

Усиление железобетонных конструкций

Отличительные особенности железобетонных конструкций зданий и сооружений:

- **использование в качестве несущих элементов двух компонентов - стали и бетона**, обладающих разными физико-механическими свойствами (прочностью, деформативностью, коррозиоустойчивостью и т.д.). В реальных условиях это обуславливает значительную зависимость их совместной работы от технологических факторов, условий эксплуатации; соответственно, действительная работа железобетонных конструкций часто отличается от расчетных предпосылок;
- **недоступность одного из основных элементов - арматуры для осмотра и ремонта**, следовательно, наличие некоторой неопределенности в оценке его состояния и действительной работы;
- **слабая прочность бетона на удары, хрупкость;**
- **слабая трещиностойкость бетона;**
- **подверженность бетона и арматуры коррозии;**
- **большая трудоемкость производства усилительных работ.**

Наиболее распространенными повреждениями железобетонных конструкций, вызывающими необходимость усиления являются:

- коррозионное разрушение бетона и арматуры;
 - трещинообразование бетона от развития начальных трещин и перегрузок;
 - разрушения опорных участков;
 - дефекты монтажа и изготовления (отсутствие закладных деталей, пониженная прочность бетона, недостаточное армирование и пр.).
-
- Особенностью железобетонных конструкций является сложность установления и оценки их эксплуатационного состояния, связанная со слабым приборным обеспечением обследований.

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84*)

Республика Беларусь

- Содержит наиболее полные материалы по оценке технического состояния железобетонных конструкций с учетом дефектов и повреждений, расчету и конструированию усиления железобетонных конструкций, включая усиление композиционными материалами.

Особенности оценки несущей способности

В отличие от вновь проектируемых элементов в расчетах существующих конструкций учитываются:

- **пониженная прочность бетона**, при наличии повреждений и коррозии коэффициентом γ_{01} на который умножается расчетное сопротивление бетона R_b ;
- **потери сечения арматуры в результате коррозии** коэффициентами γ_{02} и k_d на которые умножается расчетное сопротивление арматуры R_s ;
- **нарушение сцепления арматуры и бетона** при коррозии арматуры коэффициентом γ_{03} на который умножаются расчетные сопротивления бетона и арматуры R_b, R_s ;.

- Величина коэффициента k_d принимается:

$$k_d = (d_0^2 - d_k^2) \cdot 100\% / d_0^2$$

- где d_0 - исходный диаметр арматуры; d_k - минимальный сохранившийся диаметр прокорродированной арматуры, определенный с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

$$d_k = d_m - (1/\sqrt{n})t_{0,95} \cdot S_d$$

где d_m и S_d – соответственно среднее значение и среднеквадратическое отклонение диаметра арматуры; n - количество измерений; $t_{0,95}$ - коэффициент Стьюдента.

Если оставшаяся площадь сечения арматуры менее 50% исходной, то она в расчете не учитывается.

Расчетные коэффициенты железобетонных конструкций в зависимости от состояния бетона и арматуры

Категория состояния	Внешние признаки	Показания приборов	γ_{01}	γ_{02}	γ_{03}
Исправное	Отсутствуют видимые дефекты и повреждения. Глубина нейтрализации бетона не превышает половины толщины защитного слоя; имеются отдельные волосяные трещины.	Прочность бетона и арматуры не ниже проектной, скорость УЗВ более 4 км/с.	1	1	1
Работоспособное	Антикоррозионная защита частично повреждена. На бетоне в отдельных участках мелкие и маслянистые пятна, волосы: проступают следы коррозии не расчетной арматуры отдельными точками и пятнами.	Прочность бетона основного сечения не ниже проектной, скорость УЗВ 3 ... 4 км/с. Потеря площади сечения рабочей арматуры и закладных деталей не превышает 5%. Прогибы и ширина раскрытия нормальных трещин превышают допустимые.	0,9	0,95	0,9
Ограниченно-работоспособное	Имеются признаки снижения эксплуатационной пригодности конструкции. Пластинчатая коррозия расчетной арматуры и закладных деталей.	Прочность бетона основного сечения ниже проектной, скорость УЗВ менее 3 км/с, потери сечения арматуры и закладных деталей более 5%, трещины в сжатой зоне и	0,8	0,9	0,8

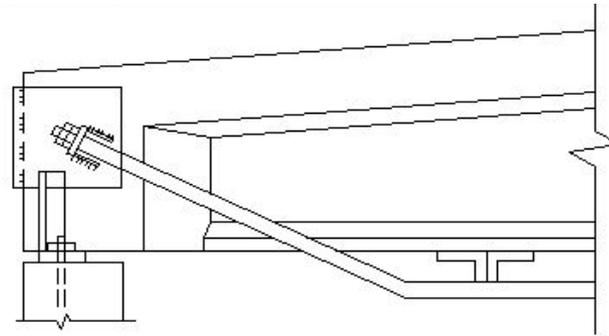
Усиление увеличением сечения

- По статической схеме работы усиление осуществляется **обетонированием** или **армированием**.
- **Армирование** выполняется
 - по схеме работы - продольным и (или) поперечным, по виду арматуры - из канатов, гибких стержней, профилированных или листовых материалов;
 - по материалу арматуры - из стали или синтетических материалов.
- **Обетонирование** выполняется
 - по виду материала армированным или неармированным бетоном;
 - по способу укладки - заливкой, инъецированием, торкретированием, а также устройством сборного бетона или железобетона.
- Перечисленные методы применяются как по отдельности, так и в сочетании. В последнем случае получают наибольший эффект от усиления. Например, обетонирование сочетают с установкой дополнительной арматуры, продольное армирование с поперечным и т.д. Арматура усиления, как правило, покрывается защитным слоем бетона. Торкретирование или набрызгивание целесообразно применять при необходимости бетонирования снизу вверх или при усилении широких вертикальных поверхностей.

