



Smart Decision Technologies

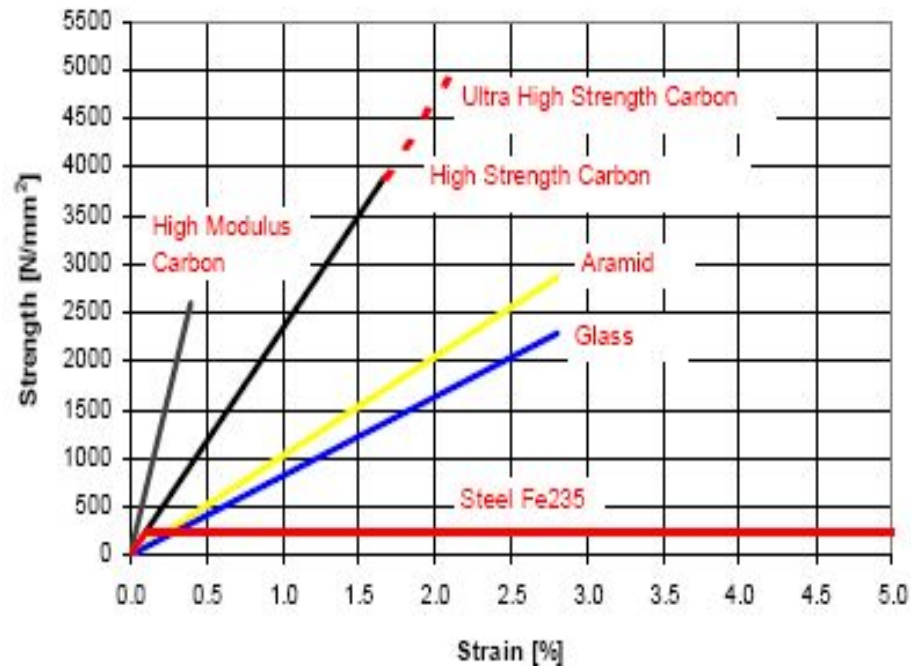
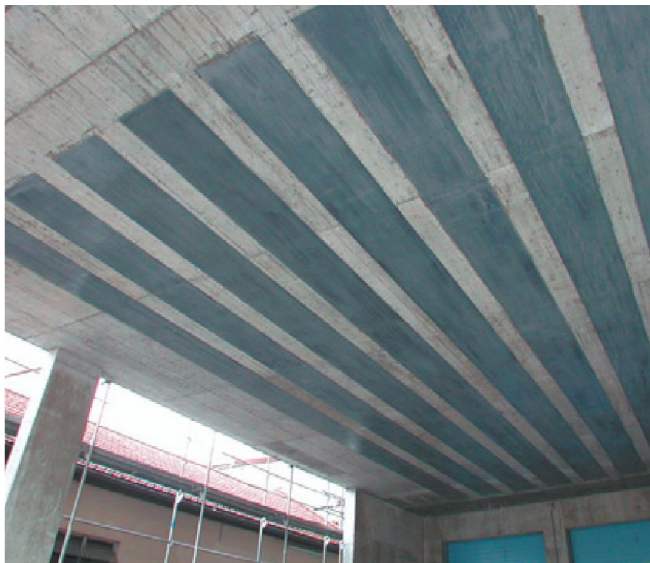
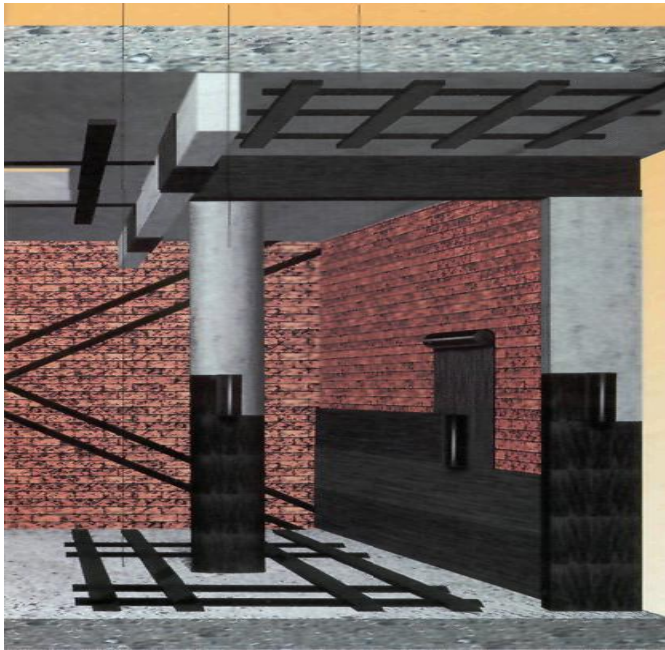
*Современные технологии ремонта
и усиления железобетона
Руководитель направления
Легчилин Артём моб.*

Усиление конструкций композитными материалами

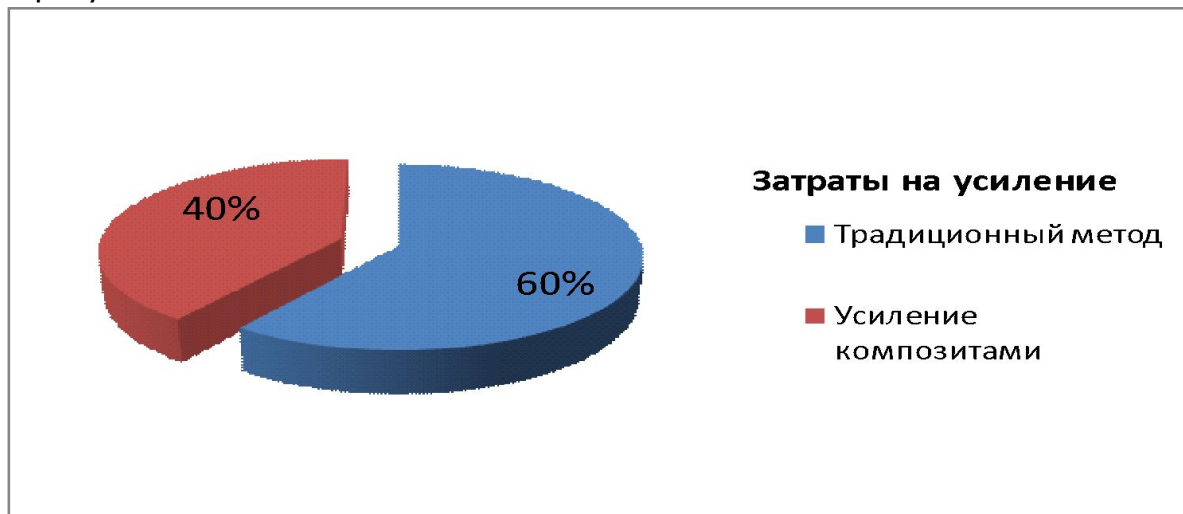
Принцип усиления конструкций углеволокном заключается в наклейке с помощью специального эпоксидного клея на поверхность конструкций высокопрочных холстов или ламинатов, а также сетки. Возможно усиление как изгибаемых конструкций в растянутых зонах и на опорных участках в зоне действия поперечных сил, так и сжатых, и внецентренно сжатых элементов.

