tape - 240/1200 twill	Саржа	1200	240	245	4,3	0,066*	245	3,6
FibARM Tape - 300/1200 twill	Саржа	1200	300	245	4,3	0,083*	245	3,6
FibARM Tape - 450/1200 twill	Саржа	1200	450	245	4,3	0,125*	245	3,6

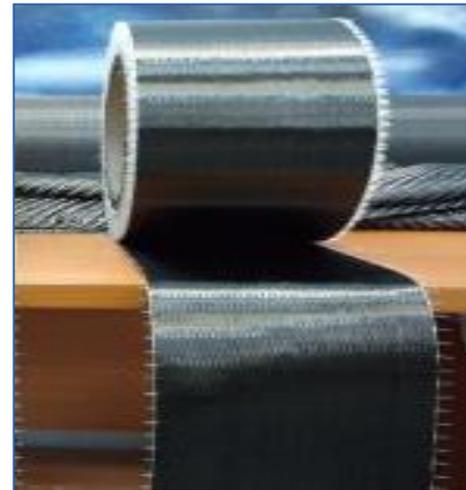


Материалы для Системы Внешнего Армирования

Углеродные ленты FibARM Tape 530/150

Назначение

- ребристых плит перекрытия
- тавровых балок мостовых пролетов с малой шириной ребра
- балочных элементов рамных конструкций
- ферм и малогабаритных конструкций



Тип ткани	Параметры							
	Вид плетения	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Модуль упругости, ГПа (волокна)	Прочность на растяжение, ГПа (волокна)	Расчетная толщина ленты монослоя, мм	Модуль упругости, ГПа (пластик)	Прочность на растяжение, ГПа (пластик)
Однонаправленные углеродные ленты								
FibARM Tape - 530/150	Полотно	150	530	245	4,3	0,294	245	3,6



Материалы для Системы Внешнего Армирования

Углеродные ленты FibARM Tape 530/600



Назначение

- покрывающего усиления колонн и пилонов
- широкополосного усиления плит
- конструкций с повышенными требованиями к шовности усиления
- укрывающего усиления бетонов с масштабным сеточным трещинообразованием

Тип ткани	Параметры							
	Вид плетения	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Модуль упругости, ГПа (волокна)	Прочность на растяжение, ГПа (волокна)	Расчетная толщина ленты монослоя, мм	Модуль упругости, ГПа (пластик)	Прочность на растяжение, ГПа (пластик)
Однонаправленные углеродные ленты								
FibARM Tape - 530/600	Полотно	600	530	245	4,3	0,294	245	3,6

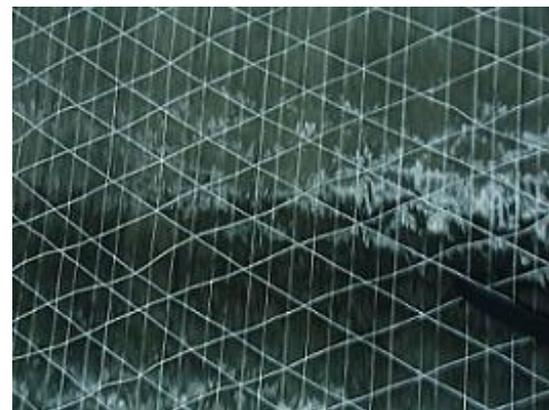


Материалы для Системы Внешнего Армирования

Углеродное нетканное полотно FibARM Spread Tape

Назначение

- Увеличенная контактная площадь жгутов ;
- Повышенная адгезия к субстрату;
- Повышенное качество пропитки;
- Равномерное распределение углеродных волокон в сечении;
- Снижения расхода связующего;
- Снижение суммарной толщины усиливаемой конструкции.



Тип ткани	Параметры							
	Вид плетения	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Кол-во филаментов	Удлинение на разрыв волокна	Расчетная толщина ленты монослоя, мм	Модуль упругости, ГПа (волокна)	Прочность на растяжение, ГПа (волокна)
Однонаправленные углеродные ленты								
FibARM Spread Tape – 230/250	Площечное полотно	250	230	48К, 50К	1,8%	0,128	245	4,3
FibARM Spread Tape – 230/500	Площечное полотно	500	230	48К, 50К	1,8%	0,128	245	4,3
FibARM Spread Tape – 530/250	Площечное полотно	250	530	48К, 50К	1,8%	0,294	245	4,3
FibARM Spread Tape – 530/500	Площечное полотно	500	530	48К, 50К	1,8%	0,294	245	4,3



Материалы для Системы Внешнего Армирования

Эпоксидный клей FibARM Resin



Назначение

- Разработан специально для системы внешнего армирования FibARM
- Высокие физико-механические характеристики
- Высокая адгезия к поверхностям;
- Удобен для пропитки тканей вручную
- Подходит для тканей любой плотности
- Не требует отдельных грунтовочных составов

Внешний вид	Компонент А: темно-серый Компонент В: светло-серый	
Плотность	1,3 г/см ³ (смешанные комп. А и комп. В)	
Пропорции смешивания	Комп. А : Комп. В = 100 : 35 (по весу) Точные пропорции смешивания необходимо отмеривать с помощью весов.	
Температура нанесения	Основание и окружающая среда: +10°C до +35°C	
Срок годности готовой смеси	при температуре 10°C	3ч
	при температуре 20°C	2ч
	при температуре 30°C	1ч
Прочность сцепления (адгезия)	Более 3,5 МПа, разрыв по бетону	
Прочность при сдвиге образцов клея 7 дней при 23°C)	Не менее 14 МПа	



Материалы для Системы Внешнего Армирования

Углепластиковая ламель FibARM Lamel

Назначение

- Усиление элементов конструкций с большими размерами сечений и при условии действия повышенных нагрузок.
- Обладают высоким качеством пропитки и равномерности распределения волокон по сечению.
- Подходят для выполнения усиления высокоответственных объектов.

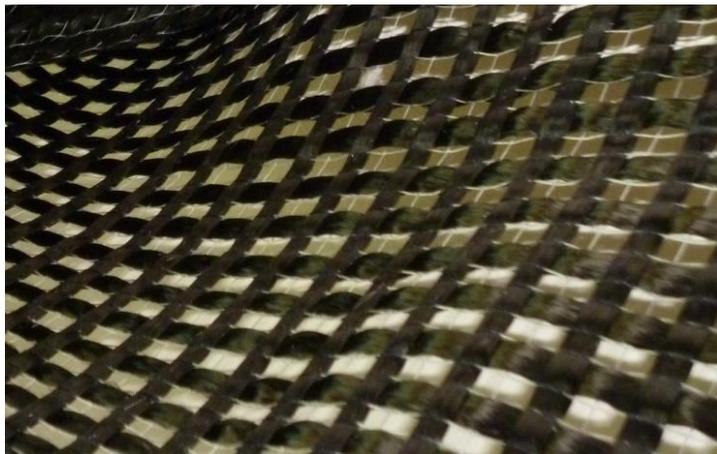


Содержание углеродных волокон, %	60 – 70
Количество монослоев	3-12
Прочность при растяжении, МПа	1300 - 2800
Модуль упругости, ГПа	165-300
Ширина, мм	50-150
Толщина, мм	1,2 -1,4
Поверхность	Шлифованная с одной стороны



Материалы для Системы Внешнего Армирования

Углеродная сетка FibARM Grid



Назначение

- Применяются при необходимости обеспечения высокой стойкостью к температурным воздействиям и высоким средством с усиливаемыми элементами.
- В качестве клея используется раствор на основе портландцемента с пуццолановой и другими специальными добавками, которые являются химически, физически и механически совместимыми с каменной и кирпичной кладкой.

