

24. Усиление железобетонных конструкций

24.1. Введение

24.2. Классификация причин, вызывающих необходимость в усилении

24.3. Классификация способов усиления железобетонных конструкций

23.3.1. Увеличение площади поперечного сечения

23.3.2. Предварительное напряжение

23.3.3. Установка дублирующих элементов

23.3.4. Установка стальных элементов

23.3.5. Полимербетонные композитные материалы

23.3.6. Изменение расчетных и геометрических схем

конструкции

24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

24.5. Используемые источники

24.1. Введение

В настоящее время, в связи, с усовершенствованием технологических процессов возникает потребность в максимальном использовании существующих площадей. В связи с чем возникает потребность в реконструкции существующих зданий. Но всякая реконструкция сопровождается, как правило, изменением нагрузок на строительные конструкции и изменением их первоначальных конструктивных схем, что приводит, к необходимости увеличения несущей способности конструкций и, следовательно, их усиления.

Необходимость усиления строительных конструкций в процессе эксплуатации возникает не только при реконструкции, но и по причине их преждевременного износа в результате непредусмотренных проектом изменений технологии производства при действующем оборудовании, различных повреждений и т.п.

Под усилением строительных конструкций понимается комплекс мер, направленных на повышение их несущей способности, жесткости, трещиностойкости и др. показателей качества, необходимых по условиям их дальнейшей эксплуатации.

К усилению железобетонных конструкций следует прибегать лишь после того, как будут исчерпаны все возможности их надежной эксплуатации (ограничения технологических нагрузок, введение временных разгрузочных опор, снижение уровня вибрации и др.).

Определение возможности и целесообразности усиления, а так же выбор способов и схем усиления производятся в каждом отдельном случае с учетом фактического состояния конструкции, агрессивности среды, а также возможности выполнения усиления без остановки основного производства.



24.2. Классификация причин, вызывающих необходимость в усилении

Потребность в усилении несущей конструкции можно представить в следующей классификации.



24.3. Классификация способов усиления железобетонных конструкций

Способы усиления конструкций представлены в следующей классификации.



24.3.1. Увеличение площади поперечного сечения

Наиболее распространенными методами усиления являются:

1. Увеличение площади поперечного сечения элемента конструкции;
2. Предварительное напряжение наружными прядями, в том числе устройство затяжек;
3. Установка дублирующих элементов;
4. Установка стальных пластин, имеющих сцепление с бетоном;
5. Применение полимербетонных композиционных материалов;
6. Изменение расчетных и геометрических схем конструкции.

Рассмотрим каждый из методов подробнее:

1. Увеличение площади поперечного сечения элемента конструкции

Один из старейших методов усиления. Суть заключается в присоединении дополнительного количества железобетона к несущему элементу конструкции. Добавляемый материал должен иметь достаточное сцепление со старым бетоном. Усиление сцепления достигается устройством в «старом» бетоне открытых пазов, насечек или дополнительным поперечным армированием, хомутами соединенными с арматурой конструкции. А так же для усиления сцепления применяют адгезионные грунтовки.

Ощутимая выгода от увеличения площади сечения возможна только в случае совместной работы этих слоев как единого целого, в плоть до достижения предельного сцепления. Хорошее сцепление между слоями позволяет воспринимать сдвигающие нагрузки.