Преимущества по сравнению с традиционными способами усиления:

1. Очень прочные материалы (около 3000 МПа на растяжение)
2. Очень легкие материалы (плотность 1,8 г/см²) – не утяжеляет конструкцию
3. Толщина ламината – около 1 мм – сохраняет объемно-планировочные решения
4. Меньше трудозатраты на производство работ (не требует сварки, зачеканки, инъектирования, подъемных механизмов)
5. Можно проводить работы без остановки функционирования объекта
6. Позволяет усиливать существующие здания с отделкой
7. Сокращает сроки производства работ минимум в два раза

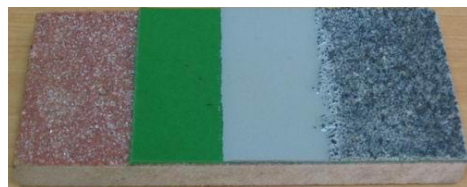


За счет сокращения времени производства работ, возможности работать без остановки объекта, а также на объектах с финишной отделкой экономический эффект является положительным и возрастает при увеличении объема.



Система усиления SDT-это система специальных материалов, применяемая в определенной последовательности. Процесс усиления композитными материалами требует исключительного соблюдения технологического регламента. Поэтому данную работу выполняют только квалифицированные специалисты, прошедшие обучение и имеющие допуск к работам.

SDT Concrete



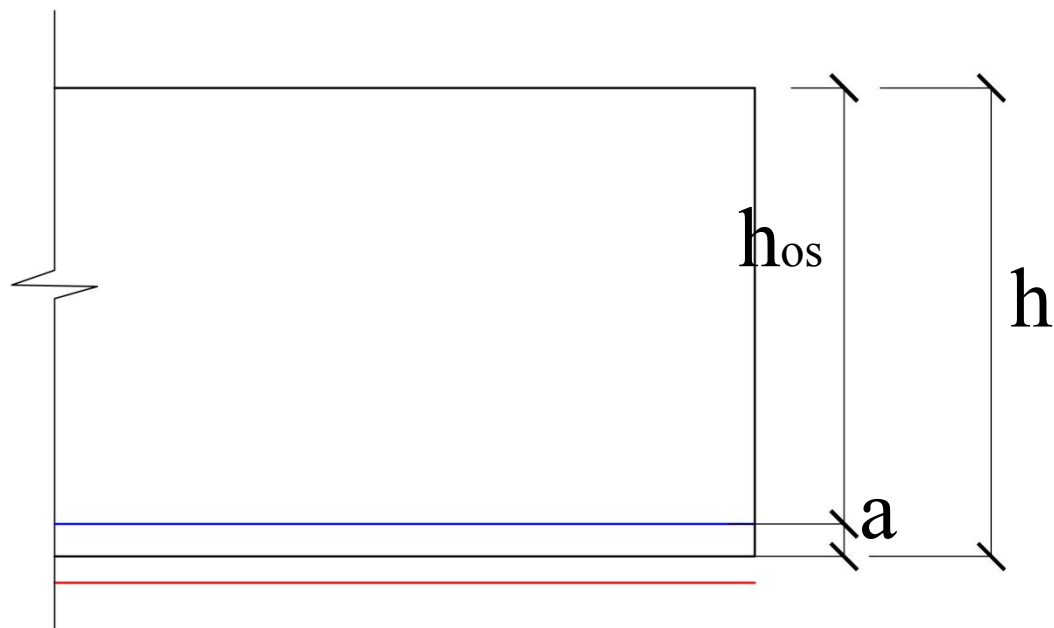
1. Железобетонное основание
2. Эпоксидная грунтовка
3. Выравнивающий слой
4. Основной слой клея
5. Углеродистая ткань
6. Запечатывающий слой клея
7. Огнезащита

SDT Brick



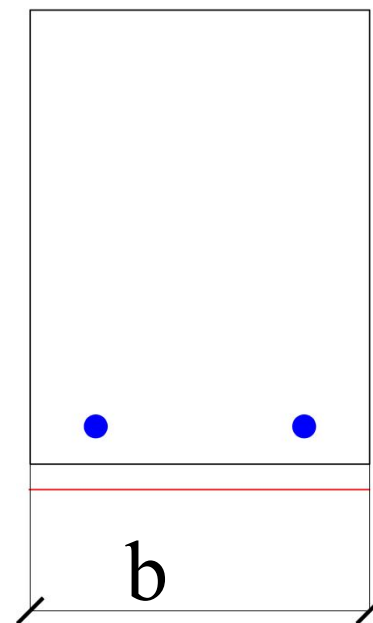
1. Кирпичная кладка
2. Выравнивающий слой не менее 3мм
4. Углеродистая сетка
5. Запечатывающий слой не менее 3 мм

Рабочая высота сечения.