Тип волокна	высокопрочные углеродные волокна
Размер ячейки, мм	10 x 20
Поверхностная плотность, г/м ²	600 ± 60
Разрывная прочность в продольном направлении, не менее МПа*	1900
Разрывная прочность в поперечном направлении, не менее МПа*	2900
Ширина рулона	1000 мм

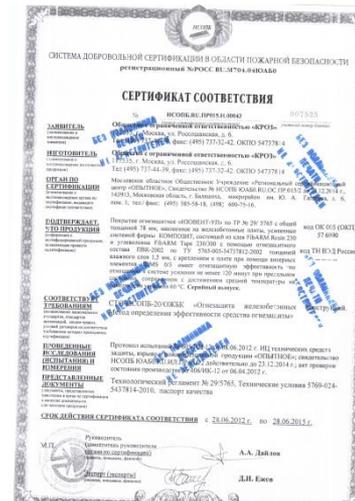


Материалы для Системы Внешнего Армирования

Защитные составы

Назначение

- Для обеспечения требуемых пределов огнестойкости рекомендуется применение огнезащитных составов;
- Были проведены испытания с двумя огнезащитными составами и получены оптимальные толщины;
- Защита поверхности осуществляется из условия достижения температуры в 60 градусов поверхностью бетона в течении заданного времени.



Пожарный сертификат на систему внешнего армирования FibARM	Огнезащитная эффективность
с огнезащитным покрытием «ИЗОВЕНТ-УП»	не менее 120 минут
с огнезащитным покрытием «СОТЕРМ-15»	не менее 120 минут



Преимущества усиления СВА

Преимущества над традиционными способами



Усиление железобетонной обоймой



Усиление металлическим профилем

Преимущества

- Сокращение временных затрат;
- Сокращение трудовых затрат;
- Возможность выполнения работ без остановки производства или движения транспорта;
- Сокращение расходов на ремонт;
- Увеличение межремонтного периода;
- Малый собственный вес усиления;
- Минимальные требования к пространству для выполнения работ;
- Устойчивость ко всем агрессивным средам;
- Высокая адгезия к усиливаемой конструкции;
- Отсутствие сварочных работ;
- Минимальная толщина усиления.



Преимущества композитного усиления FibARM

Преимущества над конкурентами

FibARM

- Российский производитель с государственной поддержкой Роснано и Росатом;
- Конкурентная цена, внесенная в сметные нормативы;
- Полностью сертифицированная продукция внесенная в множество строительных справочников и каталогов;
- Нормативные документы утверждены ведущими организациями;
- Собственные производственные мощности обеспечивают постоянное наличие продукции на складе;
- Не требует применения дополнительных грунтовок и пропитывающих составов;
- Техническое сопровождение и поддержка;
- Возможность обучения производству работ, услуги шеф-монтажа.



РОСАТОМ



РОСНАНО



Государственное автономное учреждение Московской области
«Московская областная государственная экспертиза»



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ
в строительстве и промышленности строительных материалов



МОСКОВСКИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ КАТАЛОГ



Расчет и проектирование

Основные расчетные положения

Общие положения

- Расчет прочности растянутых железобетонных элементов, усиливаемых СВА, выполняется для нормальных к продольной оси элемента сечений при действии продольных сил;
- Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов выполняется для нормальных и наклонных к продольной оси элемента сечений при действии изгибающих моментов и поперечных сил;
- Расчет прочности сжатых и внецентренно сжатых железобетонных элементов, усиливаемых СВА, выполняется для нормальных к продольной оси элемента сечений при действии продольных сил и изгибающих моментов.

Коэффициенты

- Коэффициенты условий работы для углеродных тканей принимаются в зависимости от условий окружающей среды:
 - 0,9 – для внутренних помещений;
 - 0,8 – для конструкций на открытом воздухе и в агрессивной среде.
- Значения коэффициента надежности принимаются равными при расчете по предельным состояниям:
 - первой группы для однонаправленных тканей - 1,2;
 - первой группы для двунаправленных тканей - 1,8;
 - второй группы - 1.0.

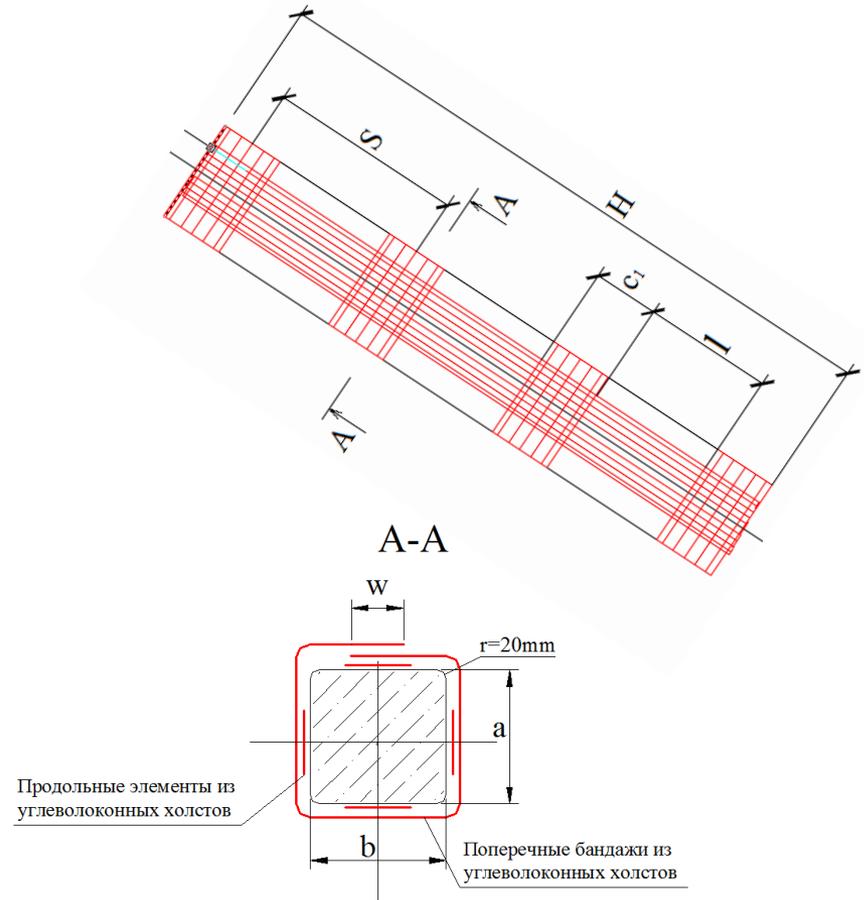


Расчет и проектирование

Механика усиления растянутых элементов

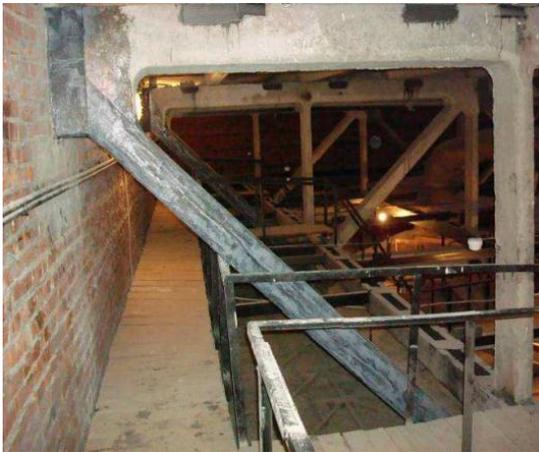
Техническое решение

- В железобетонных конструкциях растягивающие усилия воспринимаются только армирующими компонентами;
- Для центрально растянутых элементов усиливающие элементы наклеиваются симметрично относительно оси растягивающих усилий вдоль линий действия нормальных напряжений на всю длину усиливаемого элемента и предотвращают формирование и развитие поперечных трещин;
- Для внецентренно растянутых элементов применяются продольные ленты симметрично плоскости пары сил.



Расчет и проектирование

Механика усиления растянутых элементов



Примеры

- Затяжки арок;
- Раскосы железобетонных ферм.