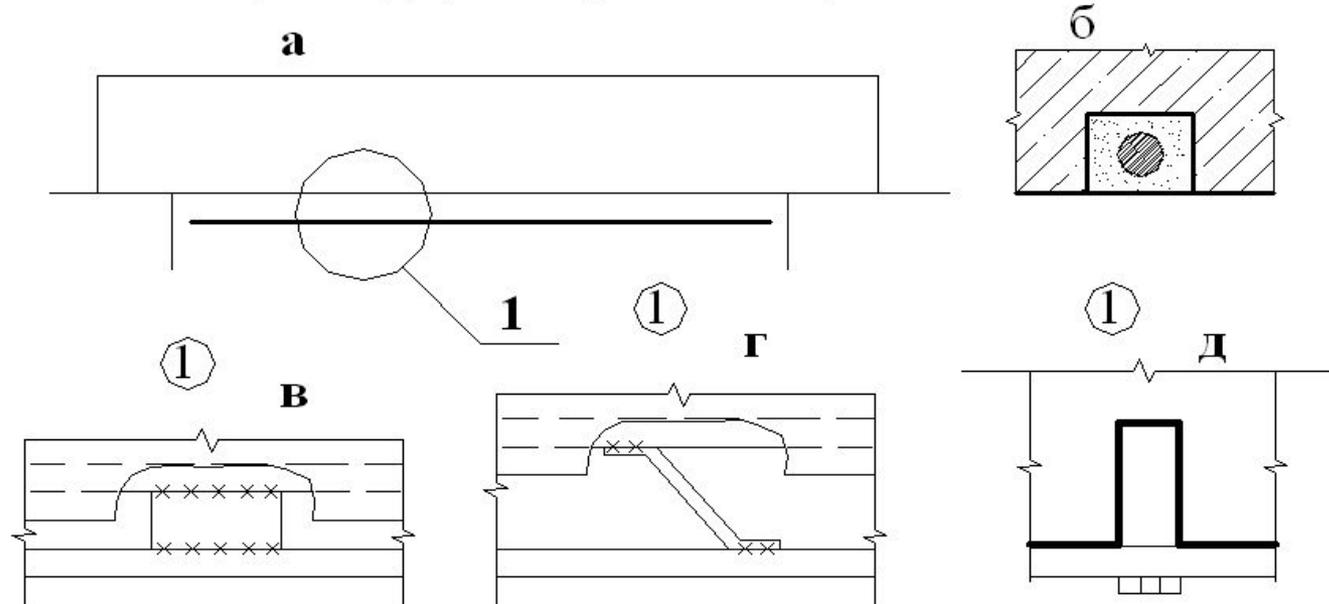
Способы усиления растянутой зоны или растянутых элементов

- увеличение площади сечения рабочей арматуры путем устройства дополнительных затяжек, закрепленных по концам конструкции;
- установка дополнительной арматуры соединением через коротыши с рабочей арматурой и с последующим обетонированием ;
- приклеивание листовой стали;
- вклеивание стержневой арматуры в подготовленных пазах;
- установка самоанкерующихся устройств с реализацией бокового обжатия зоны рабочей арматуры конструкции.

Крепление ПН затяжки к усиливаемой балке



Крепление дополнительной арматуры к существующей конструкции: а – схема усиления; б – вклеивание в пазы; в,г – соединение на сварке через коротыши и скобы д – приклеивание листовой стали с дополнительной анкерровкой



Усиление растянутой зоны конструкций привваркой дополнительной арматуры:



а – нахлесточным соединением;

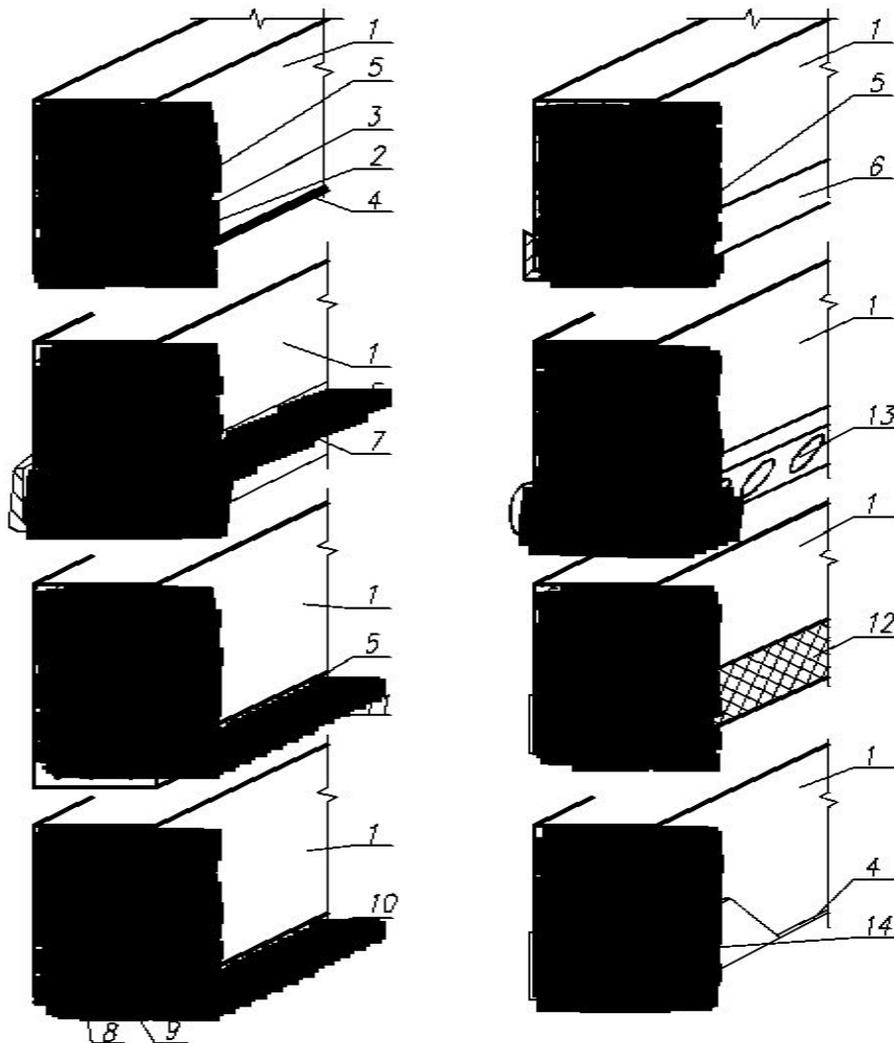
б – посредством коротышей со стороны растянутой зоны;

в – посредством коротышей со стороны бокового защитного слоя;