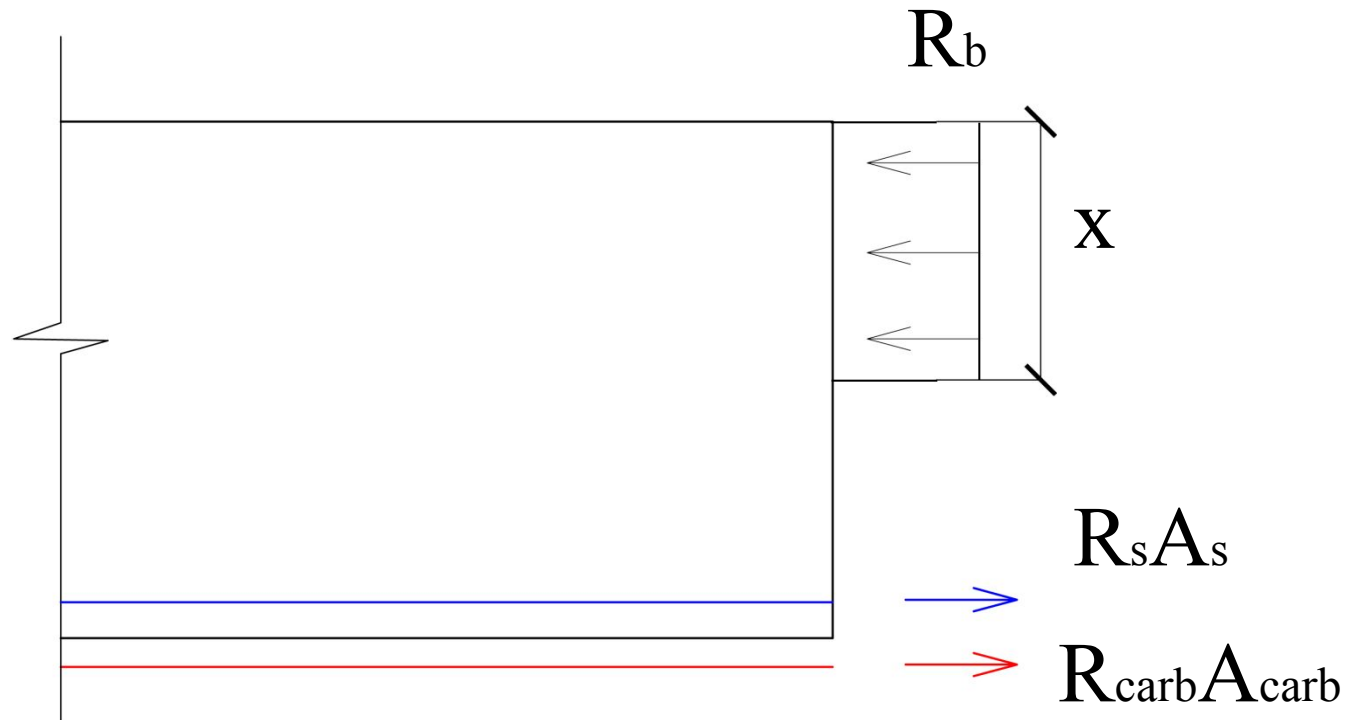


$$h_{0s} = h - a$$

$$h_{0,carb} = h$$



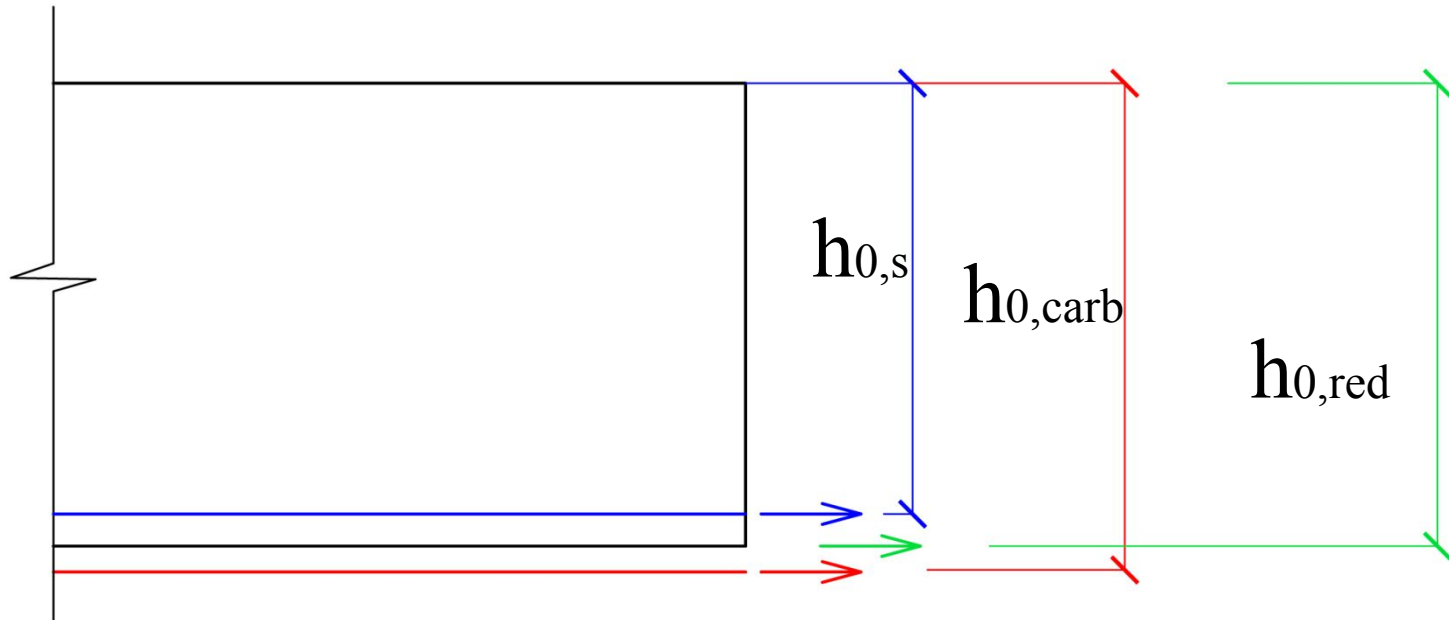
Высота сжатой зоны.



$$R_b b x = R_s A_s + R_{carb} A_{carb}$$

$$x = (R_s A_s + R_{carb} A_{carb}) / (R_b b)$$

Приведенная рабочая высота сечения.



$$h_{0,red} = (R_s A_s h_s + R_{carb} A_{carb} h_{carb}) / (R_s A_s + R_{carb} A_{carb})$$

Граничная относительная
высота сжатой зоны.

$$\xi_R = 0,8 / (1 + (\epsilon_{carb,ult} / \epsilon_{b,ult}))$$

$$\epsilon_{carb} = 0,01$$

$$\epsilon_{b,uet} = 0,0035 \times (1 + \varphi_n)$$

$$\xi_R = 0.8 / (1 + (0,01 / 0,01)) \approx 0.4 - \text{ЕК2}$$

Условие применимости
метода внешнего армирования.

$$\xi \leq \xi_R,$$

где $\xi = x/h_{0,\text{red}}$

Предельный изгибающий момент
при $A_s=0$.

$$M_{\text{ult}} = 0,6 R_{\text{carb}} A_{\text{carb}} h_{0,\text{red}}$$

А. Усиление колонн

Круговое обертывание ФАП вокруг определенных типов элементов, работающих на сжатие, создает ограничение деформированию в поперечном направлении путем создания обоймы с ориентацией волокон в поперечном направлении и приводит к увеличению прочности при сжатии. При увеличении сжимающих нагрузок обойма испытывает растяжение, сдерживая развитие поперечных деформаций.