24.3.1. Увеличение площади поперечного сечения

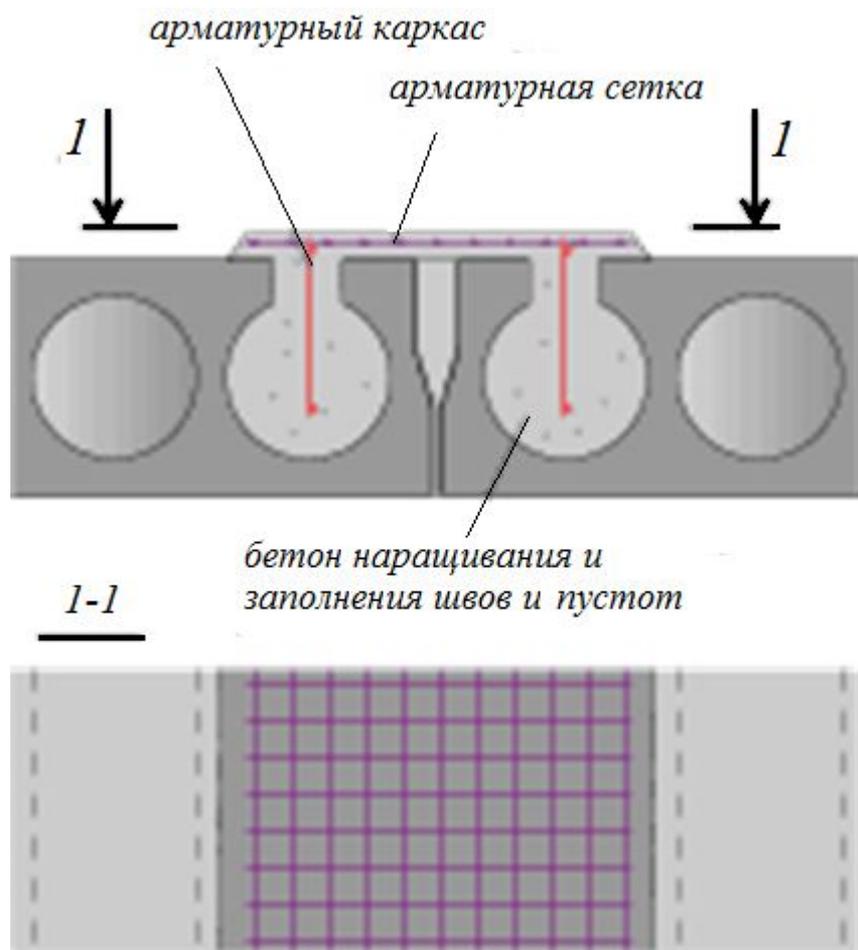


Рис. 23.1. Усиление плит перекрытия

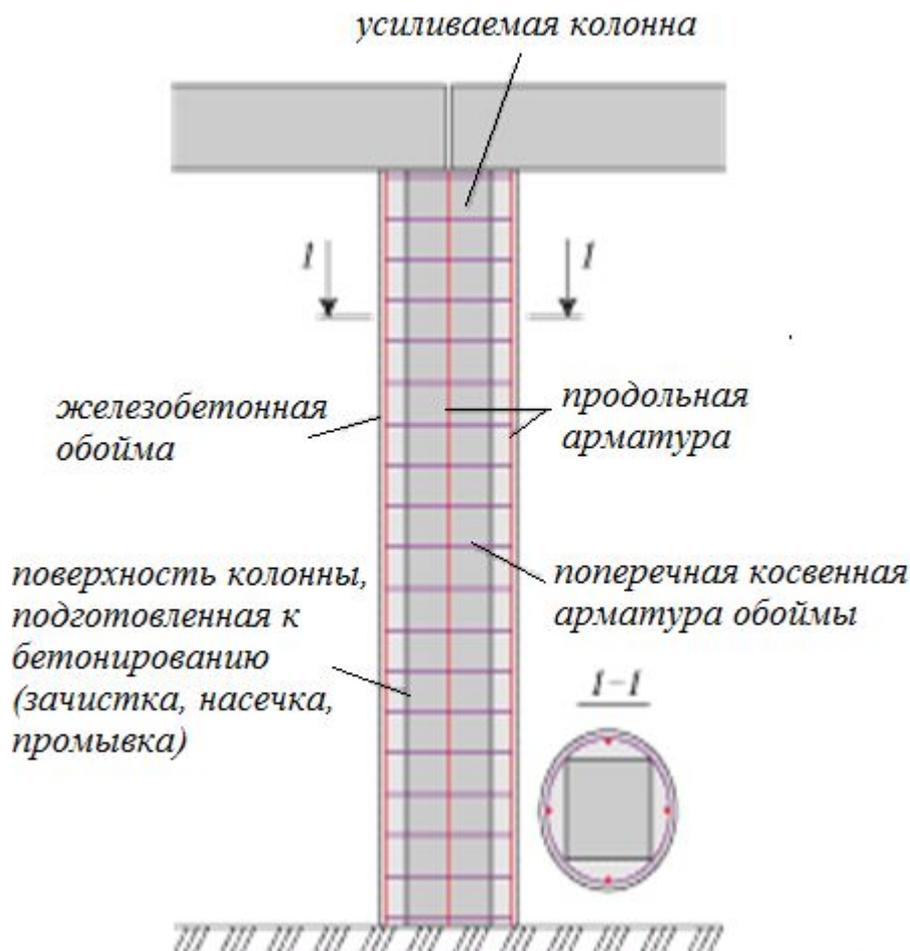
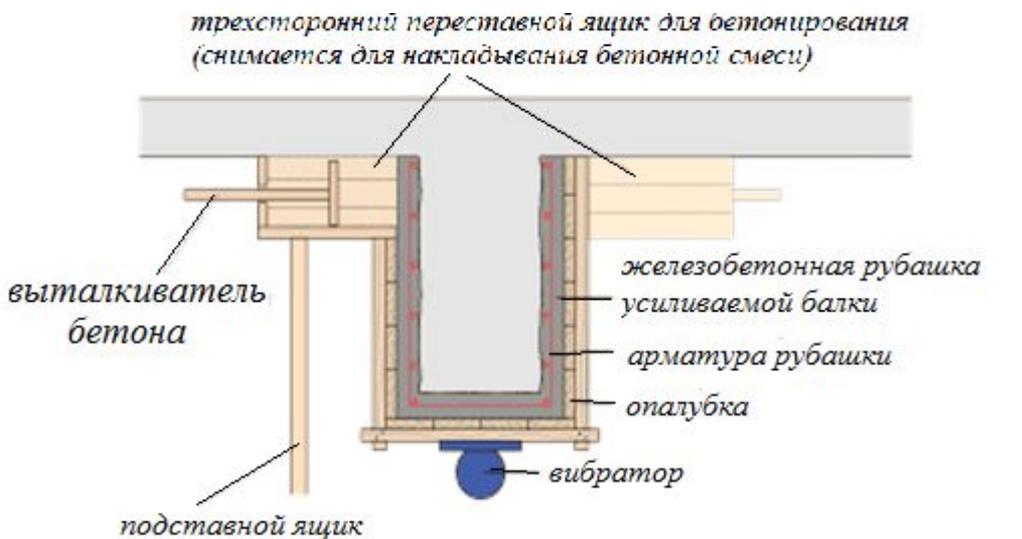


Рис. 23.2. Усиление колонн



24.3.1. Увеличение площади поперечного сечения



Метод увеличения площади поперечного сечения элемента относительно прост и экономичен. Кроме того он в любом случае увеличивает жесткость железобетонной конструкции. Недостатком этого метода является оставшаяся возможность дальнейшего развития коррозии арматуры и разрушения бетона.

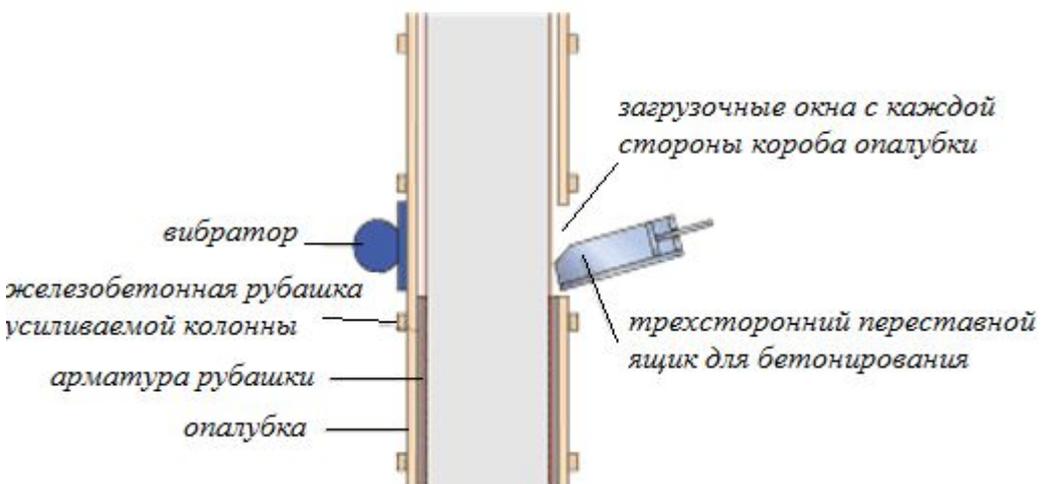


Рис. 23.3. Усиление балок



24.3.2. Предварительное напряжение (затяжки)

2. Предварительное напряжение наружными прядями (затяжки)

Метод особенно эффективен для уменьшения недопустимых прогибов конструкций. Кроме того, этот метод позволяет повысить несущую способность конструкции и повысить их трещиностойкость.

Преимущества:

- простая технология производства работ;
- возможность замены напрягаемых пучков и прядей в любой момент времени;
- возможность последующего мониторинга усиленной конструкции в течении всего периода эксплуатации.

Недостатки:

- возможность коррозии металла напряженных прядей;
- низкая огнестойкость.