г – с помощью скоб

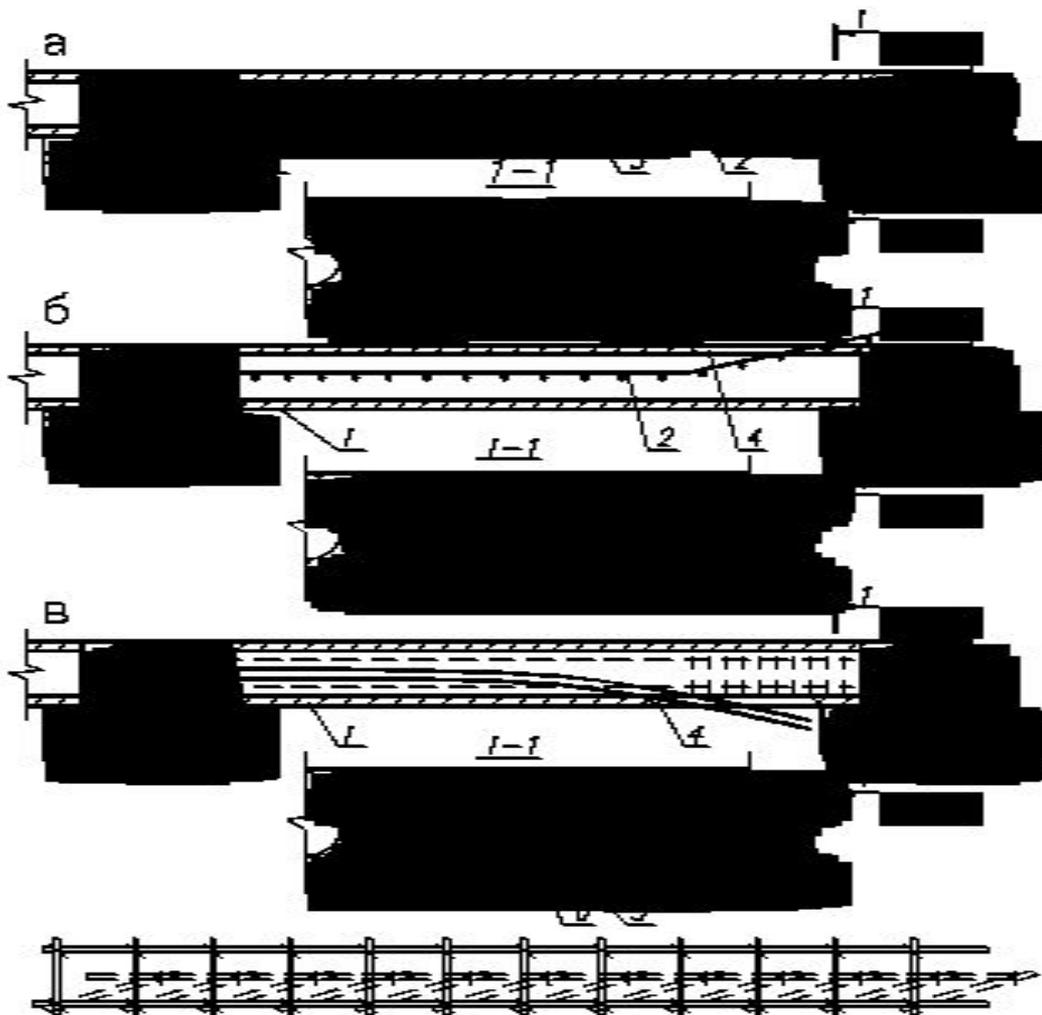
- Стержни арматуры в местах установки на сварке соединительных скоб вскрываются не менее чем на половину диаметра. Арматура очищается от ржавчины или остатков бетона механическим способом. Соединение существующей и вновь устанавливаемой арматуры осуществляют **с помощью коротышей или внахлестку** (с применением ручной дуговой сварки).
- Приварка дополнительной арматуры к существующей предварительно напряженной арматуре, а также не заведенной за грань опоры ненапряженной арматуре усиливаемой конструкции не допускается.
- **Коротыши и участки соединения скоб** из арматуры класса А-I принимаются длиной **50...200 мм** и располагаются по длине конструкции "вразбежку" с расстоянием между ними вдоль стержней **не менее $20d$** , где d - больший диаметр свариваемых стержней.
- При усилении под нагрузкой приварку дополнительной арматуры рекомендуется осуществлять за два прохода симметрично в направлении от концов конструкции к середине.
- Сварка допускается при уровне напряжений, за вычетом усиливаемой арматуры, **не более $0,85R_s$** .
- Сварку **под нагрузкой** производят при температуре не ниже - 15°C, в слабонагруженных элементах, воспринимающих до 25% расчетной нагрузки - не ниже - 25°C.

Усиление растянутой зоны конструкции приклеиванием дополнительной арматуры



- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – шурф,
- 3 – анкер,
- 4 – листовая арматура,
- 5 – полимерраствор,
- 6 – уголок,
- 7 – швеллер,
- 8 – паз,
- 9 – стержневая арматура,
- 10 – обмазка из полимерраствора,
- 11 – сборный железобетонный элемент,
- 12 – стеклоткань,
- 13 – тонкий лист с выштамповками,
- 14 – анкерная пластина

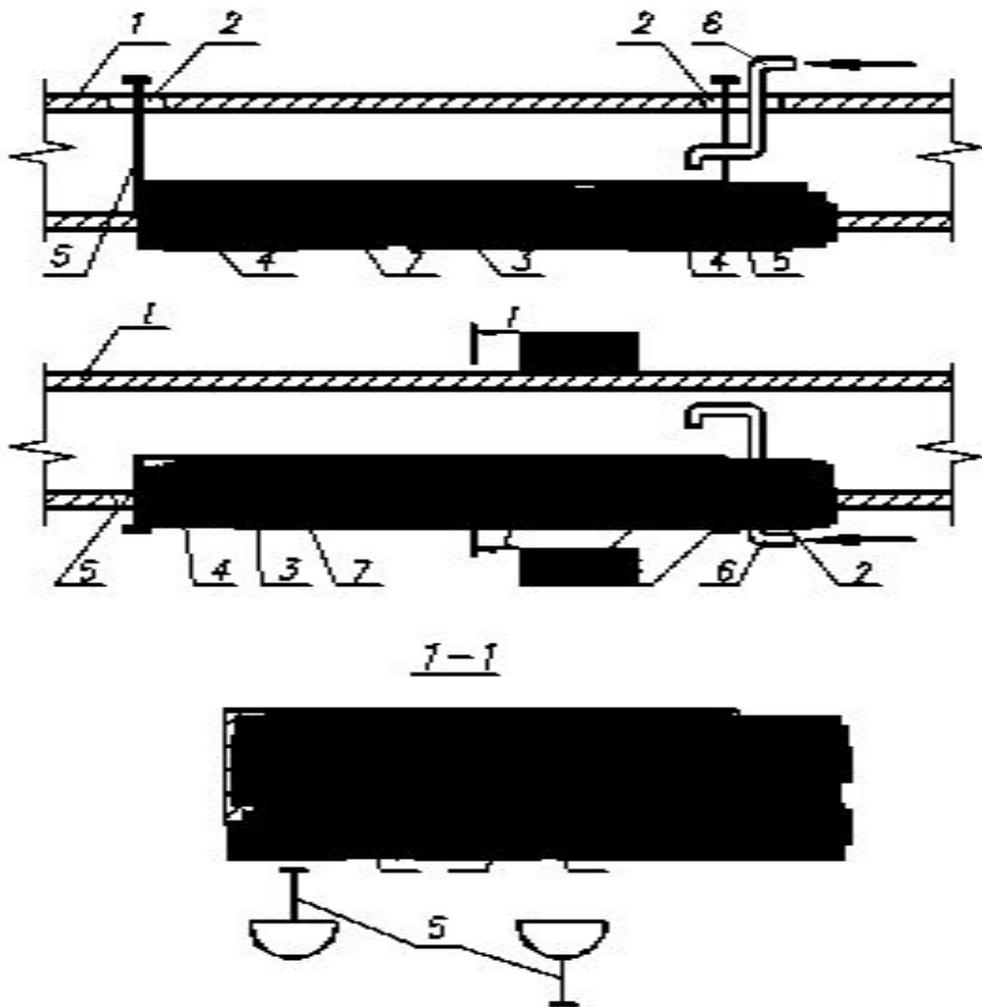
Усиление многопустотных плит перекрытия установкой дополнительной арматуры