Для определения необходимой площади композита определяют по СНиП 2.03.01-84* недостающую площадь продольной арматуры $A_{s,def}$

Требуемая площадь композита составляет:

$$A_f = \frac{R_f E_f}{R_s E_s} A_{s,def}$$

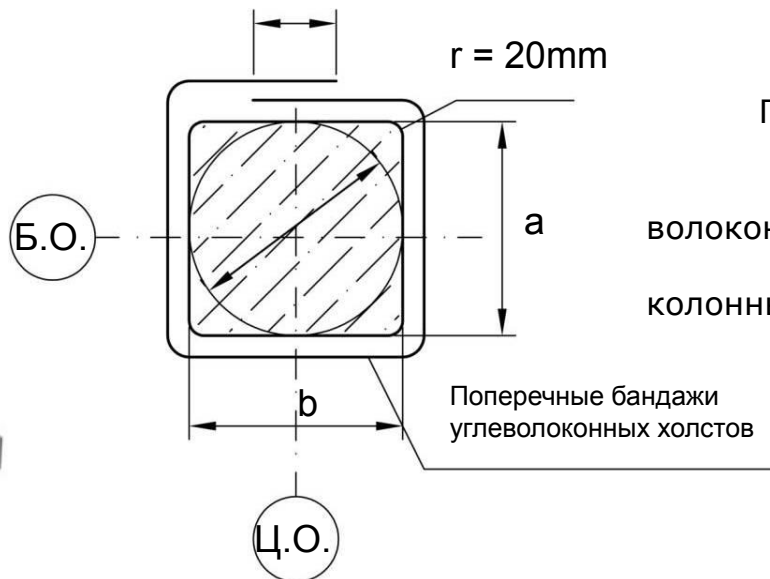
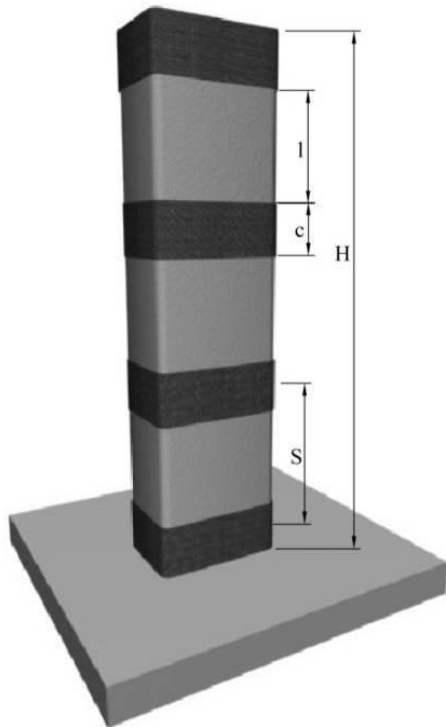
где: R_f – нормативная прочность на растяжение ФАП

E_f – модуль упругости ФАП

R_s – расчетная прочность стержневой арматуры на растяжение

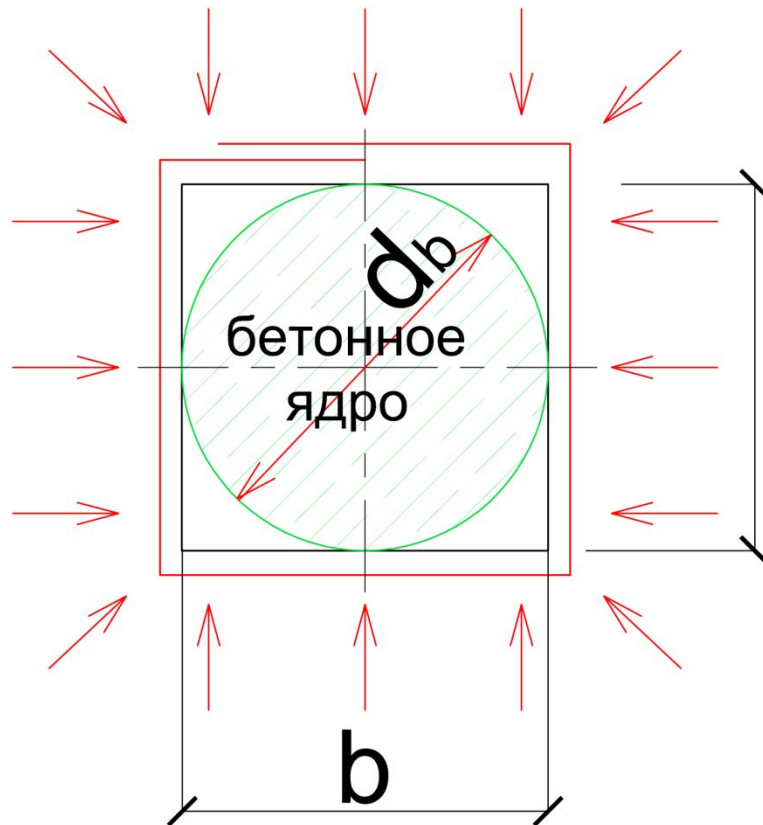
E_s – модуль упругости стержневой арматуры

$A_{s,def}$ – недостающая площадь продольной арматуры.



Поперечное сечение колонны.
 a, b - размеры поперечного сечения
 c - нахлест холста в направлении волокон
 r - радиус закругления угла колонны
 D - диаметр сердечника

Расчет прочности при «центральной сжатии».