24.3.2. Предварительное напряжение (затяжки)

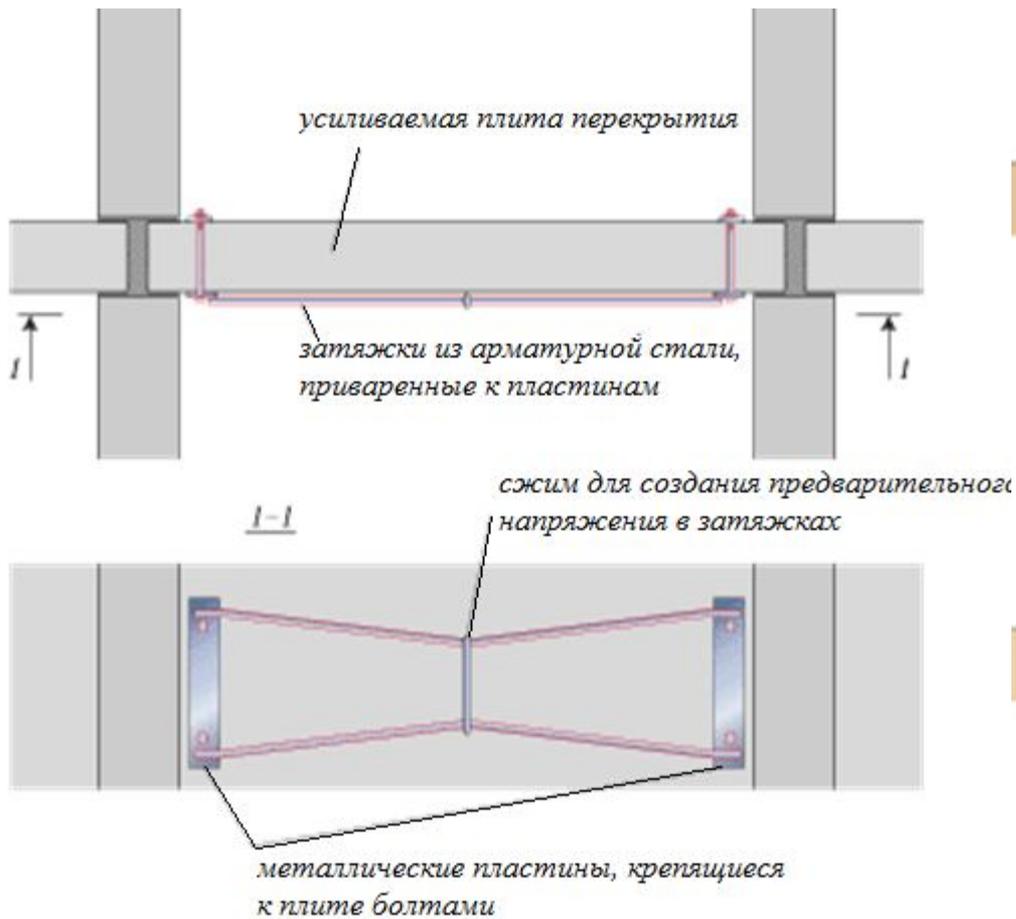


Рис. 23.4. Усиление плиты перекрытия

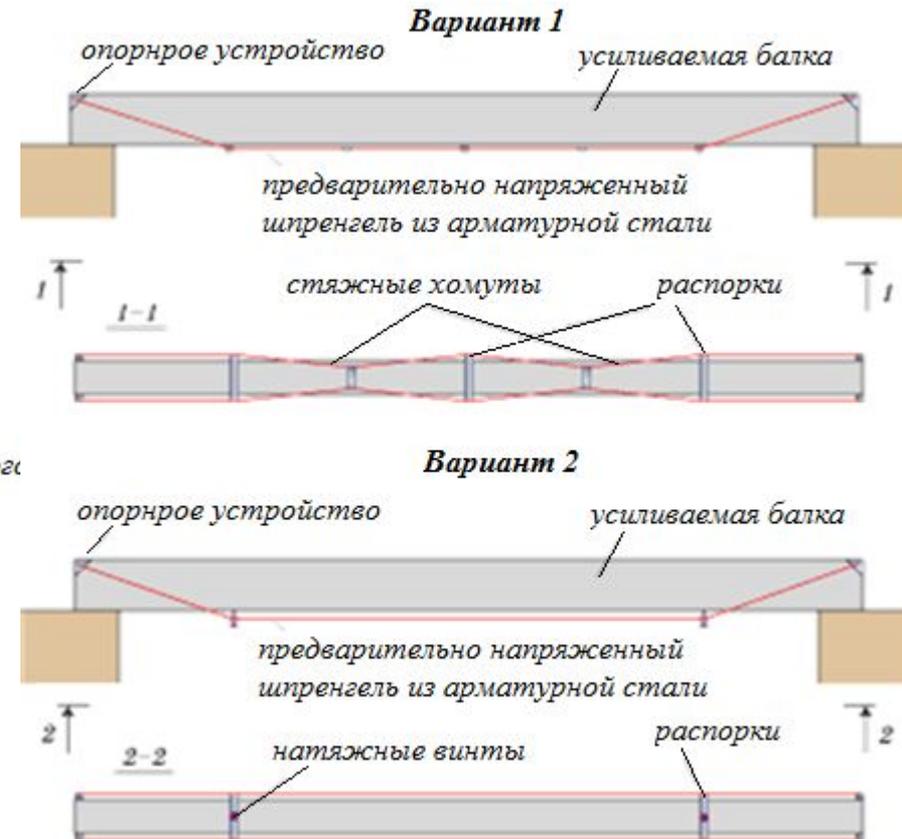


Рис. 23.5. Усиление балок



24.3.2. Предварительное напряжение (затяжки)