Расчет и проектирование

Механика усиления растянутых элементов

Принцип расчета

$$\sigma_{fu} = \varepsilon_{fe} E_f \leq R_{fu} \quad (1)$$

$$L_f = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}} \quad (2)$$

$$N_{\max} = R_s A_s + R_{fu} A_f \quad (3)$$

- Растягивающие напряжения, воспринимаемые СВА, определяются из условия (1);
- расчетная деформация ограничивается способностью передавать напряжение подложке через адгезив;
- Эффективная длина анкеровки определяется по формуле (2), но не менее 100 мм;
- Общая несущая способность усиленного растянутого элемента определяется из условия (3).

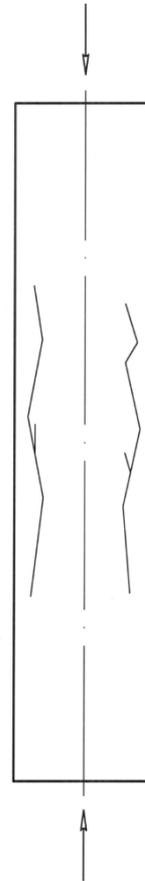


Расчет и проектирование

Механика усиления сжатых элементов

Концепция

- Усилия сжатия в элементе вызывают возникновение растягивающих напряжений на поверхности бетона;
- Арматурные стержни под действием сжимающих усилий выгибаются, что приводит к выкалыванию бетона защитного слоя;
- Искривление арматурных стержней приводит к снижению объема обжатого бетона и уменьшает эффективное сечение элемента.

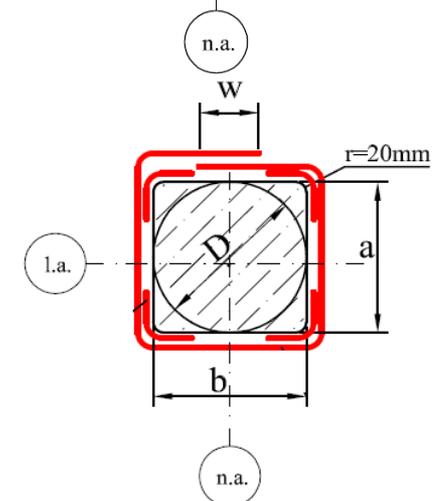
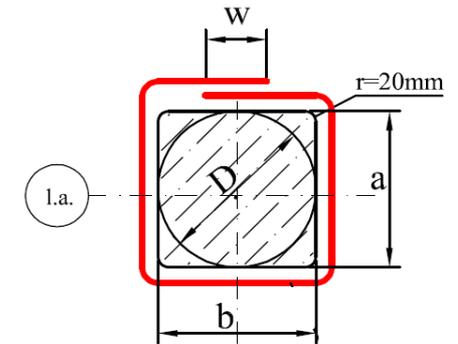
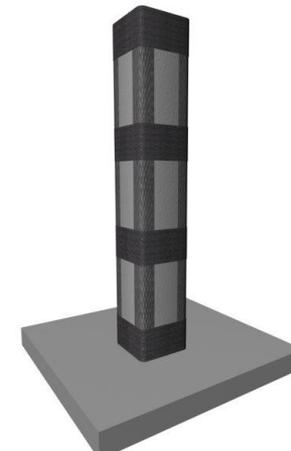
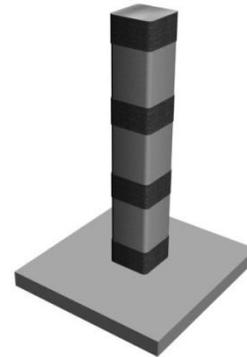


Расчет и проектирование

Механика усиления сжатых элементов

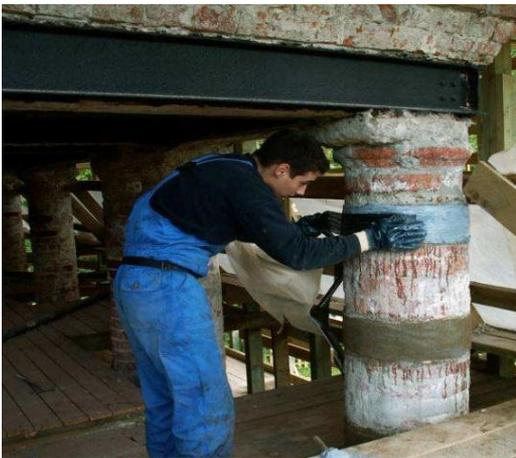
Техническое решение

- Сжимающие нагрузки воспринимает только сердечник бетона, весь бетон, получивший повреждения выключается из работы;
- Бандажи из углеволокна направлены на восприятие растягивающих усилий за счет обжатия бетона и предотвращают образование продольных трещин в элементе;
- Для внецентренно сжатых элементов применяются продольные ленты на ребрах и гранях элемента и предотвращают образование поперечных трещин.



Расчет и проектирование

Механика усиления сжатых элементов



Примеры

- Колонны;
- Стойки железобетонных ферм;
- Стены;
- Фундаменты.



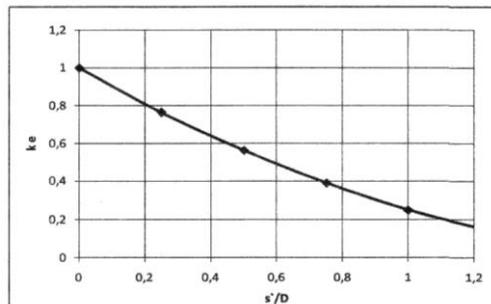
Расчет и проектирование

Механика усиления сжатых элементов

$$k_a = 1 - \frac{(b - 2r)^2 + (h - 2r)^2}{3bh(1 - \mu)} \quad (1)$$

$$\sigma_R = \frac{k_a \rho_f \varepsilon_{fe} E_f}{2} = \frac{k_a \rho_f 0,75 R_f}{2} \quad (2)$$

$$R_{bc} = R_b (2,254) \sqrt{1 + \frac{7,94 \sigma_R}{R_b} - \frac{2 \sigma_R}{R_b} - 1,254} \quad (3)$$



Принцип расчета

- k_a – коэффициент эффективности обоймы, принимаемый $k_a=1,0$ для колонн круглого сечения. Для колонн прямоугольного сечения определяется по формуле (1);
- допускаемые предельные напряжения в обойме определяются по формуле (2);
- Расчетное сопротивление бетона колонны, усиленной сплошной обоймой по высоте, определяется по формуле (3);
- В случае использования отдельных обойм, расчетное сопротивление бетона определяется умножением величины R_{bc} на коэффициент k_e , вычисляемый графическим способом.

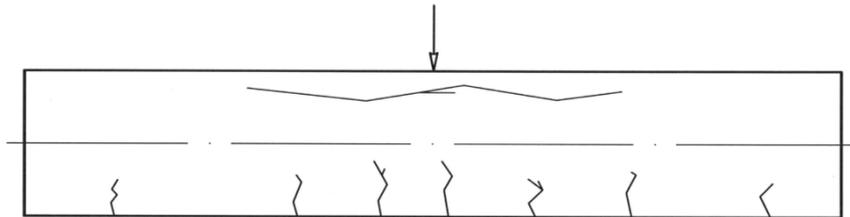


Расчет и проектирование

Механика усиления изгибаемых элементов

Техническое решение

- Изгибаемые элементы испытывают сложное напряженно-деформированное состояние, сочетающее в одном элементе сжатые и растянутые зоны;
- В сжатых зонах нагрузки воспринимаются бетоном, в изгибающихся – армирующими элементами;
- Наиболее уязвимыми местами изгибаемых элементов являются нормальные сечения в середине растянутой части и наклонные сечения в приопорных участках элемента.