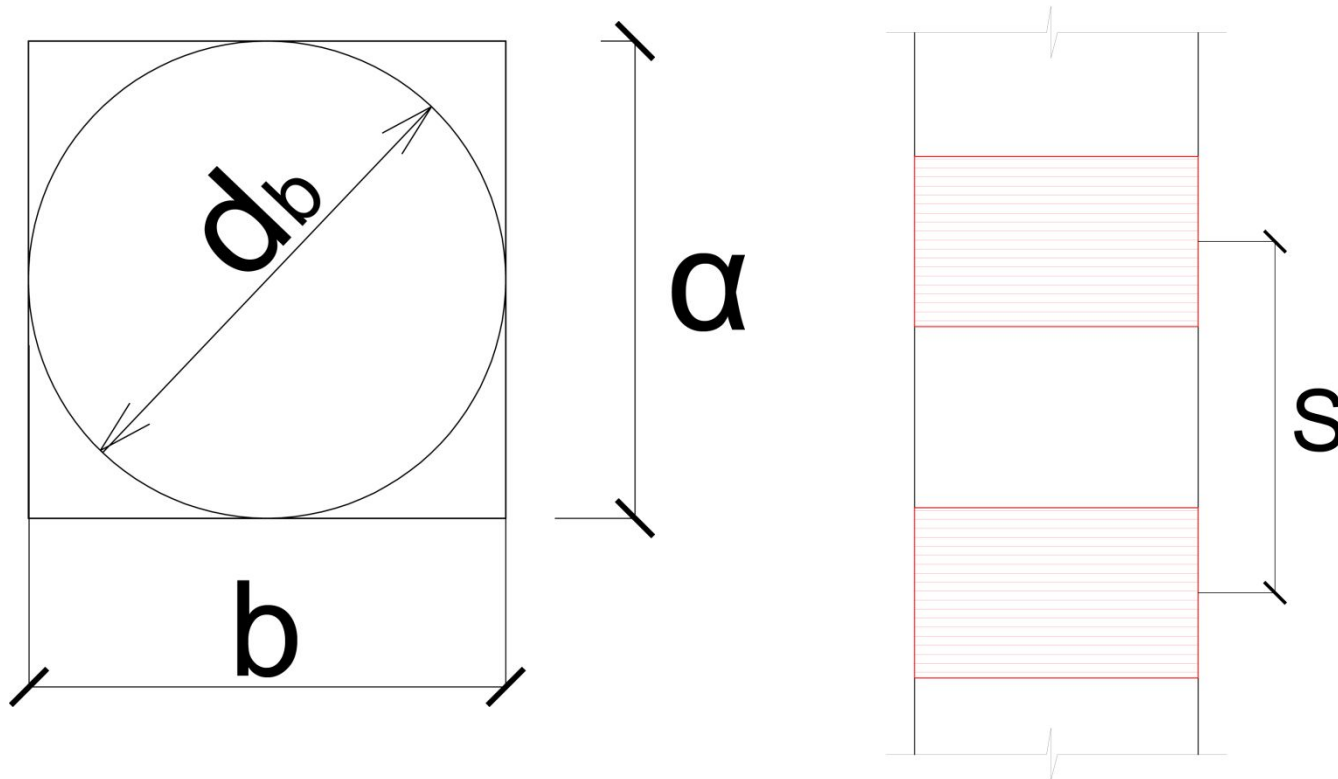
$$a/b < 2$$

d_b — диаметр бетонного ядра

a

$$R^*_b = R_b + 1,5\mu_{carb}R_{carb}$$

Процент косвенного армирования.



$$\mu_{\text{carb}} = 4A_{\text{carb}} / (d_b \times s)$$

s - шаг бандажей из углеволокна

Приращение прочности за счет косвенного армирования.

$\Delta N = \Delta R \times A_b$, A_b -площадь бетонного ядра

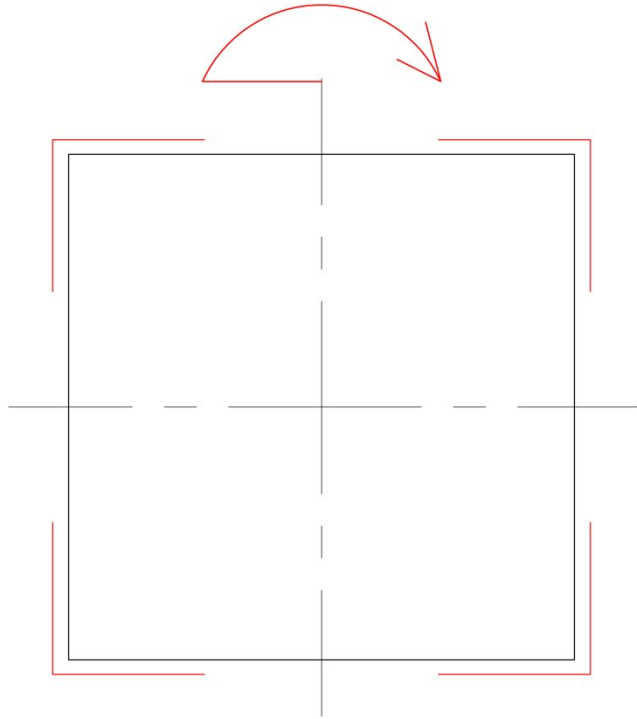
$$\Delta R = \Delta N / A_b$$

$$\Delta N = b A_b A_{carb} R_{carb} / (d_b \times S)$$

Требуемая площадь сечения бандажей при известном дефиците несущей способности.

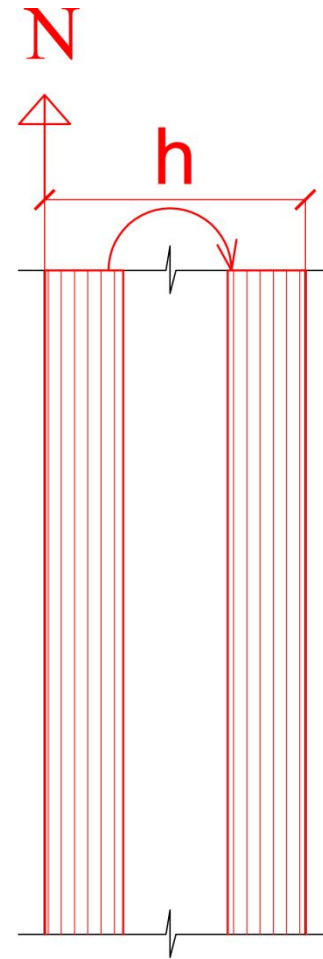
$$A_{\text{carb}} = \Delta N \times d_b \times S / (\Delta A_b \times R_{\text{carb}})$$

Восприятие изгибающего момента внешним армированием.