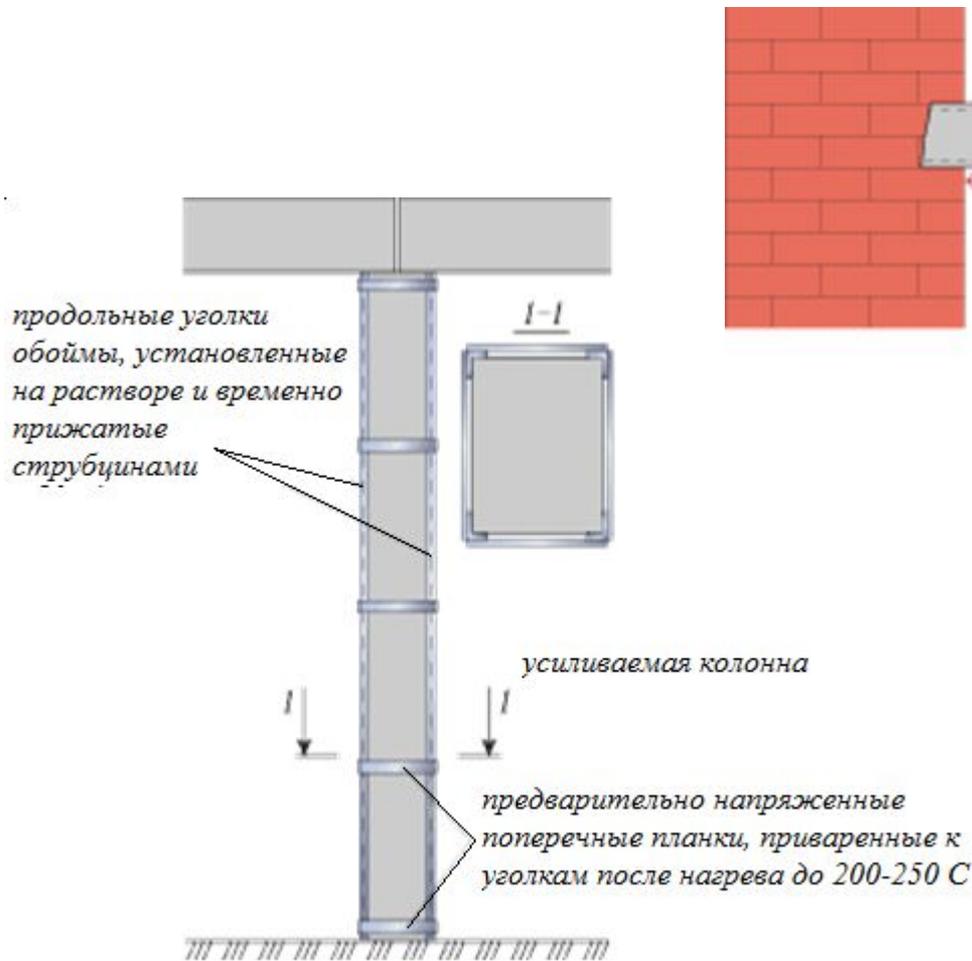


Рис. 23.6. Усиление колонн

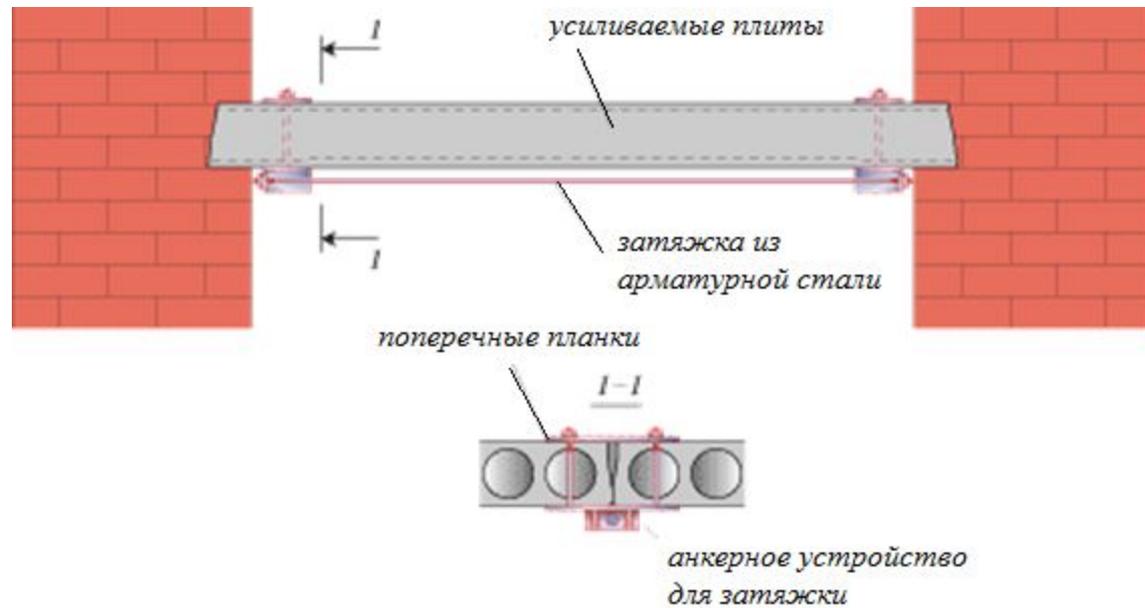


Рис. 23.7. Усиление плит



24.3.3. Установка дублирующих элементов

3. Установка дублирующих элементов

Суть заключается в установке дублирующих элементов рядом или в промежутке между существующими конструкциями. Эти элементы разгружают несущие и воспринимают всю или часть нагрузки. При этом необходимо предусмотреть мероприятия по включению их в работу совместно с усиливаемой конструкцией. Обычно это достигается установкой дополнительных связей или поддомкрачиванием плит перекрытия с заведением в зазоры между плитами и дублирующими элементами клиновых прокладок.

Преимущества:

- простая техника производства работ;
- включение в работу непосредственно после выполнения работ.

Недостатки:

- ограничение области применения.