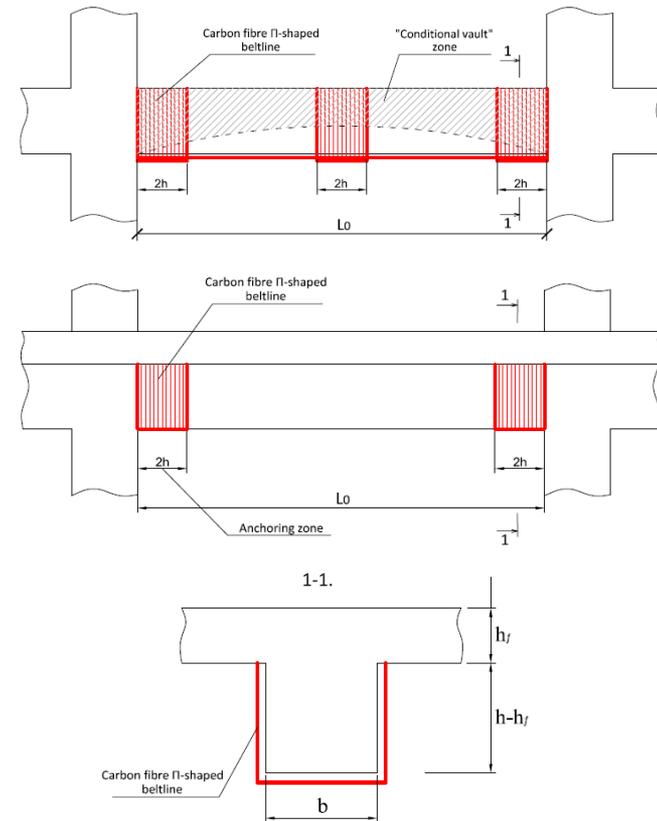


Расчет и проектирование

Механика усиления изгибаемых элементов

Техническое решение

- Усиление растянутой зоны производится продольными лентами вынесенными анкерочными участками в зону наименьших растягивающих усилий и обеспечивает защиту от образования поперечных трещин в пролетной части;
- Усиление приопорной зоны на восприятие перерезывающей силы осуществляется поперечными и наклонными лентами и обеспечивает защиту от образования наклонных трещин;
- Поперечные бандажки служат для повышения надежности системы и уменьшения расчетных пролетов усиливаемой конструкции.



Расчет и проектирование

Механика усиления изгибаемых элементов



Примеры

- Балки;
- Ригели;
- Плиты перекрытия;
- Консоли.



Расчет и проектирование

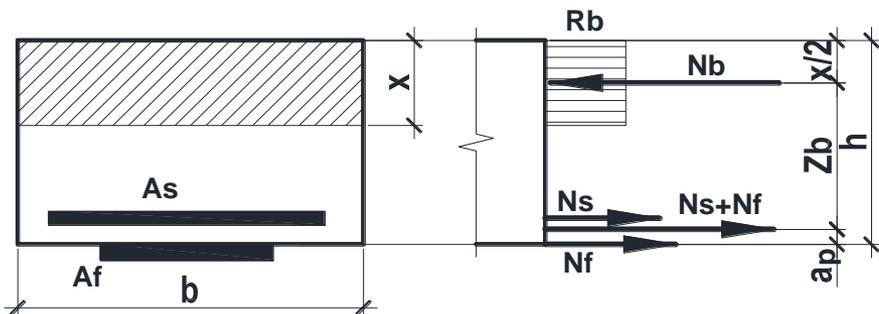
Механика усиления изгибаемых элементов

$$N_b - R_s A_s - R_{fu} A_f = 0$$

$$x = \frac{N_b}{R_b b}$$

$$z_b = (h - a_p - 0,5x)$$

$$M_{ult} = N_b z_b$$



Принцип расчета

- Предельное усилие бетона сжатой зоны определяется по формуле (1);
- Высота сжатой зоны бетона усиленного элемента определяется из условия (2);
- расстояние между предельным усилием бетона сжатой зоны и равнодействующей усилий в растянутой арматуре и внешнем армировании определяется из формулы (3);
- Предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением усиленного элемента определяют по формуле (4).



Расчет и проектирование

Механика усиления проемов



Примеры

- Проемы в стенах;
- Проемы в перекрытиях.



Испытания на долговечность системы FibARM

Целью проведенных испытаний являлось исследование возможности применения **системы внешнего армирования FibARM** в железобетонных конструкциях сооружений различного назначения с учетом агрессивного влияния окружающей среды.

Работы проводились на базе:

- *Испытательный центр технических средств железнодорожного транспорта (ИЦ ТСЖТ) Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС)*
- *Московский государственный университет путей сообщения МГУПС (МИИТ)*

Работы проводились в направлениях:

1. Исследование долговечности (длительное агрессивное воздействие):

- Клеевого слоя между бетоном и композитным материалом системы FibARM
- Образцов композитов на основе углеродных холстов системы FibARM
- Железобетонных конструкций, усиленных системой FibARM

2. Исследование стойкости системы FibARM к воздействию отрицательных и положительных температур



Испытания на долговечность клеевого слоя во влажных и агрессивных средах

Размеры образцов: железобетонный кубики с размером ребра 100 мм / холст 20 x Т x 250 мм

Система: FibARM Tape 230 / 300 + FibARM Resin 230

Условия: 4, 5, 8, 12 циклов замораживания-оттаивания (минус 50°C) ; 5%-ый раствор хлорида натрия (ГОСТ 10060.2-95)

№	Количество циклов	Средняя прочность клея, МПа
1	0	2,19
2	4	3,07
3	5	2,66
4	8	2,54
5	12	2,86

Разрушение образцов происходило по поверхностному слою бетона



Вид образцов: до и после испытания на сдвиг холста



Испытания показали, что попеременное замораживание и оттаивание не оказывает негативного воздействия на адгезию эпоксидного клея FibARM Resin 230 к поверхности бетона.



Испытания на долговечность холстов во влажных и агрессивных средах

Размеры образцов: холст 20 x Т x 250 мм

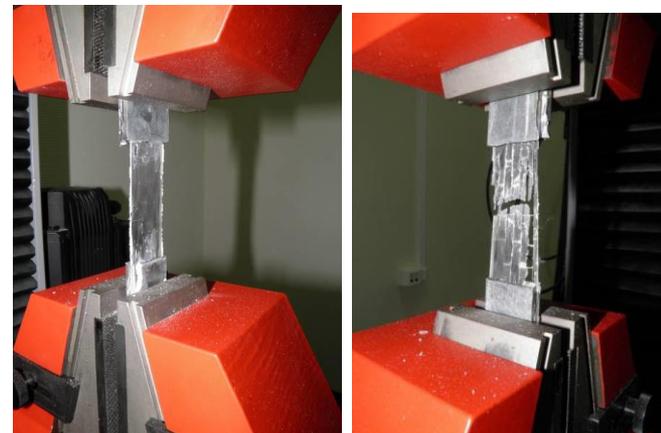
Система: FibARM Tape 230 / 300 + FibARM Resin 230

Условия: 4, 5, 8, 12 циклов замораживания-оттаивания (минус 50°С); 5%-ый раствор хлорида натрия

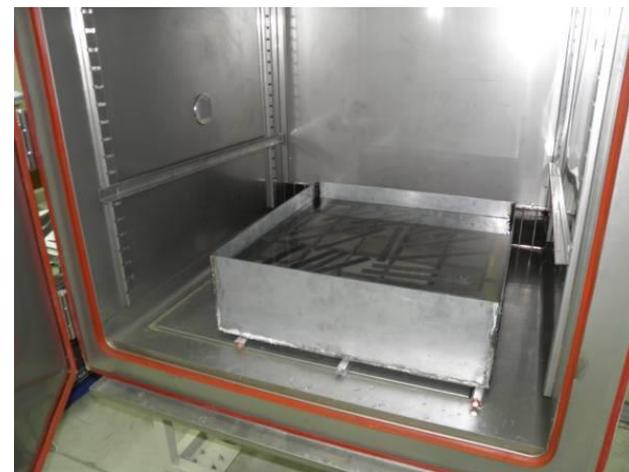
Испытания проводились по ГОСТ 25.601-80

№	Количество циклов	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа
1	0	3321	228
2	4	3372	230
3	5	3197	232
4	8	3302	229
5	12	3312	230

Испытания показали, что попеременное замораживание и оттаивание приводит к незначительному изменению прочностных и деформативных характеристик холстов из углеродных волокон FibARM Tape - 230/300, пропитанных полимерным связующим FibARM Resin 230.