а – плита после усиления;
б – установка сварных каркасов без вскрытия пустот по всей длине;
в – установка вязанных каркасов

1 – плита после усиления,
2 – сварной каркас,
3 – бетон,
4 – отверстия,
5 – вязанный каркас или отдельные стержни,
6 – опалубка

Усиление растянутой зоны многопустотных плит установкой дополнительной арматуры



а – при устройстве щелей сверху плиты;

б – при устройстве щелей снизу плиты

1 – усиливаемая плита,

2 – щель,

3 – дополнительная арматура,

4 – фиксатор,

5 – ограничительная пластина,

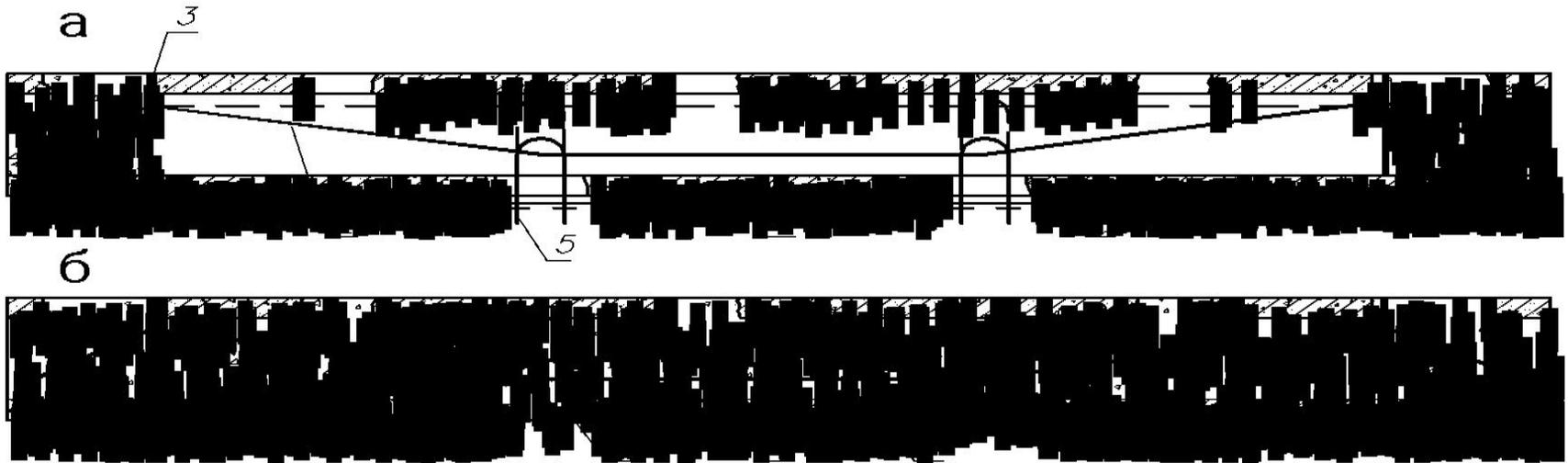
6 – патрубок,

7 – полимерраствор

:

Толщина слоя полимерраствора определяется из условия прочности контактного шва и должна быть не менее $3d$, где d - диаметр дополнительной арматуры.

Усиление сборных многопустотных плит предварительно напряженной арматурой



а – плиты в момент предварительного напряжения
арматуры;
б – усиленная плита

1 – усиливаемая плита, 2 – дополнительная арматура,
3 – временная ограничительная пластина, 4 – бетон,
5 – натяжной болт, 6 – опалубка

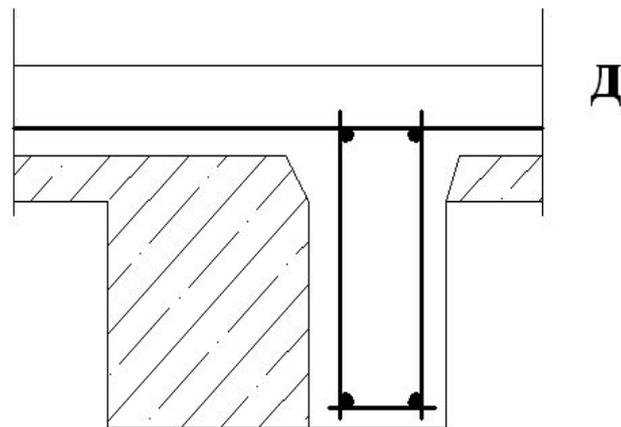
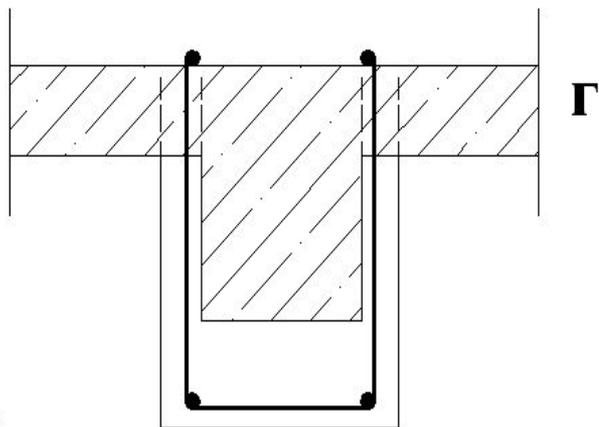
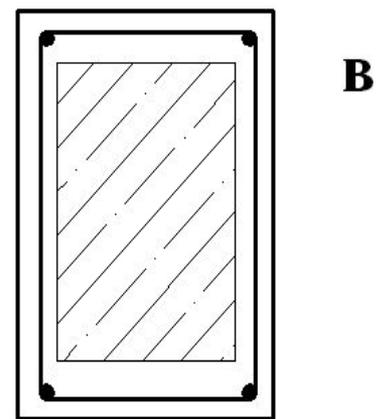
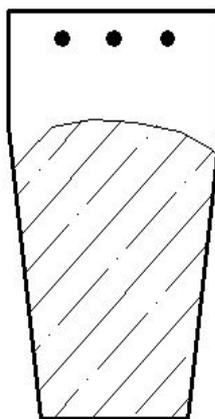
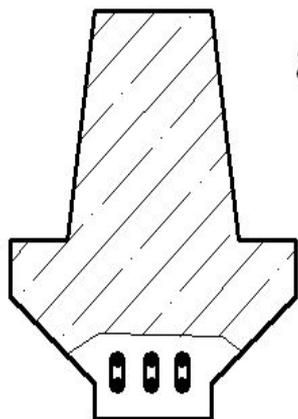
Способы усиления сжатой зоны или сжатых элементов:

- увеличение площади сечения сжатой зоны бетона;
- установка дополнительной сжатой арматуры;
- ограничение поперечных деформаций устройством наращиваний, обойм, рубашек или, применяя распорки из жесткой арматуры (для изгибаемых и внецентренно сжатых - односторонним распором, для центрально-нагруженных - двусторонним), и т.д.

- Наиболее распространенными видами усиления железобетонных конструкций увеличением сечения являются устройство наращиваний, рубашек и обойм.
- **Наращивание** - способ усиления, при котором сечение усиливаемой конструкции увеличивается по высоте или ширине сечения с одной или двух сторон.
- **Рубашка** - способ усиления, в котором усиливающий элемент охватывает усиливаемую конструкцию с трех сторон.
- **Обойма** - способ усиления, в котором усиливающий элемент устраивается по периметру усиливаемого элемента.

- *Наращиванием* могут быть усилены любые железобетонные конструкции: балки, плиты, стойки, стены и др.
- *Рубашки* выполняются в балках или стойках при отсутствии доступа с одной стороны, например, в пилястрах или колоннах у стенового ограждения, а также в балках при необходимости повышения несущей способности по нормальным и наклонным сечениям одновременно.
- *Обоймами* усиливаются, в основном, сжатые стойки или простенки, элементы стропильных ферм.

Усиление железобетонных элементов увеличением сечения:
а, б – наращиванием; в – устройством обоймы; г –
устройством рубашки; д – устройством балки рядом



- Поперечная арматура принимается диаметром не менее 6 мм и устанавливается с шагом не более:

$$S \leq \begin{cases} 15d \\ 3t \text{ где } d \text{ и } t - \text{ соответственно диаметр продольной арматуры} \\ 500 \text{ мм} \end{cases} \text{ и}$$

толщина обоймы (рубашки).

- В местах возможной концентрации напряжений, а также по концам усиливаемой конструкции на длине шаг хомутов уменьшается вдвое.
- Для усиления поврежденного участка устраивается местная железобетонная обойма или рубашка, которая должна выходить за пределы поврежденного участка на длину не менее:

$$l_{sh} \geq \begin{cases} 15t \\ l_{an} - \text{ длина анкерки арматуры обоймы или рубашки;} \\ 2h \text{ больший размер поперечного сечения усиливаемой} \\ \text{конструкции.} \\ 400 \text{ мм} \end{cases}$$

- Для улучшения сцепления нового бетона со старым, кроме насечки, для местной обоймы рекомендуется выполнять адгезионную промазку (грунтовку) полимерраствором.

Минимальные толщины обойм и набетонок, определяемые технологическими требованиями

Конструктивный элемент	Минимальная толщина, см бетона при устройстве	
	в опалубке с вибрированием	Торкретированием и набрызгом
Колонна	8	5
Боковые стенки балок	6	3
Нижние пояса балок	12,5	5
Плиты перекрытий при наращивании:		
- сверху	3,5	-
-снизу	6	3,5

Пневмонабрызг бетона

Бетонирование вертикальных и потолочных поверхностей целесообразно выполнять с применением установок для пневмонабрызга (торкретирования) бетона: при толщине слоя усиления до 80 мм с использованием цемент-пушки; при толщине слоя усиления до 250 мм и его общей поверхности не менее 10—15 м² — бетоном с использованием бетон-шприц-машин.

Сухая бетонная смесь подаваемая по шлангам с помощью сжатого воздуха на выходе из концевой сопла смешивается с водой и смесь выбрасывается из сопла со скоростью 50—70 м/с образуя на поверхности плотный слой. Толщина слоя за один раз 50-70 мм.

При применении данных установок полностью исключаются опалубочные работы, существенно сокращаются трудозатраты и сроки производства работ, что особенно важно при реконструкции.



Нанесение торкрет-бетона

Торкрет работы в Якутске



Обеспечение надежного сцепления между старым и новым бетоном

- Важнейшим условием эффективности усиления железобетонных конструкций является обеспечение надежного сцепления усиливающего и усиливаемого элементов.
- Это достигается:
- соответствующей **подготовкой бетонной поверхности** усиливаемого элемента;
- применением **адгезионной промазки**;
- надежным **закреплением усиливающей арматуры** к существующей или надежной ее **анкерровкой**;
- тщательной **анкерровкой** или закреплением устанавливаемых **закладных деталей**.

Подготовка поверхности бетона.