24.3.3. Установка дублирующих элементов

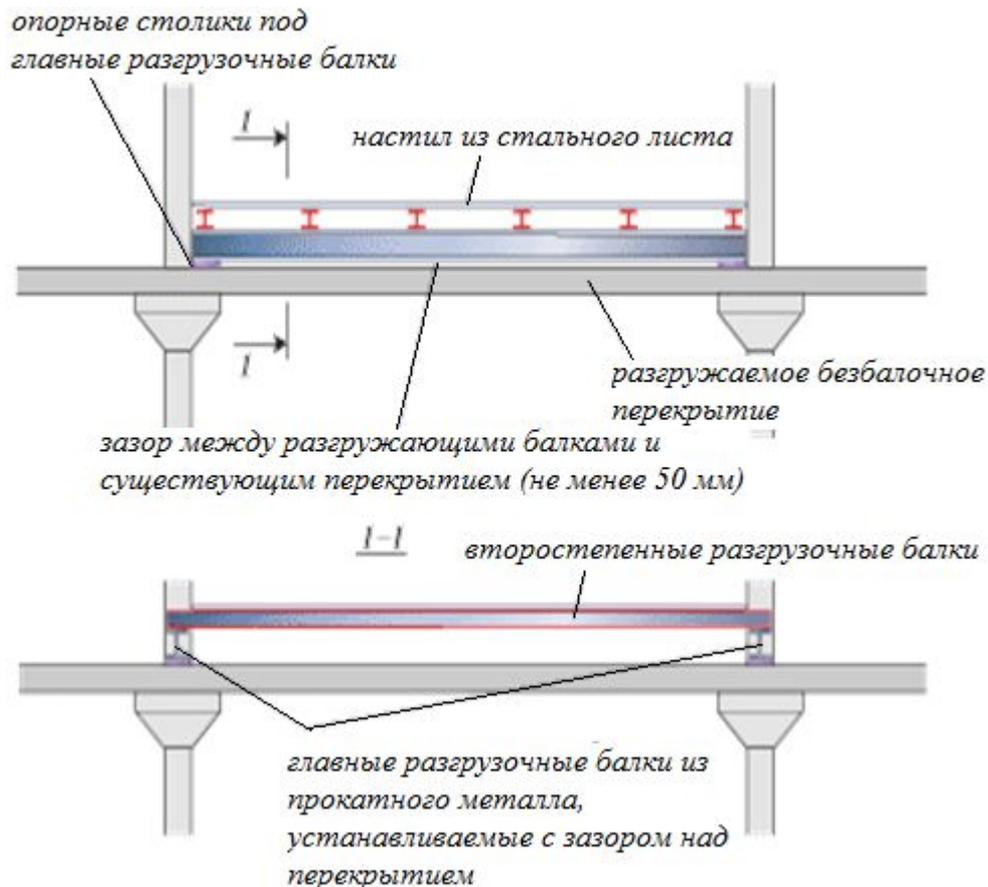


Рис. 23.8. Усиление разгружающими балками сверху перекрытия

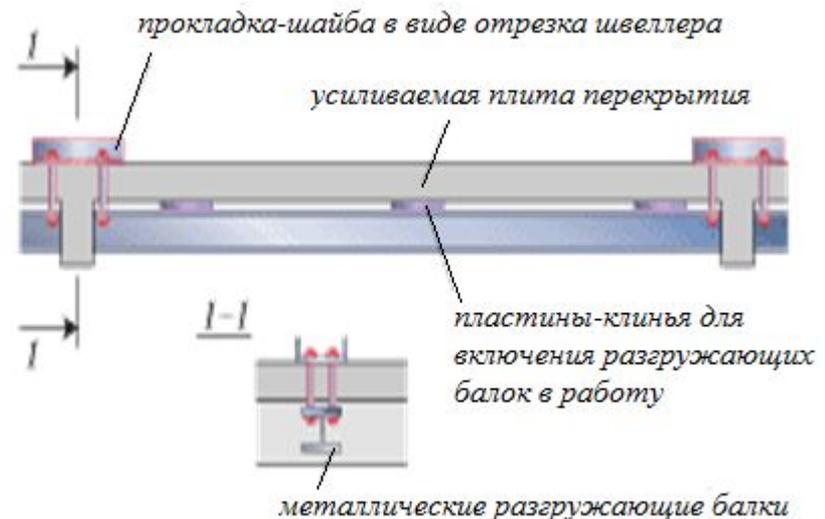


Рис. 23.9. Усиление разгружающими балками снизу перекрытия



24.3.3. Установка дублирующих элементов

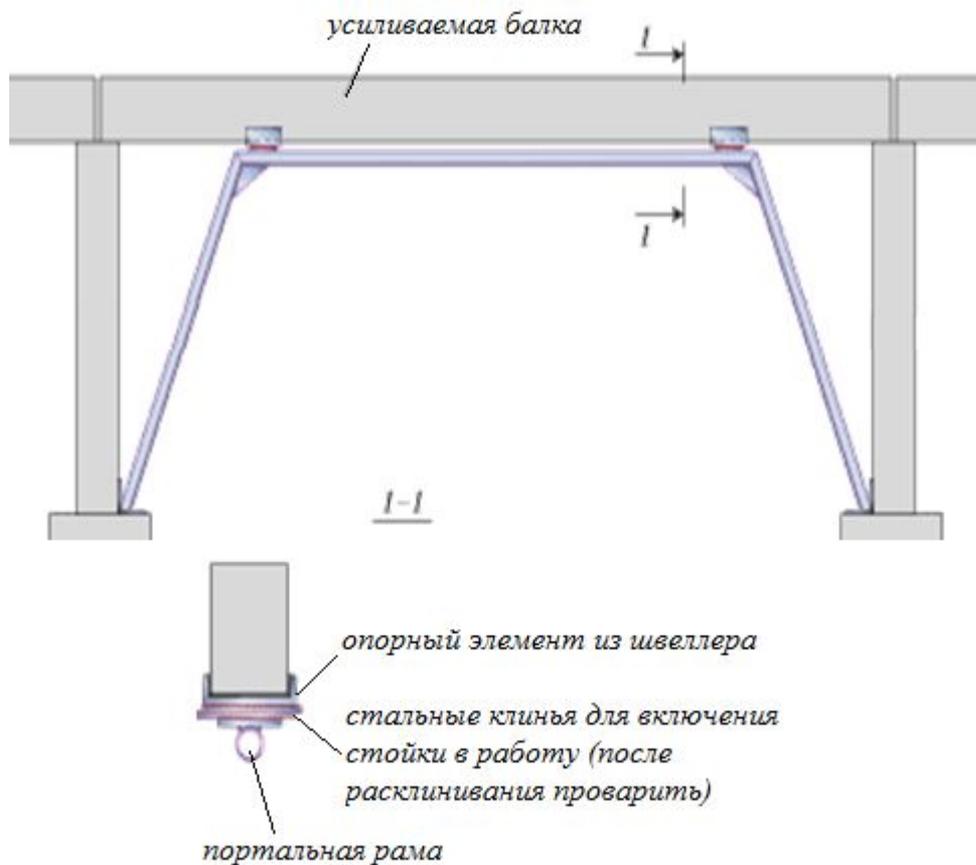


Рис. 23.10. Усиление балок

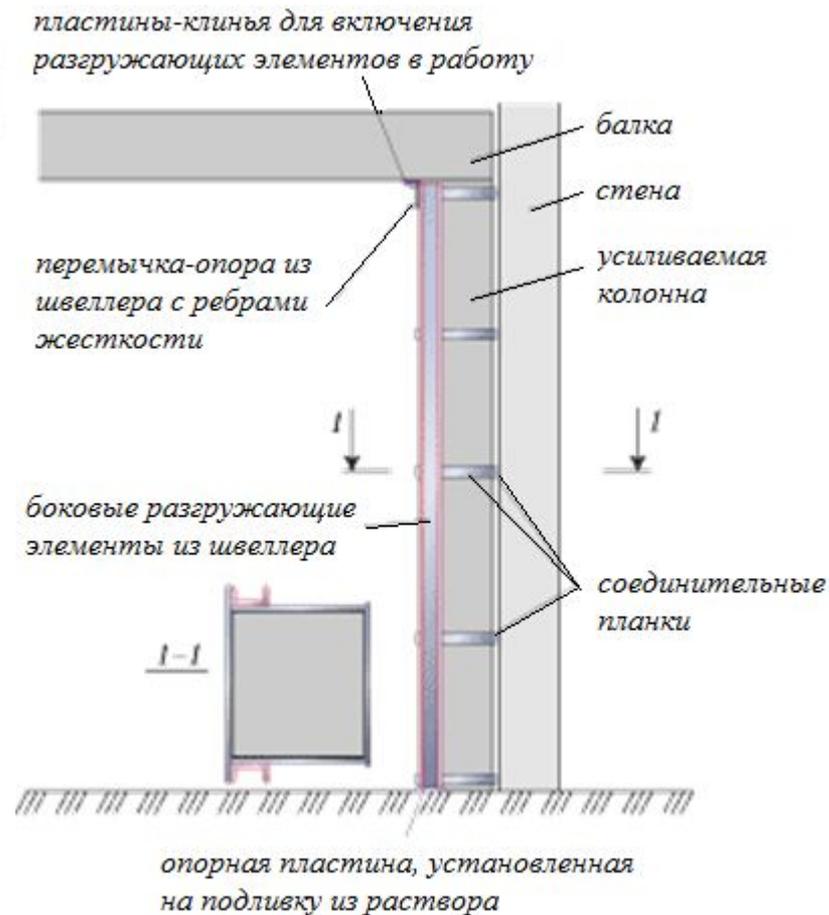


Рис. 23.11. усиление колонн



24.3.4. Установка стальных листов и арматурных элементов

4. Установка стальных элементов, имеющих сцепление с бетоном

Суть метода заключается в том, что стальные листы приклеиваются бетоном к поверхности, арматурные элементы укладывают в заранее подготовленные штробы и так же приклеивают с помощью эпоксидного клеящего состава, за счет чего образуется трехкомпонентная система «бетон – клеящий состав – сталь».

Стальные листы и арматурные элементы увеличивают сопротивление железобетонных элементов изгибу и повышают изгибную жесткость конструкции в целом (чаще балок).

Для обеспечения эффективности усиления должны соблюдаться следующие условия:

- склеиваемые поверхности должны быть чистыми;
- клеящий состав должен обладать как минимум такой же прочностью сцепления, что и бетон (разрушение должно происходить по бетону);
- пластины должны быть длинными и тонкими, чтоб избежать нежелательного хрупкого разрушения отрыва пластины (для предотвращения отрыва может применяться дополнительная анкеровка на концах пластины).

Недостатки:

- сталь подвержена коррозии;
- низкая огнестойкость;
- ограниченное использование при усилении сложных геометрических профилей.



24.3.4. Установка стальных элементов