Вид образцов: до и после испытания на растяжение холста



Испытания на долговечность железобетонных конструкций во влажных и агрессивных средах

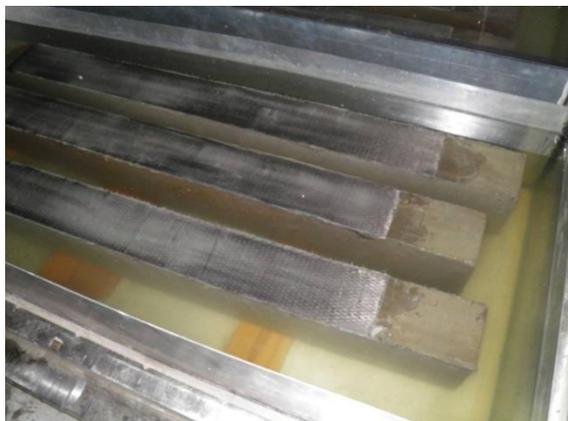
Размеры образцов: не преднапряженная железобетонная балка 1550 x 120 x 220 мм

Система: FibARM Tape 230 / 300 + FibARM Resin 230 (усиление в два слоя по нижним граням)

Условия: 4,5,8,12 циклов замораживания-оттаивания (минус 50°C) ; 5%-ый раствор хлорида натрия



Климатическая камера Techno 7010Wi



Усиленные образцы: насыщение в 5 % водном растворе хлористого натрия в течение 96 часов



Усиленные образцы: попеременное замораживание и оттаивание

Температурный режим при замораживании и оттаивании соответствовал требованиям ГОСТ 10060.2-95 по третьему ускоренному методу определения морозостойкости

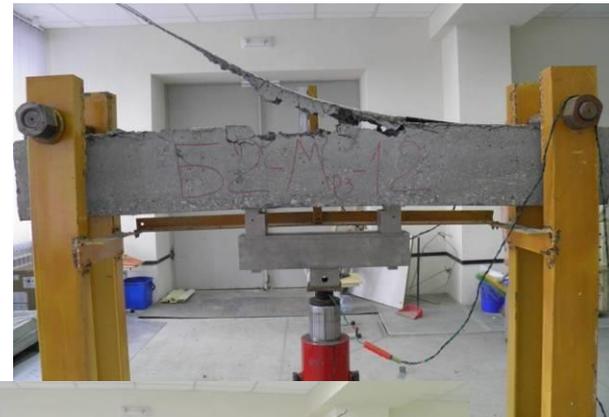


Вид усиленных образцов: до и после испытания



Испытания на долговечность железобетонных конструкций во влажных и агрессивных средах

№	Количество циклов	Несущая способность P , кН	Увеличение несущей способности, %
Неусиленные балки			
1	0	61	-
Балки, усиленные системой FibARM			
1	0	118	93
2	4	113	85
3	5	125	105
4	8	122	100
5	12	126	107



Проведенные исследования показали, что после 4,5,8 и 12 циклов попеременного замораживания и оттаивания железобетонных образцов, усиленных композиционными материалами FibARM изменение значения несущей способности происходит в пределах доверительного интервала измерений.



Стойкость системы FibARM к действию положительных и отрицательных температур (композиты)

Размеры образцов: 20 x T x 250 мм

Система: FibARM Tape 230 / 300 + FibARM Resin 230

Условия: от минус 60°C до плюс 90°C

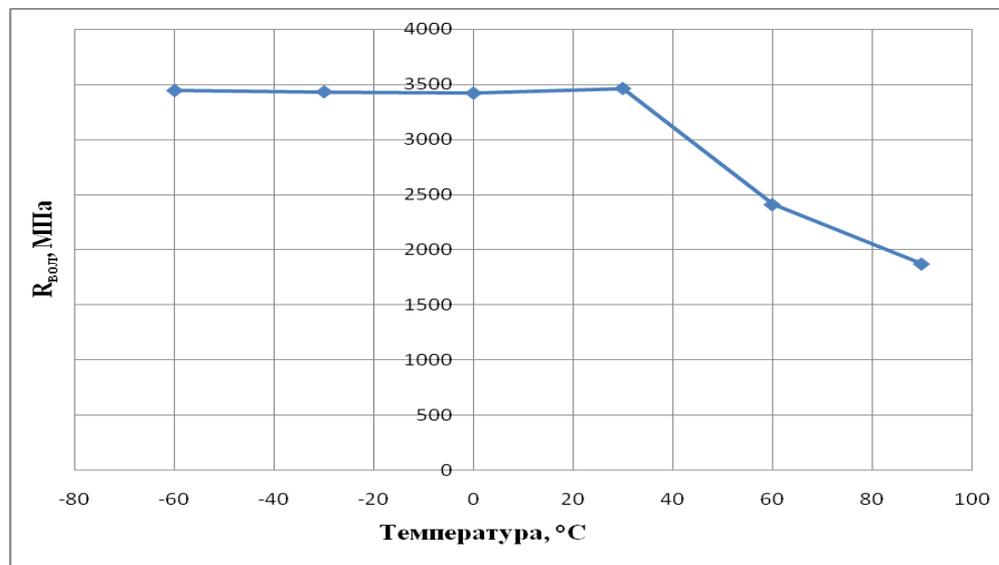
Испытания по ГОСТ 25601-80



Внешний вид испытательной машины MTS Insight30 с температурной камерой



Испытание образцов СВА на растяжение при отрицательной температуре



Влияние температуры на изменение прочности образцов-композитов системы FibARM



Стойкость системы FibARM к действию положительных и отрицательных температур (железобетонные конструкции)

Размеры образцов: 1550 x 120 x 220 мм (Д x Ш x В)

Система: FibARM Tape 230 / 300 + FibARM Resin 230 (усиление в два слоя шириной 120мм по нижним граням)

Условия: от минус 50°C до плюс 90°C



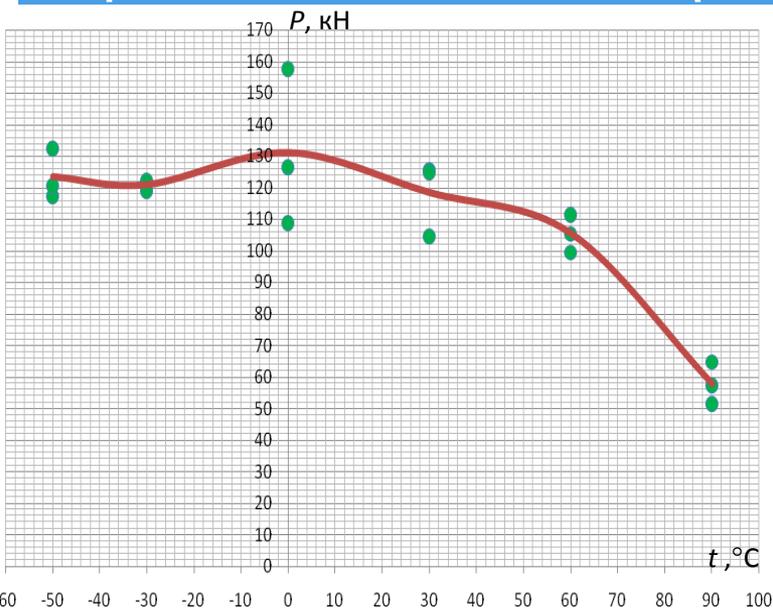
Вид усиленных образцов подгруппы «холод»: до испытания и после испытания при температуре -50 °С



Вид усиленных образцов подгруппы «тепло» и после испытания



Стойкость системы FibARM к действию положительных и отрицательных температур (железобетонные конструкции)



Зависимость величины разрушающей нагрузки от температуры испытаний железобетонных конструкций, усиленных системой FibARM

№	Температура	Несущая способность $P, \text{кН}$	Увеличение несущей способности, %
Неусиленные балки			
1	+15-22	61	-
Балки, усиленные системой FibARM			
1	+15-22	118	93
2	+60	105	72
3	+90	58	-5
4	0	131	115
5	-30	121	98
6	-60	123	102

Проведенные исследования показали, что схема разрушения железобетонных образцов, усиленных системой FibARM на основе эпоксидного адгезива FibARM Resin 230, зависит от температуры окружающей среды. При отрицательных температурах усиленные балки могут разрушаться по бетону, с разрушением бетона защитного слоя арматуры. При температурах выше +60 – в результате разрыва композитного материала в середине пролета балок от действия изгибающего момента.