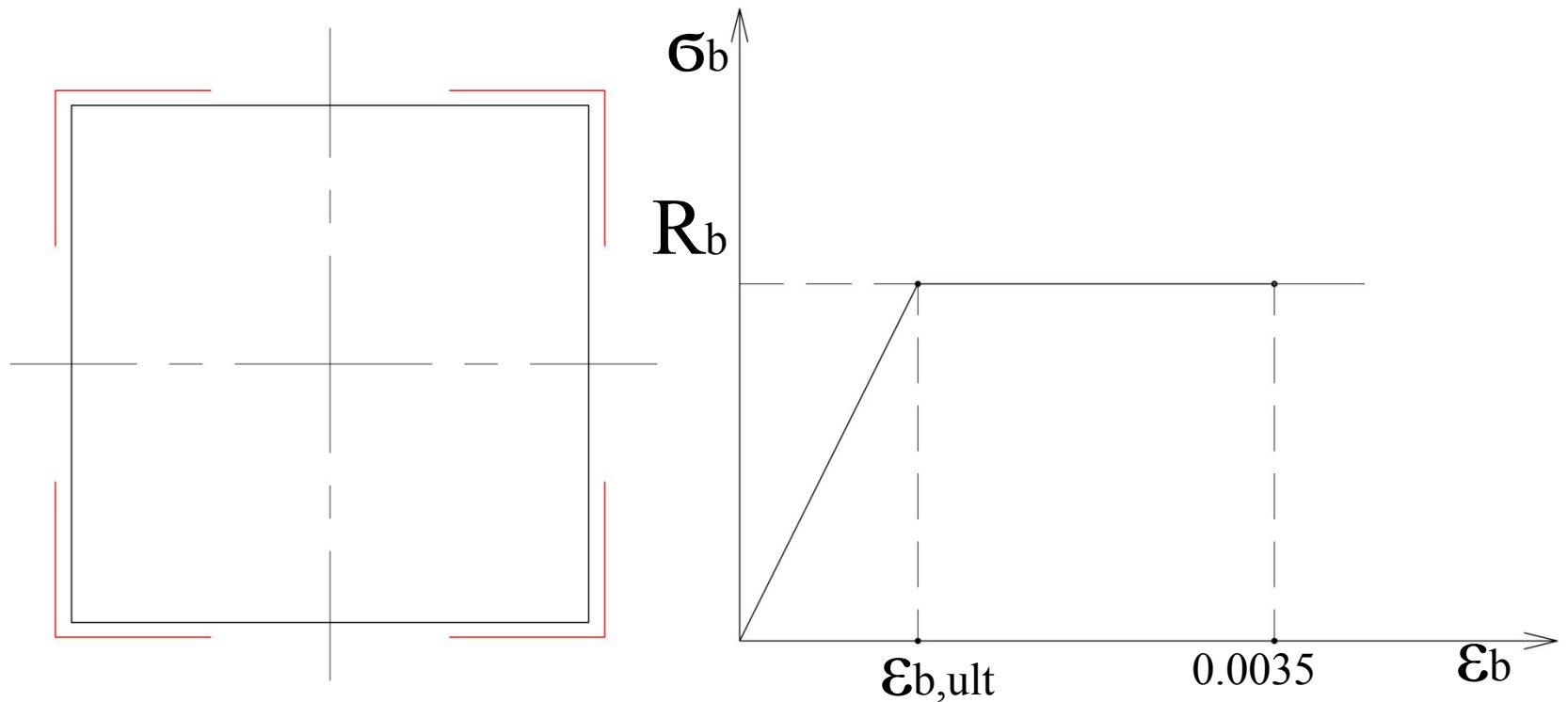


$$N_{carb} = \Delta M / h$$

$$A_{carb} = \Delta M / (R_{carb} h)$$



Восприятие продольными элементами из углеволокна сжимающих напряжений.



$$R_{carb,c} = 0,0035 \times E_{carb} = 0,035 \times 230000 = 805 \text{ МПа}$$

Б. Усиление балок



Железобетонные элементы конструкций, такие как балки могут быть усилены на изгиб с помощью композитных FRP-материалов, приклеенных эпоксидным клеем в зонах их растяжения, волокна которых направлены параллельно высоким растягивающим напряжениям (оси элемента).

При этом устройство поперечных оси бондажей с трех сторон балки увеличивает несущую способность по поперечной арматуре.

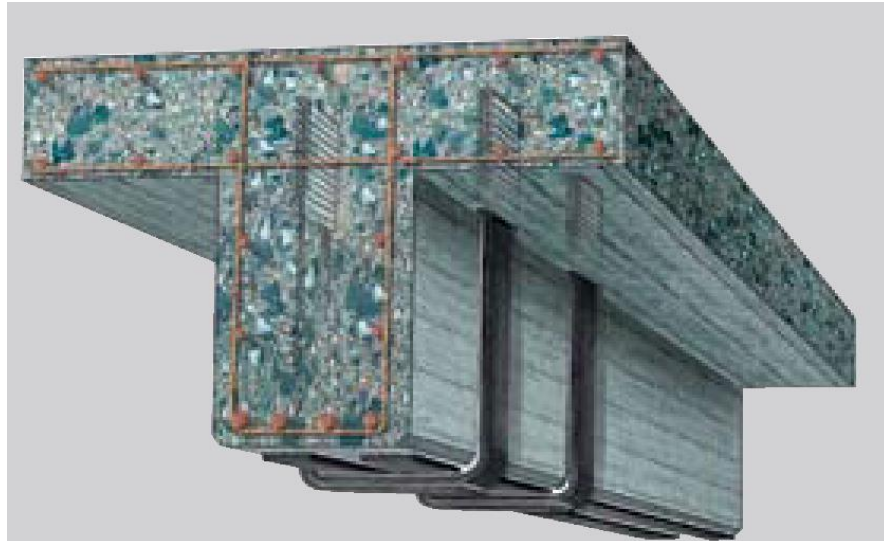
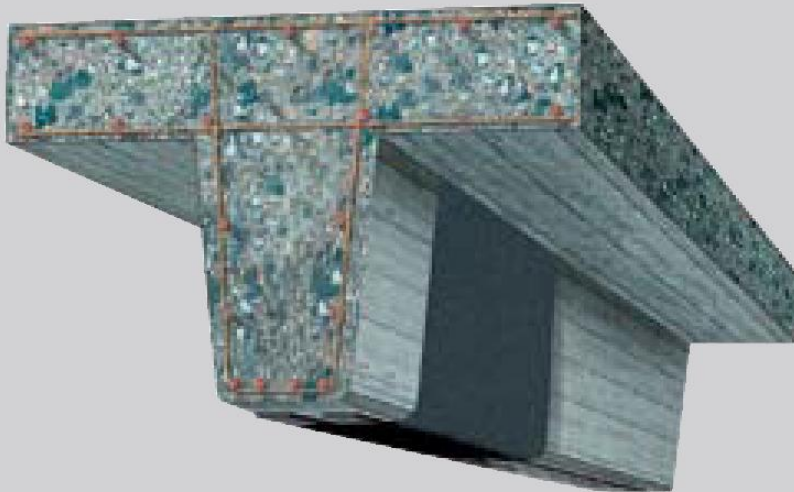
Напряжения в ФАП G_f определяются по следующим зависимостям:

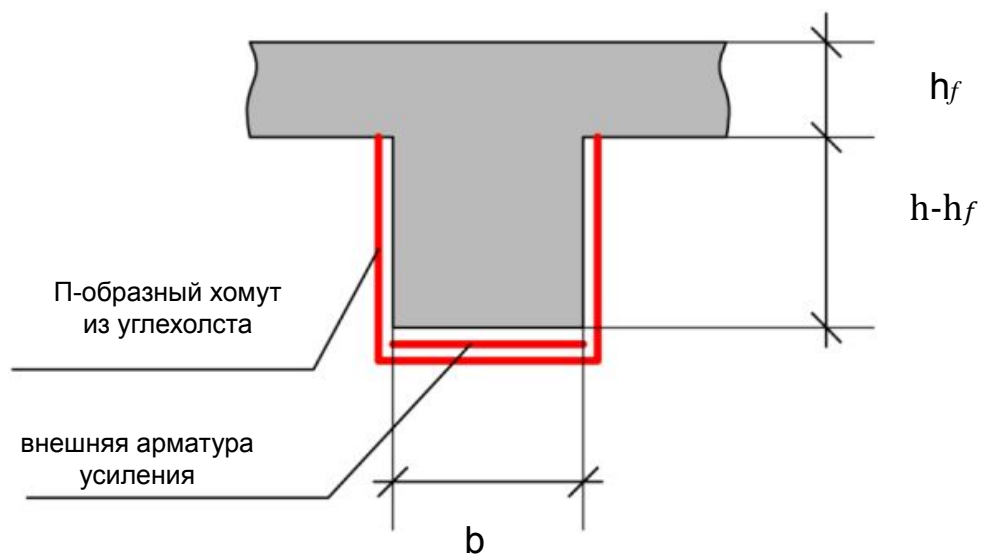
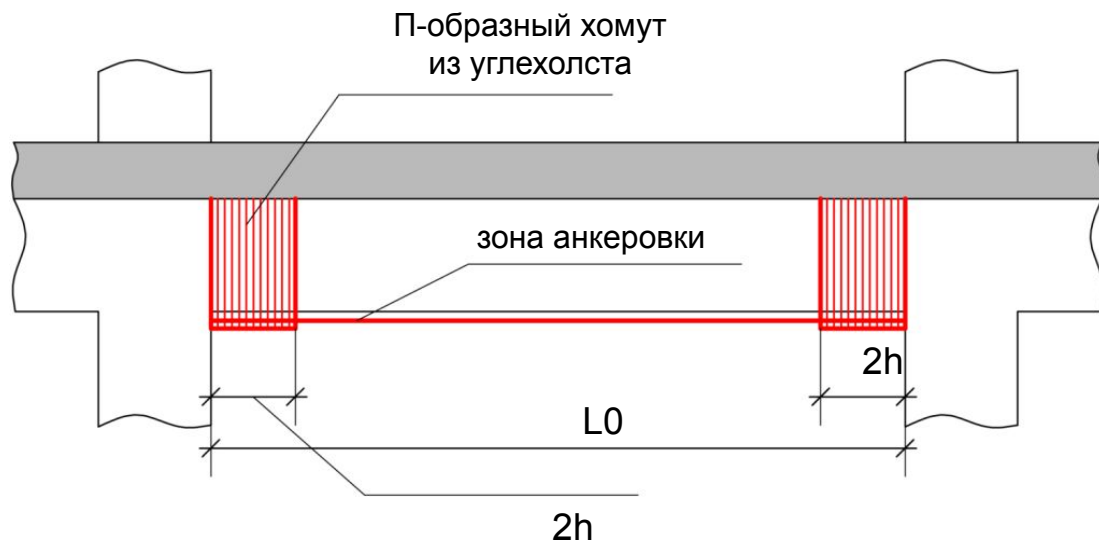
$$\sigma_f = \frac{\varepsilon_{ei} E_f}{1 - \frac{\omega}{\xi_f}} \left(\frac{\omega}{\xi_f} - 1 \right) - \varepsilon_{ei} E_f$$

$$\varepsilon_{ei} = -\varepsilon'_s \frac{h - x}{x}$$

ε_{ei} – деформация волокон бетона.

ε'_s – начальная деформация крайнего сжатого волокна бетона





до



после



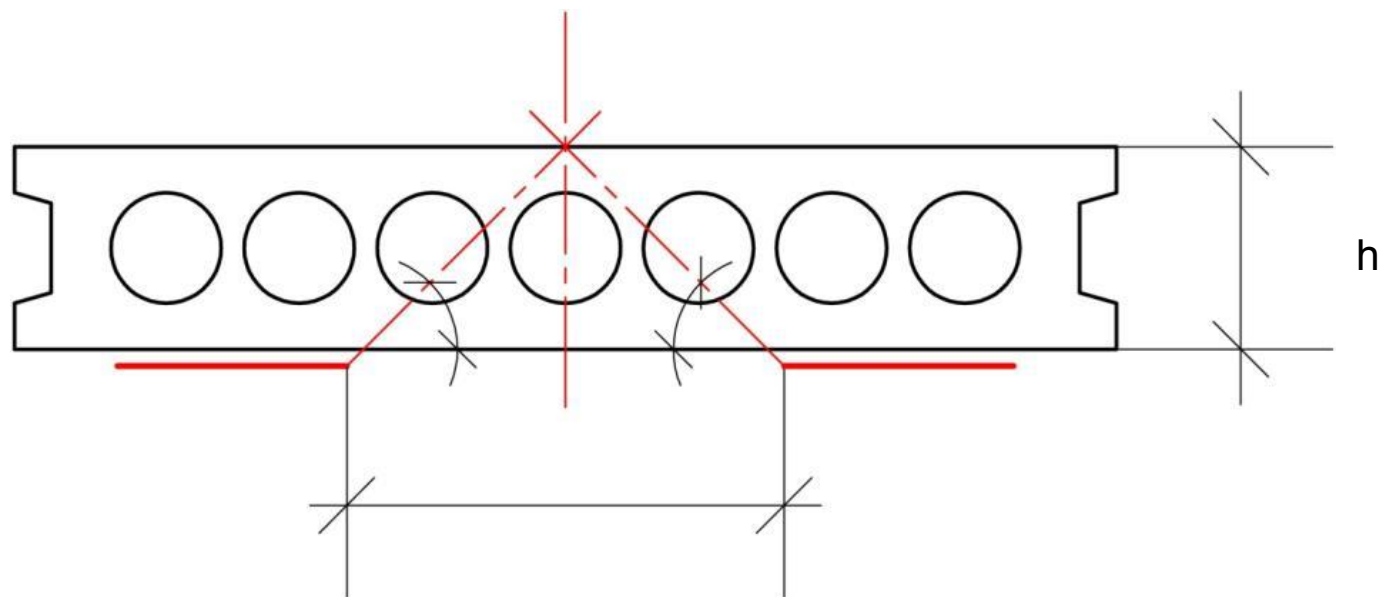
В. Усиление перекрытий



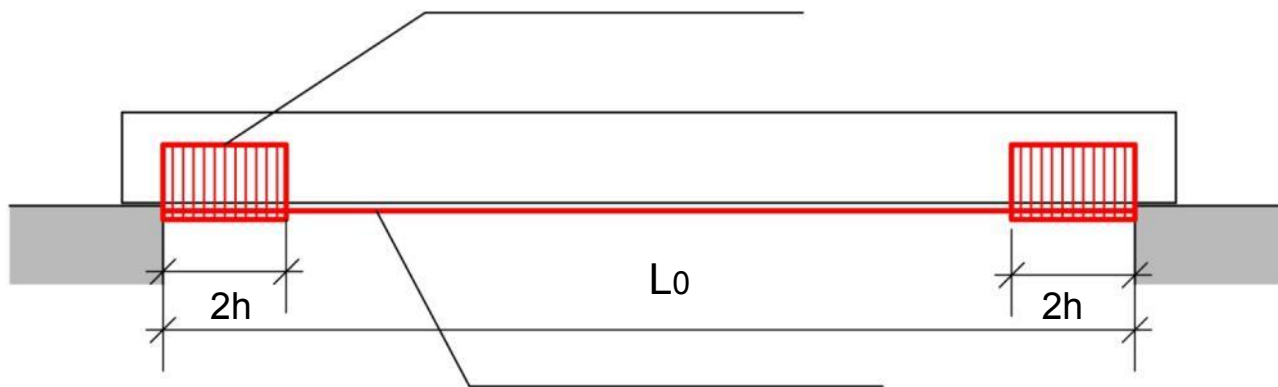
Усиление перекрытий является разновидностью усиления изгибаемых элементов. Очень эффективное решение, позволяющее сохранять объемно-планировочное решение помещений. Увеличение прочности возможно до 2,5 раз по сравнению с исходной нагрузкой.