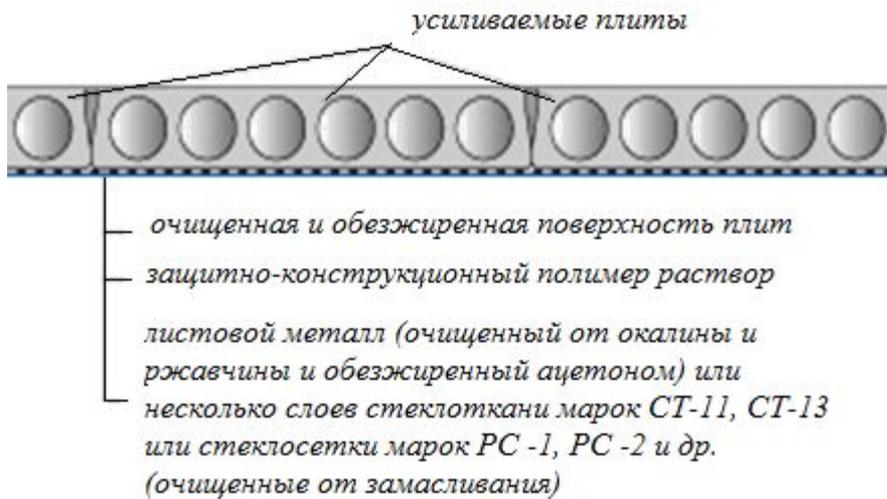


Рис. 23.12. Усиление плит



Рис. 23.13. Усиление балок

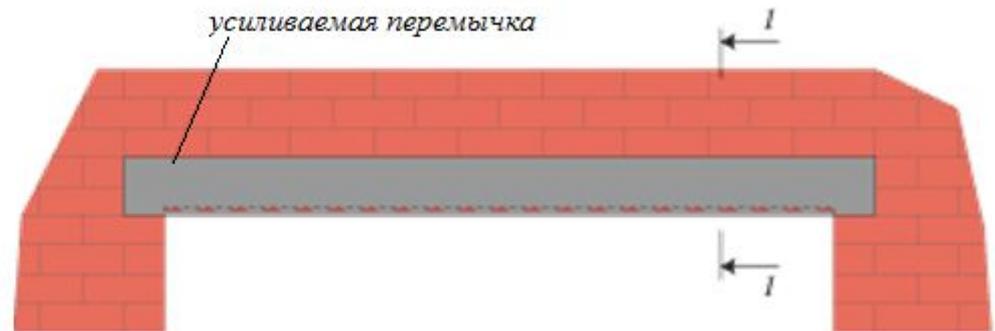
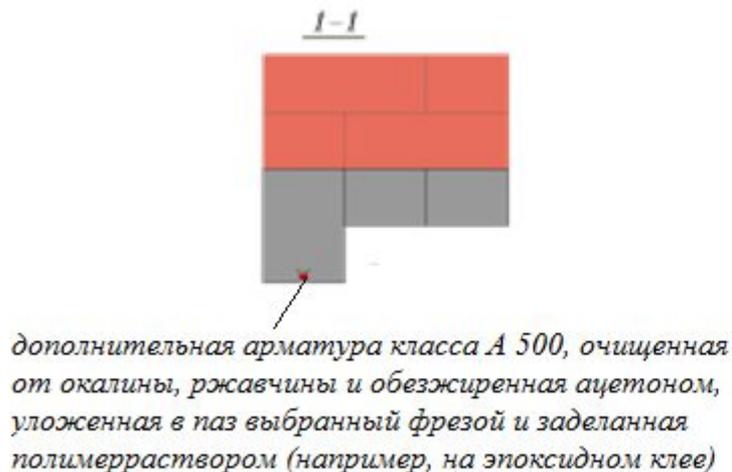


Рис. 23.14. Усиление перемычек



24.3.5. Полимербетонные композитные материалы

5. Применение полимербетонных композитных материалов

Композитными называют материалы, состоящие из двух или более компонентов (доля каждого из компонентов должна быть не менее 5-10% и свойства каждого должны существенно различаться от других). Волокна называются – наполнителем, а второй компонент связующим.

Композитные материалы могут быть выполнены на основе различных связующих – полимерных, керамических, металлических, минеральных и других.

Полимерные имеют сравнительно невысокую прочность и модуль упругости.

Керамические – обладают высокой прочностью и жесткостью, но при этом очень хрупкие.

Металлические – имеют промежуточные значения прочности, модуля упругости и достаточно пластичны.

В строительстве применяют композитные материалы на основе высокопрочных волокон: **углеродных, арамидных, стеклянных и др.**

В основе **стекловолокон** используются кварцевые стекла. Их преимущество – относительно невысокая стоимость.

В основе **арамидных** волокон лежат волокна схожие по структуре нейлону (такие как кевлар, тварон, технора).



24.3.5. Полимербетонные композитные материалы

По сравнению со стеклянными эти волокна имеют более высокую прочность и модуль упругости. Они более пластичны под действием растягивающих нагрузок, но при сжатии остаются упругими до разрушения. Арамидные волокна обладают хорошей выносливостью и жесткостью, а также низкими электро- и теплопроводимостью.