Выводы

- Испытания показали, что попеременное замораживание и оттаивание не оказывает негативного воздействия на адгезию эпоксидного клея FibARM Resin 230 к поверхности бетона. Разрушение образцов происходило по поверхностному слою бетона
- Исследование долговечности холстов из углеродных волокон FibARM Tape - 230/300, пропитанных полимерным клеем FibARM Resin 230 показало, что попеременное замораживание и оттаивание не приводит к снижению их прочностных и деформативных характеристик.
- Попеременное замораживание и оттаивание железобетонных образцов, усиленных холстами из углеродных волокон FibARM Tape 230/300, не приводит к падению их несущей способности. При этом композитный материал защищает поверхность бетона от увлажнения и высыхания, что положительно сказывается на его сопротивляемости морозному разрушению.
- Исследования стойкости композитных материалов на основе углеродного волокна к воздействию отрицательных и положительных температур при их работе в качестве системы высокопрочного армирования для железобетонных конструкций на воздействие внешних статических нагрузок показали, что схема разрушения усиленных образцов зависит от температуры окружающей среды. При отрицательных температурах усиленные балки могут разрушаться по бетону защитного слоя арматуры. При температурах свыше +60 °С разрушение усиленных образцов может происходить в результате разрыва композитного материала в середине пролета балок от действия изгибающего момента. При этом усиление железобетонных балок исследуемым способом приводит к существенному увеличению их несущей способности (от 93 до 115 %) при температурах от минус 60 °С до +60 °С



Испытания железобетонных образцов на выносливость

Целью проведенных испытаний являлась разработка Регламента применения композиционных материалов для усиления железобетонных конструкций железнодорожных мостов ОАО «РЖД», для обеспечения внедрения композитов для усиления мостов, эксплуатирующихся на сети железных дорог РФ.

Работы проводились на базе:

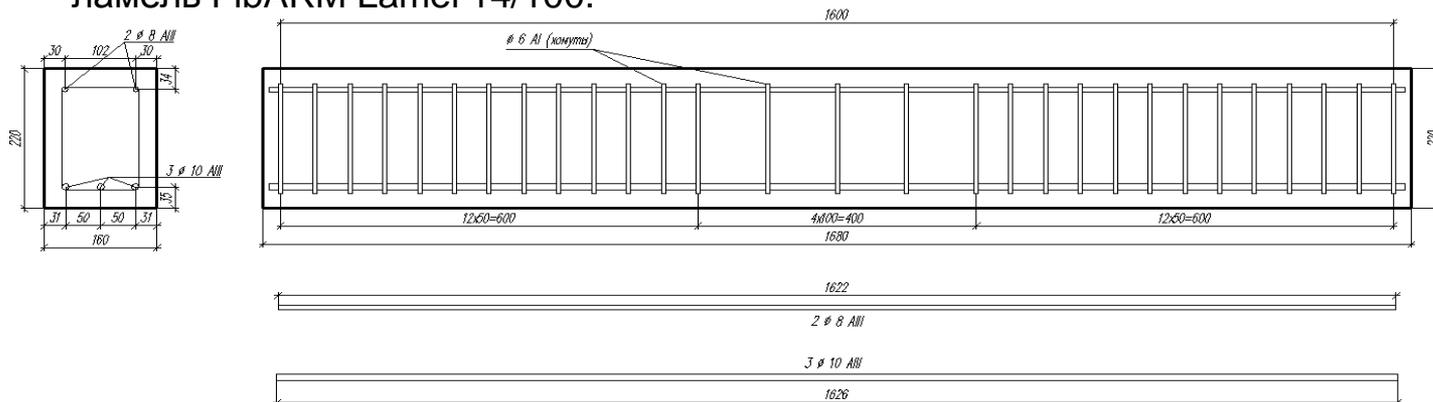
- *Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), лаборатория «Мосты»*

Опытные образцы:

Для испытаний были использованы железобетонные образцы размерами 160x220x1680 мм из бетона класса В30. Класс бетона определен путем испытания бетонных кубиков по ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 26633-91. Средняя призмная прочность бетона на момент испытания составляла 29 МПа. В качестве арматуры использовались стержни класса АIII (А400) диаметром 8, 10 и 14 мм.

Для усиления образцов применяли:

- холст FibARM Tape 530/300
- ламель FibARM Lamel 14/100.



Испытания железобетонных образцов на выносливость

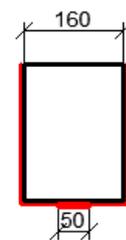
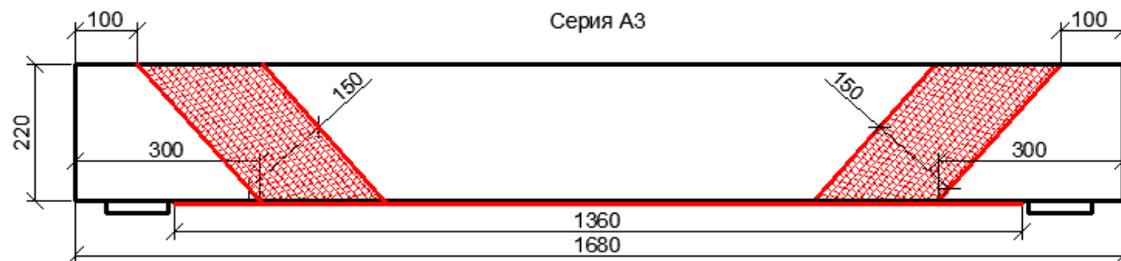
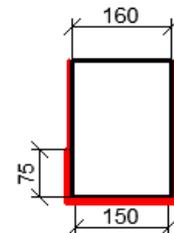
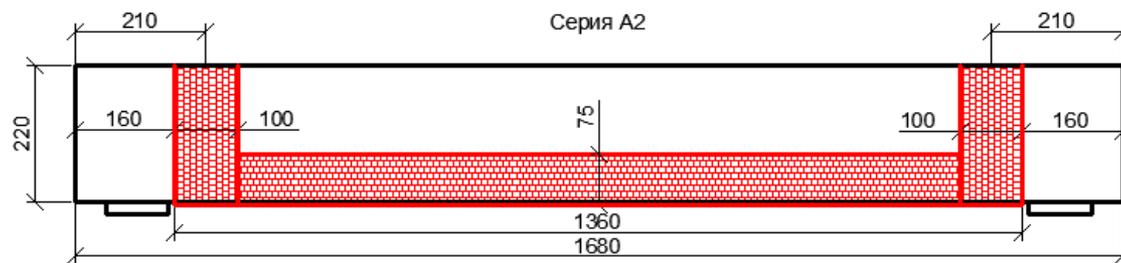
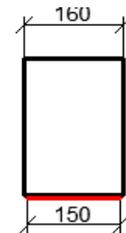
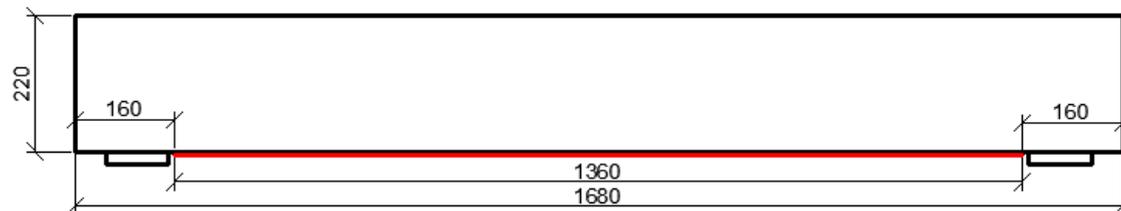
Опытные образцы были разделены на несколько групп:

А0-контрольная (не усиленные балки)

А1-А3 - усиленные по различным схемам.