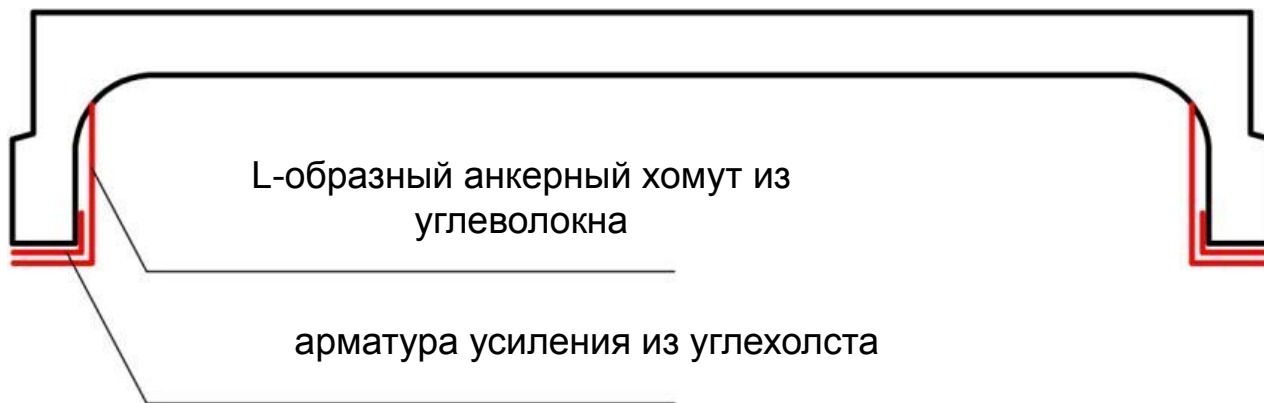
сборная пустотная/монолитная плита



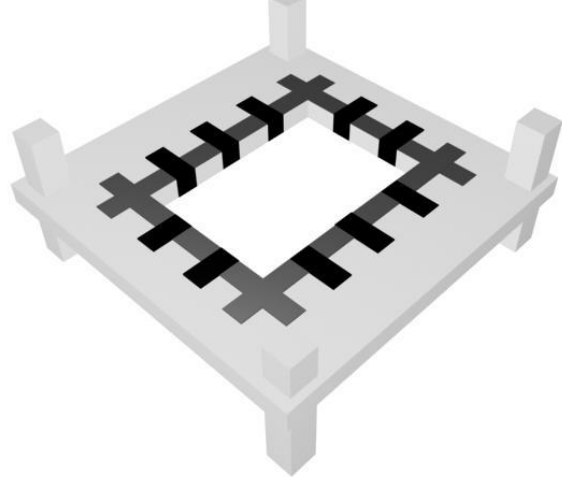
L-образный
анкерный хомут из
углеволокна



арматура усиления
из углехолста



Г. Усиление отверстий



Как при новом строительстве, так и при реконструкции часто появляется необходимость устройства проемов в железобетонных конструкциях. В этом случае усиление композитными материалами является волшебным вариантом спасения архитектуры помещений.

Конструктор составляет расчетную схему работы конструкции с отверстием, затем при помощи специальных программных комплексов (SCAD, Lira, Robot) определяет напряженно-деформированное состояние конструкции, а затем уже проводит расчет на усиление композитной системой.



Д. Усиление кирпичной кладки



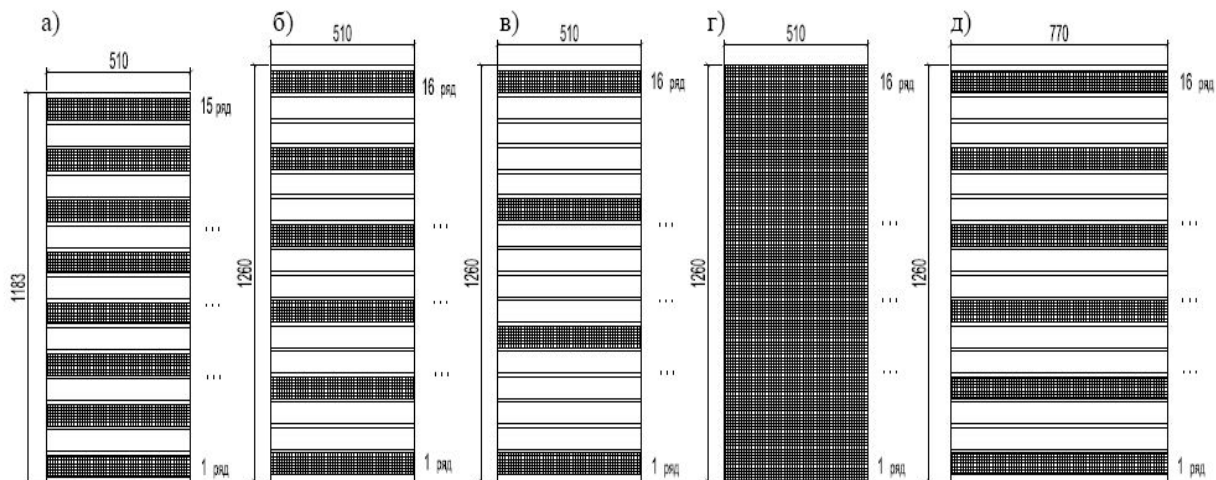
Усиление кирпичной кладки является чрезвычайно эффективным мероприятием. Небольшая прочность кирпичной кладки на сжатие и маленький модуль упругости позволяют углеволоконному бондажу полностью включиться в работу.

Существует два принципиально разных способа усиления кирпичной кладки композиционными материалами.

Первый способ – усиление сплошной углеродной тканью на эпоксидном клею. ЦНИИСК им. Кучеренко выполнял ряд экспериментов по разрушению кирпичных колонн и простенок, усиленных по данной технологии. Максимальное значение усиления конструкции при центрально приложенной нагрузке со случайным эксцентриситетом составляет около 2,5 раз.

Второй способ – усиление кирпичной кладки при помощи углеродной сетки и неорганического минерального состава.





Серия (марка) образца	Размеры поперечного сечения	Относительная прочность кладки (%)
Эталон	38×51	100
I-я серия (через ряд)	38×51	250
II-я серия (через 2 ряда)	38×51	180
III-я серия (через 4 ряда)	38×51	150
IV-я серия (целиком)	38×51	260
V-я серия (через 2 ряда + шпильки)	38×77	172