Наиболее широкое применение в строительстве нашли применения композитные материалы на основе углеродных волокон.

Углеродные волокна обладают исключительными физико-механическими характеристиками (высокой прочностью на растяжение и сжатие и близким к стали модулем упругости), а также стойкостью к различным агрессивным средам.

В основе усиления строительных конструкций полимербетоном и композитными материалами лежит увеличение площади поперечного сечения элемента.

Недостатки:

- низкая огнестойкость;
- изменение свойств под действием ультрафиолетового излучения;
- возможное трещинообразование при изменении объема в условиях ограничения свободы деформации;
- при высоких температурах развивается значительная деформационная ползучесть.

24.3.5. Полимербетонные композитные материалы

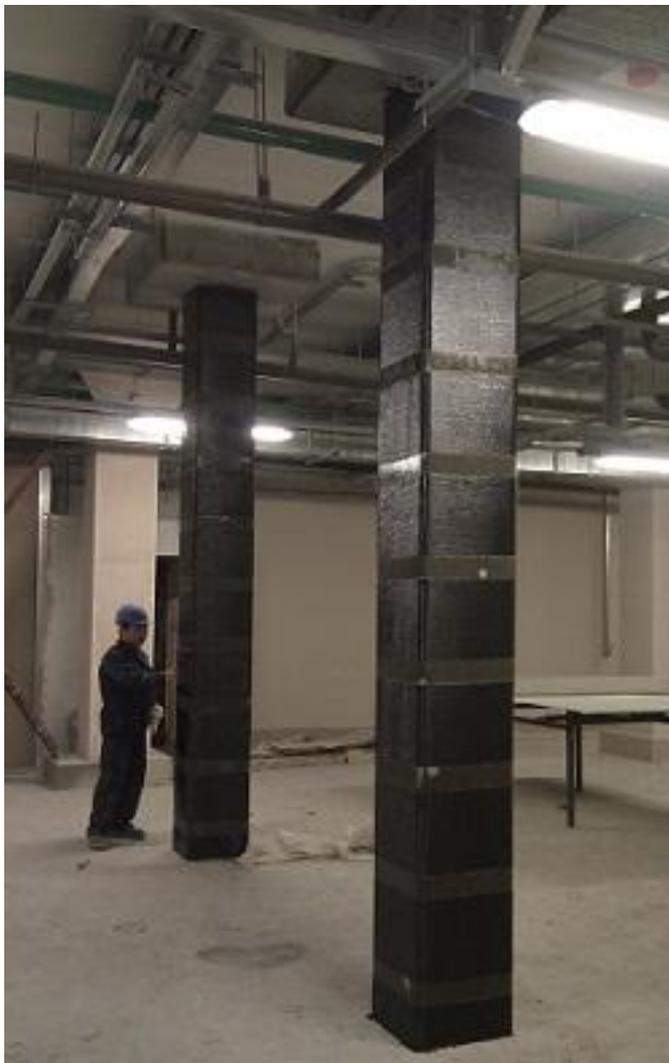


Рис. 23.15. Усиление колонн



Рис. 23.16. Усиление проемов



24.3.6. Изменение расчетных и геометрических схем конструкции

6. Изменение расчетных и геометрических схем конструкции

Изменение расчетных и геометрических схем конструкции обычно используется для превращения однопролетных схем в многопролетные. Так ряд однопролетных подкрановых балок можно соединить на опорах накладками и создать неразрезные балки, расчетные усилия которых от тех же краевых нагрузок будут на 30-40% меньше.

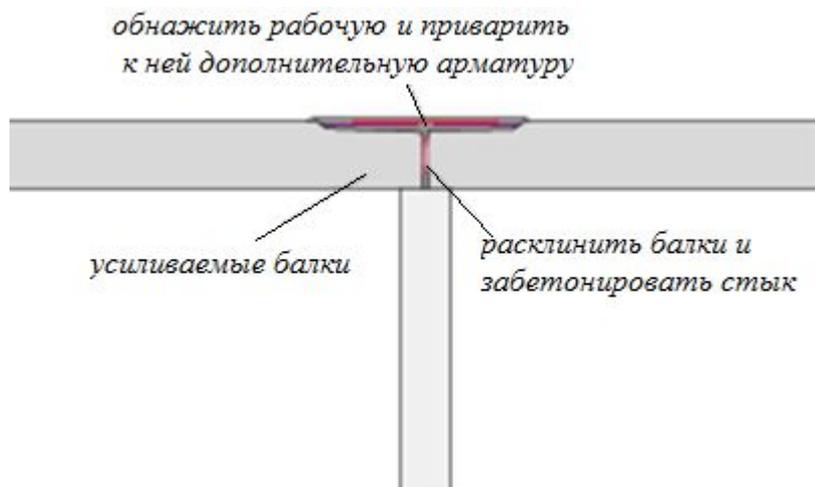


Рис. 23.17. Изменение геометрической схемы балок



24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

Основные расчетные положения

Расчеты бетонных и железобетонных конструкций следует производить в соответствии с требованиями **ГОСТ 27751** по методу предельных состояний, включающему:

- **предельные состояния первой группы**, приводящие к полной непригодности эксплуатации конструкций;
- **предельные состояния второй группы**, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций или уменьшающие долговечность зданий и сооружений по сравнению с предусматриваемым сроком службы.

Расчеты усиливаемых конструкций по предельным состояниям производится для двух стадий работы:

- до включения в работу бетона усиления (разгружающих элементов) – на нагрузки и воздействия, включающие нагрузку от бетона усиления (разгружающих элементов);
- после включения в работу бетона усиления (разгружающих элементов) – на полные эксплуатационные нагрузки.

Расчеты конструкций производятся в соответствии с СП 63.13330.2011 «**СНиП 52-01-2003** Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Расчеты конструкций, усиливаемые бетоном и железобетоном, **включают в себя следующие виды расчетов:**

- расчет по прочности нормальных и наклонных сечений;
- расчет на прочность контактных швов;
- расчет на выносливость сечений и контактных швов;
- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;
- расчет по деформациям.



24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

Рассмотрим подробнее некоторые из расчетов.

Расчет прочности контактных швов.

Проверка прочности контактных швов между усиливаемой конструкцией и бетоном усиления производится из условия:

$$Q_{sh} \leq Q_{sh, u} \quad (23.1)$$

где Q_{sh} – сдвигающее усилие в шве от внешней нагрузки;

$Q_{sh, u}$ – предельное сдвигающее усилие, воспринимаемое контактным швом.

Для свободно опертых конструкций (балок и балочных плит) расчет прочности контактных швов производится у опоры на участке между свободным торцом конструкции и наклонным сечением (рис. 23.22).