Количество образцов: 7, из них:

- 3 образца испытаны статической нагрузкой до разрушения,
- 4 образца динамической, при различных уровнях максимальной нагрузки (45, 55, 65 и 75 процентов от среднего значения несущей способности, полученного при статических испытаниях) и коэффициенте асимметрии $\rho = 0,3$.



Схемы усиления балок типа «А»



Результаты испытания железобетонных образцов на выносливость



Серия А0- контрольный образец:

при статических испытаниях разрушение произошло по нормальному сечению из-за раскрытия нормальных трещин, а при динамических – вследствие разрыва стержней рабочей арматуры.



Серия А1 – усиление наклейкой холста на нижнюю грань

Разрушение образцов происходило вследствие отслоения материала усиления с разрушением бетона защитного слоя при статических испытаниях и из-за отслоения композиционного материала с предшествующим разрывом стержней рабочей арматуры – при динамических. Разрыв арматуры происходил после 85% от общего числа циклов нагружения.



Результаты испытания железобетонных образцов на выносливость



Серия А2 – усиление наклейкой U-образной обоймы с вертикальными хомутами

Образцы при статических испытаниях разрушились из-за разрыва и отслоения композиционного материала в середине пролета, а при динамических – из-за отслоения материала усиления с предшествующим ему разрывом стержней растянутой арматуры. Разрыв арматуры происходил после 85% от общего числа циклов нагружения.

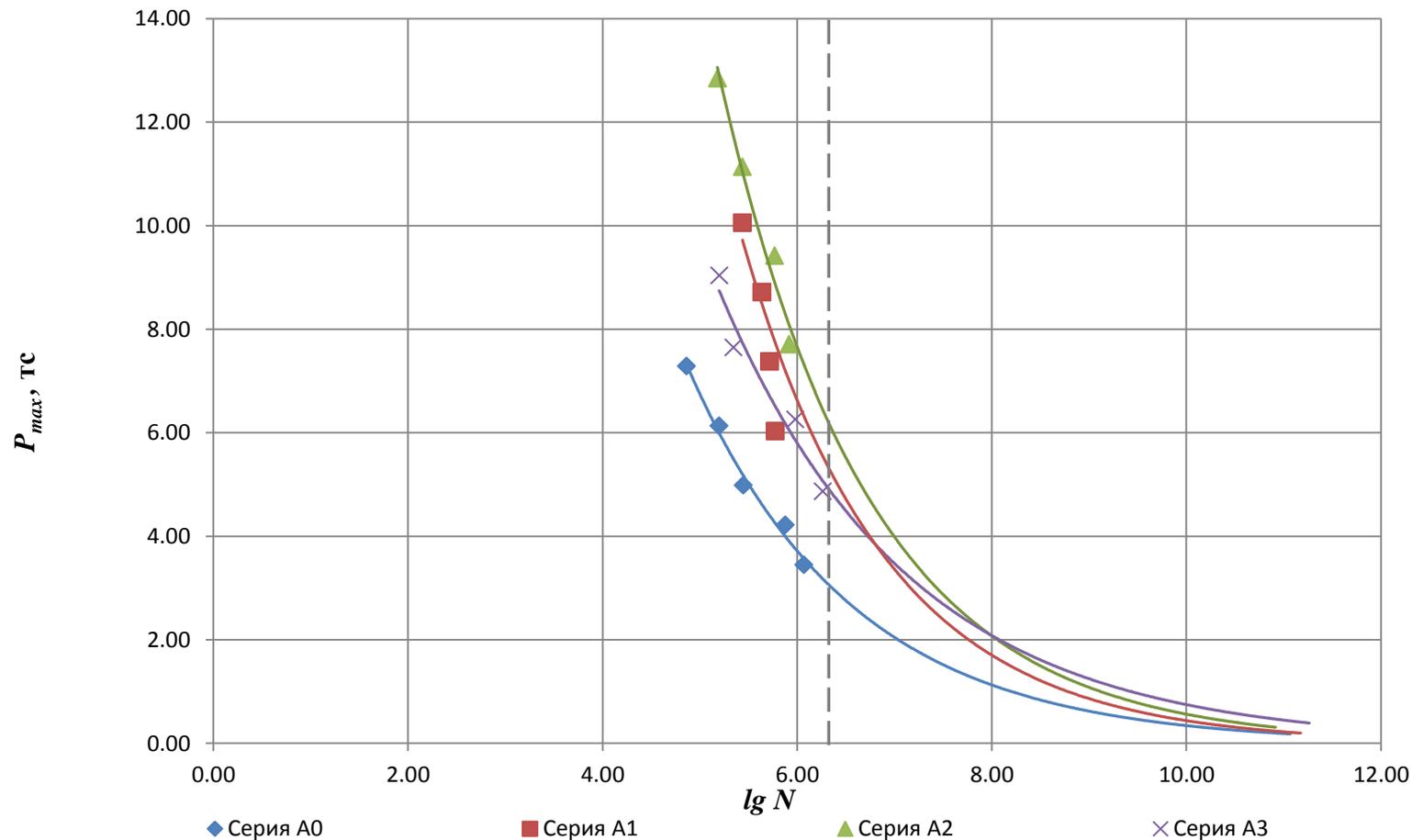


Серия А3 – усиление наклейкой ламели с наклонными хомутами

Образцы при статических испытаниях разрушились вследствие отслоения материала усиления в середине пролета, а при динамических – из-за отслоения материала усиления с предшествующим ему разрывом стержней растянутой арматуры. Разрыв арматуры происходил после 85% от общего числа циклов нагружения.



Результаты испытания железобетонных образцов на выносливость



Кривые усталости



Выводы по результатам испытаний железобетонных образцов на выносливость

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено:

1. Наряду с увеличением несущей способности усиление конструкций композиционными материалами на основе углеродных волокон позволяет увеличить и усталостный ресурс конструкции минимум в 3 раза.
2. На основе полученных данных можно рекомендовать следующие значения коэффициентов надежности по материалу (γ_{f2}):
 - холсты – 1,2;
 - ламели – 1,1;
 - связующие при отрыве – 1,2;
 - связующие при сдвиге – 1,3.
3. По результатам испытаний определен процесс, по которому происходит разрушение усиленных образцов:
 - а) Разрыв стержня рабочей арматуры после 85% от общего числа циклов нагружения, приводящий к снижению жесткости балки и увеличению ее деформаций.
 - б) Увеличение прогибов балки, сопровождающееся «потрескиванием» клеевого слоя.
 - в) Увеличение раскрытия «дышащих» трещин.
 - г) Полное разрушение образца вследствие отслоения материала усиления.