Порядок выполнения работ:

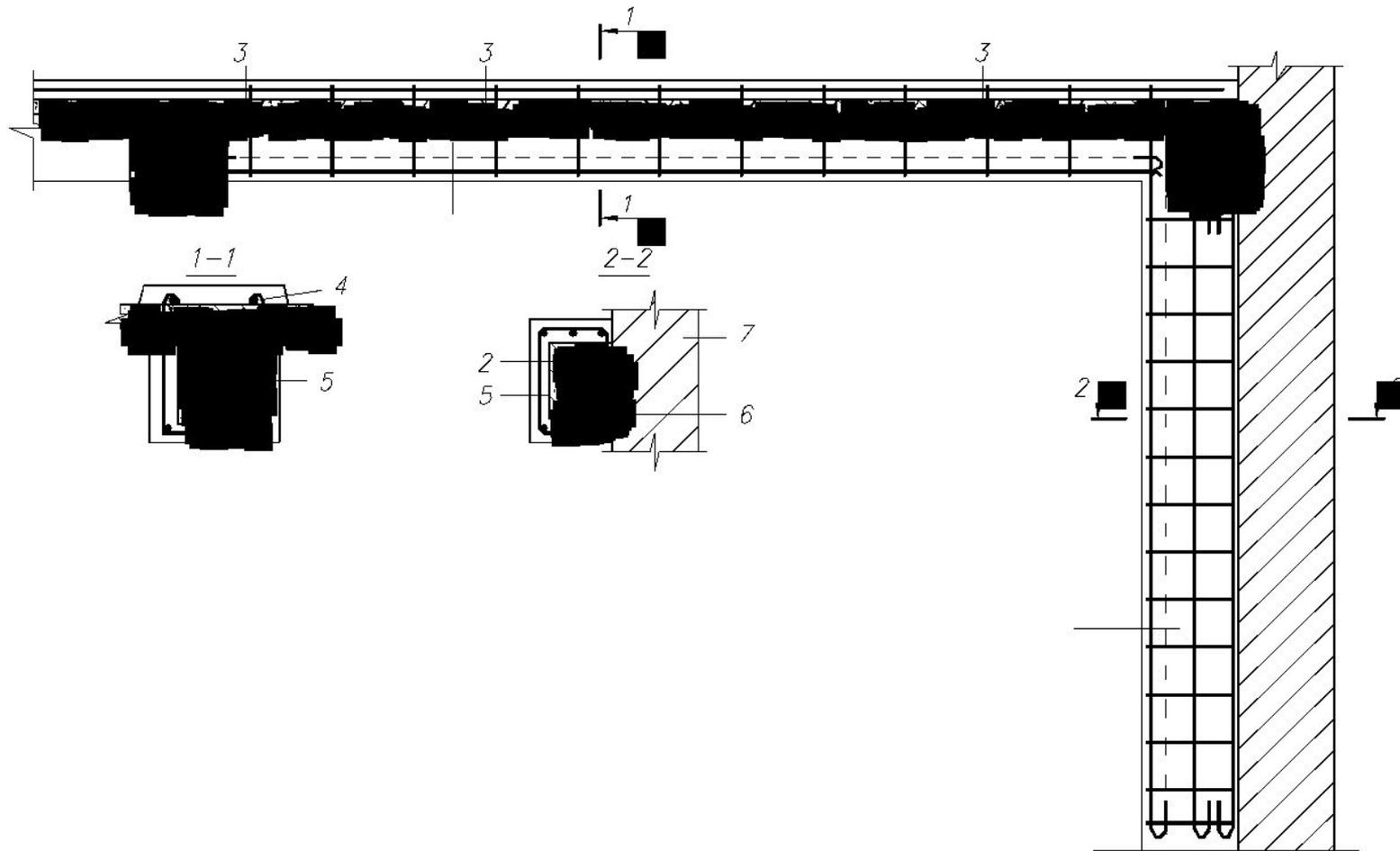
- Удаляют слабопрочный бетон в дефектных участках, цементное тесто, защитный слой бетона, отслоения при помощи механизированного инструмента - молотков фуговальных или рубильных электрических или пневматических;
- С целью повышения шероховатости поверхность бетона, а также очистки арматуры от коррозии подвергают механической обработке при помощи электрических или пневматических машин - при малых объемах работ и гидроабразивным, пескоструйным или термоабразивным способом - при больших объемах работ.
- Смывают пыль гидроструйным способом;
- Рабочие поверхности перед бетонированием увлажняют в течение 12...24 ч до полного водопоглощения;
- Поверхность продувают сжатым воздухом для удаления капель и пленок воды.

- Разрушаемый бетон по периметру сечения удаляют перпендикулярно, а на боковых поверхностях - параллельно продольной оси усиливаемых конструкций. Особенно тщательно обрабатывают бетонные поверхности в зоне максимальных касательных напряжений.
- При отсутствии указаний в проекте неровности поверхности должны составлять 2,5...5 мм на длине 200 мм, а волнистость до 1 см.
- Для улучшения адгезии на подготовленную поверхность старого бетона рекомендуется нанести слой клея (силоксанового или акрилового) с толщиной слоя 3...5 мм. Бетон укладывается непосредственно после нанесения клея.
- Поверхность рабочих швов, выполняемых при укладке бетонной смеси с перерывами, должна быть перпендикулярна оси бетонирования, в плоских набетонках (в любом месте) - параллельна меньшей стороне плиты.
- При перерывах в бетонировании больше сроков схватывания (ориентировочно 4 ч) требуется обработка поверхностей.

В случае, когда старый бетон подвержен замасливанию, рекомендуется ***термохимическая обработка*** его поверхности, включающая следующие операции:

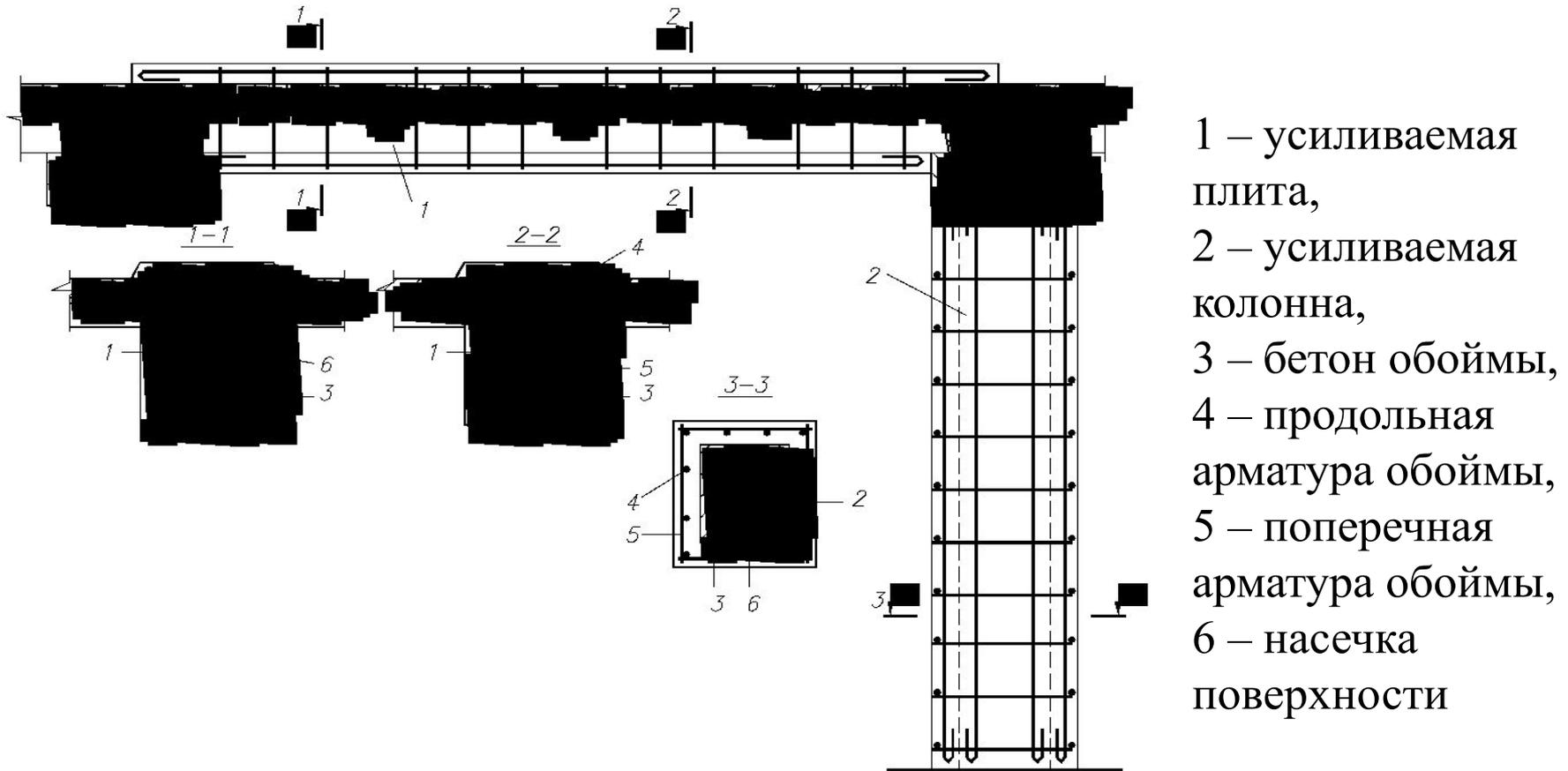
- обработка 0,1%-м раствором ПАВ (ОП-7 или ОП-10) -1...1,5 ч;
- прогрев при температуре 180°С - 1 ч;
- обработка органическим растворителем - трихлорэтиленом, перхлорэтиленом – 1 ч;
- сушка при температуре около 100°С – 0,5 ч;
- промывка водой под давлением.

Усиление монолитной балки и колонны железобетонной рубашкой



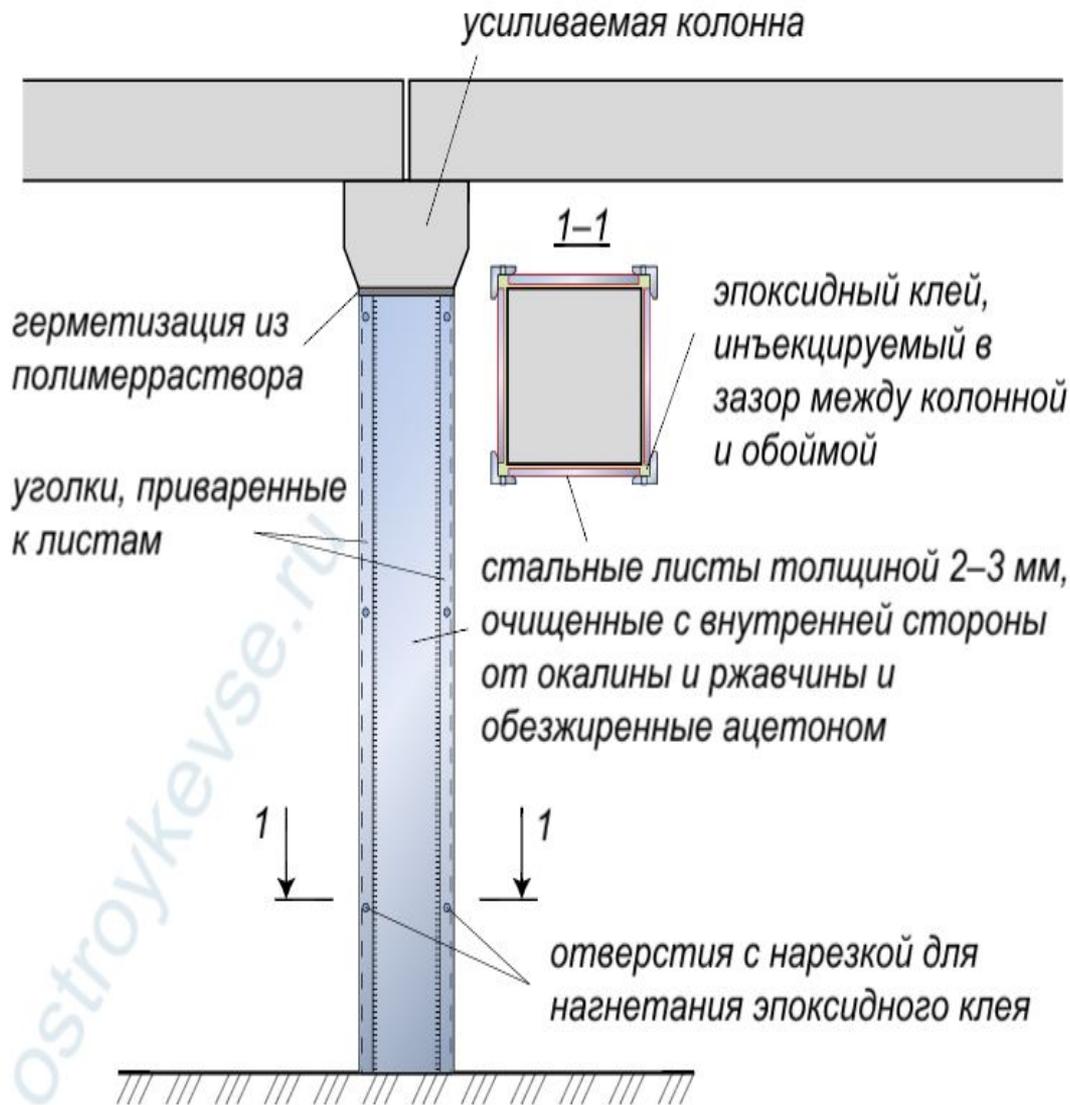
1 – усиливаемая балка, 2 – усиливаемая колонна, 3 – отверстие в плите, 4 – монтажная арматура, 5 – насечка поверхности, 6 – оголенная арматура колонны, 7 – наружная стена