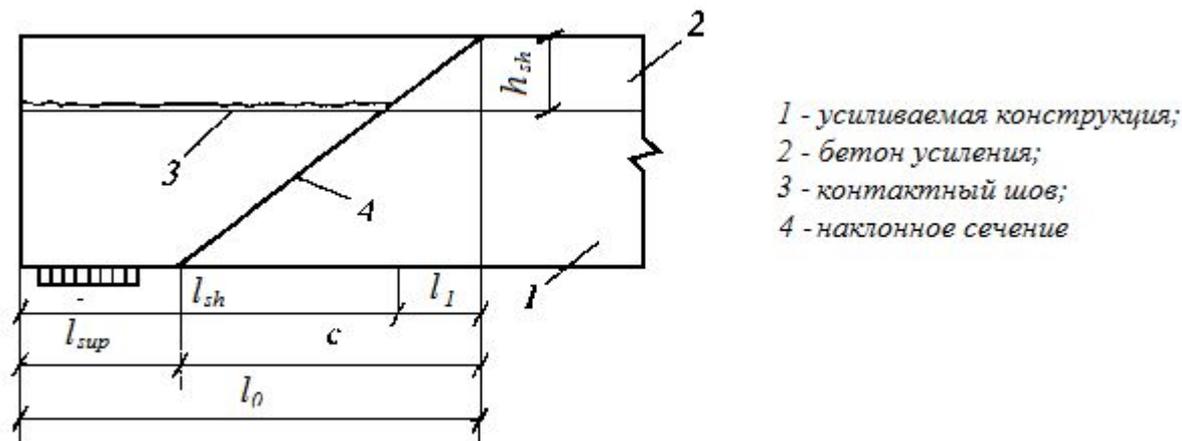


Рис. 23.22. Схема определения расчетной длины контактного шва



24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

Сдвигающее усилие в шве от внешней нагрузки определяется по формуле:

$$Q_{sh} = (M - M_{sw}) / z, \quad (23.2)$$

где $M = M_2$ – момент от внешней нагрузки в нормальном сечении, проходящем через конец рассматриваемого наклонного сечения у сжатой грани конструкции;

M_{sw} – момент, воспринимаемый поперечной арматурой в рассматриваемом наклонном сечении и принимаемый равным $0,5(q_{sw1} + q_{sw2}) c^2$, где c – длина проекции наклонного сечения на продольную ось конструкции;

z – плечо внутренней пары продольных сил в наклонном сечении, принимаемое равным $0,9 h_0$.

Длина поверхности сдвига l_{sh} принимается равной расстоянию от торца конструкции до точки, в которой наклонное сечение пересекает поверхность контакта,

$$l_{sh} = l_0 - l_1, \quad (23.3)$$

где l_0 – расстояние от торца конструкции до конца наклонного сечения у сжатой грани;

l_1 – расстояние от конца наклонного сечения у сжатой грани до конца поверхности сдвига – $l_1 = c (h_{sh} / h_0)$;

h_{sh} – расстояние от геометрического центра поверхности сдвига до сжатой грани конструкции.

24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

Расчет по образованию трещин.

Усиливаемые конструкции, в зависимости от предъявляемых к ним требованиям по трещиностойкости, рассчитываются по образованию трещин, нормальных к продольной оси конструкции, и наклонных – в зоне действия наибольших главных растягивающих напряжений.

Проверка по образованию нормальных трещин производится из условия:

$$M_r \leq M_{crc}, \quad (23.4)$$

где M_r – момент от полной нагрузки, действующей на конструкцию (т.е. от нагрузки, приложенной до включения в работу бетона усиления и после), относительно оси, проходящей через ядровую точку, наиболее удаленную от растянутой зоны, трещиностойкость которой проверяется;

M_{crc} – момент, воспринимаемый сечением конструкции при образовании трещин.

Для изгибаемых конструкций:

$$M_r = M_1 + M_2; \quad (23.5)$$

для внецентренно сжатых конструкций:

$$M_r = M_1 + N_2 (e_0 - r). \quad (23.6)$$

где e_0 – эксцентриситет продольной силы N_2 относительно центра тяжести усиленного сечения, приведенного (по модулю упругости) к бетону усиливаемой конструкции;

r – расстояние от центра тяжести указанного сечения до ядровой точки (условной), наиболее удаленной от растянутой зоны.

24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

- Рассмотрим подробнее некоторые из расчетов.

Расчет прочности контактных швов ()

Проверка прочности контактных швов между усиливаемой конструкцией и бетоном усиления производится из условия:

$$Q_{sh} \leq Q_{sh, u} \quad 23.1$$

где Q_{sh} – сдвигающее усилие в шве от внешней нагрузки;

$Q_{sh, u}$ – предельное сдвигающее усилие, воспринимаемое контактным швом.

Для свободно опертых конструкций (балок и балочных плит) расчет прочности контактных швов производится у опоры на участке между свободным торцом конструкции и наклонным сечением (рис. 23.22).

24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

Рассмотрим подробнее некоторые из расчетов.

Расчет прочности контактных швов.

Проверка прочности контактных швов между усиливаемой конструкцией и бетоном усиления производится из условия:

$$Q_{sh} \leq Q_{sh, u} \quad 23.1$$

где Q_{sh} – сдвигающее усилие в шве от внешней нагрузки;

$Q_{sh, u}$ – предельное сдвигающее усилие, воспринимаемое контактным швом.

Для свободно опертых конструкций (балок и балочных плит) расчет прочности контактных швов производится у опоры на участке между свободным торцом конструкции и наклонным сечением (рис. 23.22). ()

()

24.4. Расчет усиливаемых железобетонных конструкций

Кривизна конструкций на участках с трещинами в растянутой зоне.

На участках, где образуются нормальные трещины, полная величина кривизны определяется по формуле:

$$(1/r)_{tot} = (1/r)_2 - (1/r)_3 + (1/r)_4, \quad (23.11)$$

где $(1/r)_2$ – суммарная кривизна от нагрузок, приложенных до приобретения бетоном усилия заданной прочности (сила P , момент M_1) и непродолжительного действия всей нагрузки, приложенной после приобретения бетоном усиления заданной прочности;

$(1/r)_3$ и $(1/r)_4$ – суммарная кривизна от нагрузок, приложенных до приобретения бетоном усиления заданной прочности (сила P , момент M_1) и соответственно непродолжительного и продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок, приложенных после приобретения бетоном усиления заданной прочности.

Схема расчета конструкций, усиливаемых разгружающими элементами.



24.5 Использованные источники

Наиболее подробно методику расчета усиления железобетонных конструкций с примерами расчета можно найти в книге:

1. Проектирование усилений несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / Работа выполнена А. Б. Голышевым, И.Н. Ткаченко – К.: Логос, 2001.
2. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами, М., 2006.
3. Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ) Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», №4, 2012.
4. Графическая информация использована с сайта skoch-usilenie.ru