Испытания железобетонных балок и колонн

Целью проведенных испытаний являлось показать эффективность применения углеродных материалов FibARM для усиления реальных конструкций больших размеров

Работы проводились на базе:

- *Испытательный центр технических средств железнодорожного транспорта (ИЦ ТСЖТ) Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС)*
- *Уральское отделение Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ)*
- *ООО «Свердловскмостострой»*

Работы проводились в направлениях:

1. **Определение фактической несущей способности железобетонных колонн усиленных углеродными лентами и ламелями**
2. **Определение фактической несущей способности железобетонных балок двух типоразмеров неусиленных и усиленных углеродными лентами и ламелями**

Объект исследования:

1. **Непреднапряженные железобетонные балки таврового поперечного сечения:**
 - 12 метров
 - 20 метров
2. **Железобетонные колонны высотой 2,5 метра**



Испытания колонн



Испытания колонн



Вид усиленных холстами образцов подвергшихся испытаниям на прочность



Испытания колонн



← Вид усиленных лентой образцов (без хомутов) подвергшихся испытаниям на прочность

Среднее значение сопротивления сжатия составляет:

- Неусиленные – 19 МПа
- Усиленные лентой – 28 МПа
- Усиленные лентой – 25 МПа

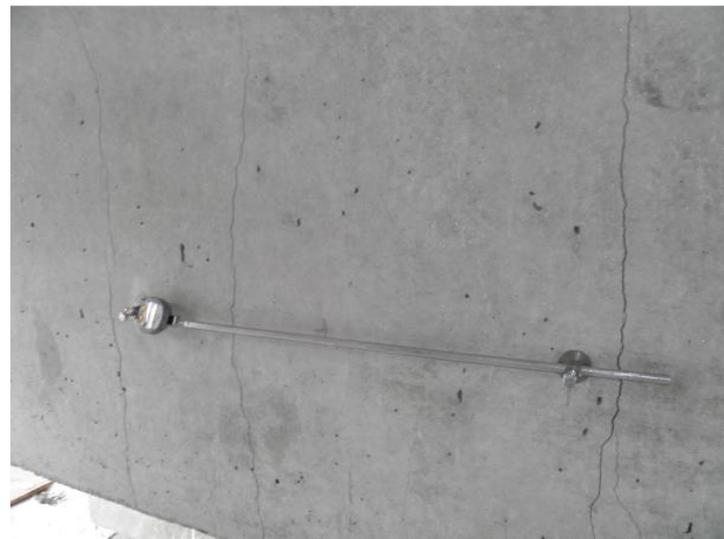


← Вид усиленных лентой образцов (с хомутами) подвергшихся испытаниям на прочность

В результате проведенных испытаний показана эффективность применения системы FibARM, что приводит к существенному увеличению несущей способности на 33-50%



Испытания неусиленных балок длиной 12 и 20 метров



Испытания усиленных балок углеродными лентами



Испытания усиленных балок углеродными ламелями



Экспериментальные значения несущей способности балок составляют:

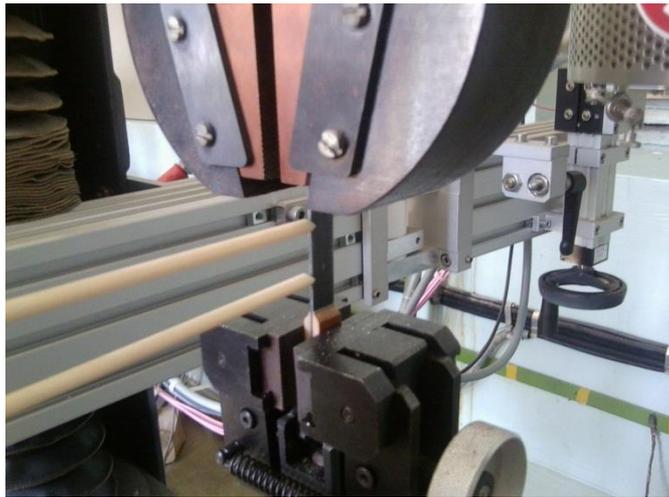
- Неусиленные – 407 кН
- Усиленные лентой – 625 кН
- Усиленные ламелью- 653 кН



В результате проведенных испытаний показана эффективность применения системы FibARM, что приводит к существенному увеличению несущей способности балок длиной 12 и 20 метров на 53-60%



Проведение испытаний на стойкость к действию радиационного излучения



Общий вид образца в захватах с экстензометром



Внешний вид облучённых образцов до и после испытания на растяжение

Табл. Сводные данные по средним значениям механических свойств облученных и необлученных образцов (расчет по волокну)

	Исходное значение	Доза 105 рад	Доза 569 рад	Доза 1 Мрад	Доза 3 Мрад
FibARM Tape 230/300 (t=0,128)					
σ_{b2} , МПа	3143	3229	3406	3453	3709
E_2 , ГПа	247	254	236	221	247



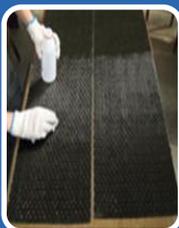
Выводы по результатам испытаний

1. Испытания свидетельствуют о малом влиянии (в пределах доверительного интервала 1-8%) гамма-облучения дозами 105 рад и 569 рад на модуль упругости и прочность образцов с углеродными лентами
2. Согласно расчетам по ГОСТ 20.601-80 облучение дозами 1 Мрад и 3 Мрад приводит к увеличению модуля упругости в среднем на 5.0 ГПа, а прочности на 10 МПа. Рассчитанные по толщине монослоя волокна значения модуля упругости составляли 225.0 ± 15.0 ГПа и 3600 ± 100 МПа соответственно. Эффект изменения исследуемых характеристик находится в интервале 1-15 %.
3. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что можно рекомендовать систему внешнего армирования FibARM на основе углеродных лент FibARM Tape и эпоксидного полимерного связующего FibARM Resin для усиления строительных конструкций, с учетом накопленной дозы гамма-полей указанной интенсивности за 50 лет эксплуатации в помещениях АЭС:
 - Зона радиации 1 – обслуживаемые помещения, в которых возможно постоянное пребывание персонала.
 - Зона радиации 2 – периодически обслуживаемые помещения, пребывание персонала в которых по регламенту обслуживания не более 4 часов в смену.
 - Зона радиации 3 – помещения, в которых возможно по регламенту обслуживания кратковременное пребывание персонала от 18 до 0,4 часа в рабочую неделю.
 - Зона радиации 4 и 5 – необслуживаемые помещения с высоким уровнем радиации, пребывание персонала в которых исключено.



Технология нанесения

Производство работ по усилению конструкций



1. Подготовка лент

- Раскрой холстов согласно проектным решениям;



4. Монтаж усиливающих лент

- монтаж первого слоя усиливающих лент;
- прикатка валиком, устранение зон непропитки и удаление излишков связующего;



2. Подготовка связующего

- подготовка компонентов клея А и В;
- смешивание компонентов клея А и В в соотношении 100:35 (А:В) по массе;



5. Нанесение порывающего слоя

- нанесение покрывающего слоя связующего в количестве 0,5 кг/м²;
- присыпка кварцевым песком мелкой фракции для обеспечения адгезии;



3. Нанесение первого слоя связующего

- нанесение на подготовленную поверхность первого слоя связующего в объеме 0,9 – 1,5 кг/м²;
- при использовании ткани с плотностью 530г/м² часть связующего наносится на ткань;



6. Нанесение защитного покрытия

- покрытие усиления полимерцементным составом;
- выполнение дальнейшей отделки поверх усиления;



Мониторинг выполненного усиления

1. ГУП «Москоллектор» Плиты покрытия Велозаводского коллектора сечением 2,5мх2,5м, усиление в 1998 году (15 лет эксплуатации).
2. Чаша бассейна в СК «Трудовые резервы», 25х7,5х2,8м, усиление в 2009 году (4 года эксплуатации).
3. Балки пролетного строения Краснопресненского путепровода, усиление балок пролетом до 35м в 2008 году (5 лет эксплуатации).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

1. Углеволоконные элементы внешнего армирования не имеют отслоений от поверхности бетона, что свидетельствует о совместности работы конструкций с внешним армированием.
2. Углеволоконные элементы внешнего армирования не имеют разрывов и «отстрелов» участков бетона вместе с внешним армированием, что свидетельствует о достаточности и правильности распределения (конструирования) элементов армирования.
3. В конструкциях отсутствуют трещины и сколы бетона, что свидетельствует об обеспечении ими требуемой несущей способности.



Результаты мониторинга усиленных конструкций

Объекты



Чаша бассейна



Результаты мониторинга усиленных конструкций

Объекты



Балки пролетного строения



Спасибо за внимание!

КООРДИНАТЫ

Холдинговая компания «Композит»

109316 г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 43, корп. 3

www.hccomposite.com

+7 495 787 88 28