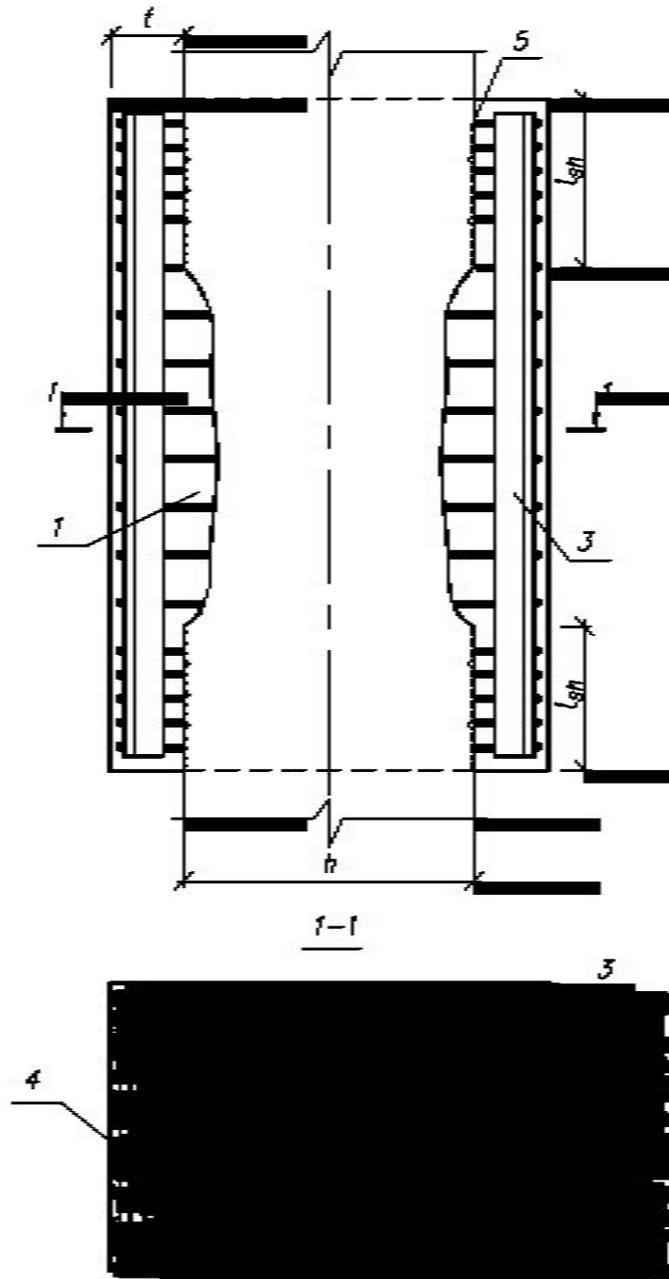
Усиление ребристых плит и колонны железобетонной обоймой



При увеличении поперечного сечения сжатой зоны минимальный процент продольного армирования наращивания, рубашек или обойм составляет $\mu_{\min} = 0.05\%$

Усиление железобетонной колонны стальной обоймой





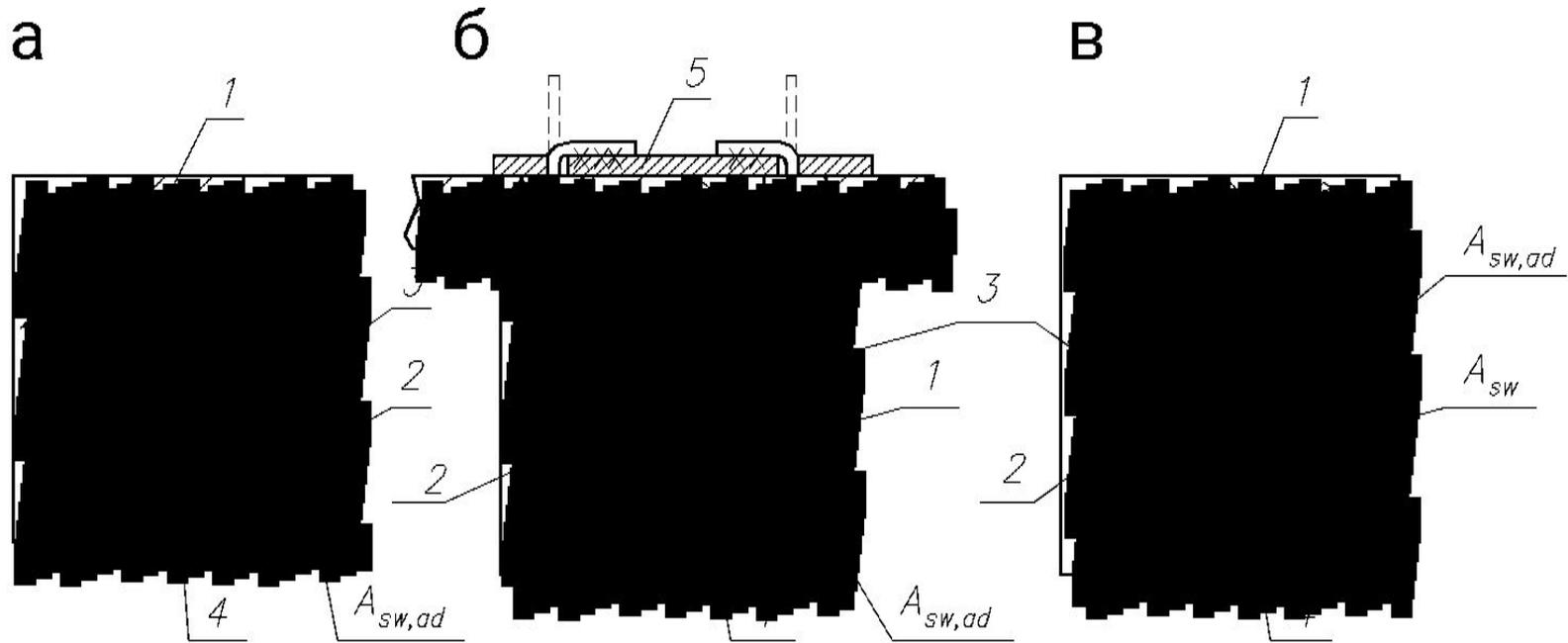
Усиление
поврежденного
участка колонны
местной
железобетонной
обоймой

1 – поврежденный
участок,
2 – бетон обоймы,
3 – уголок,
4 – соединительные
стержни,
5 – насечка
поверхности

Способы усиления на восприятие поперечных сил:

- увеличение поперечного сечения бетона;
- устройство поперечной арматуры;
- устройство наращиваний, обойм, рубашек;
- установка поперечных балок, стержней и т.д.

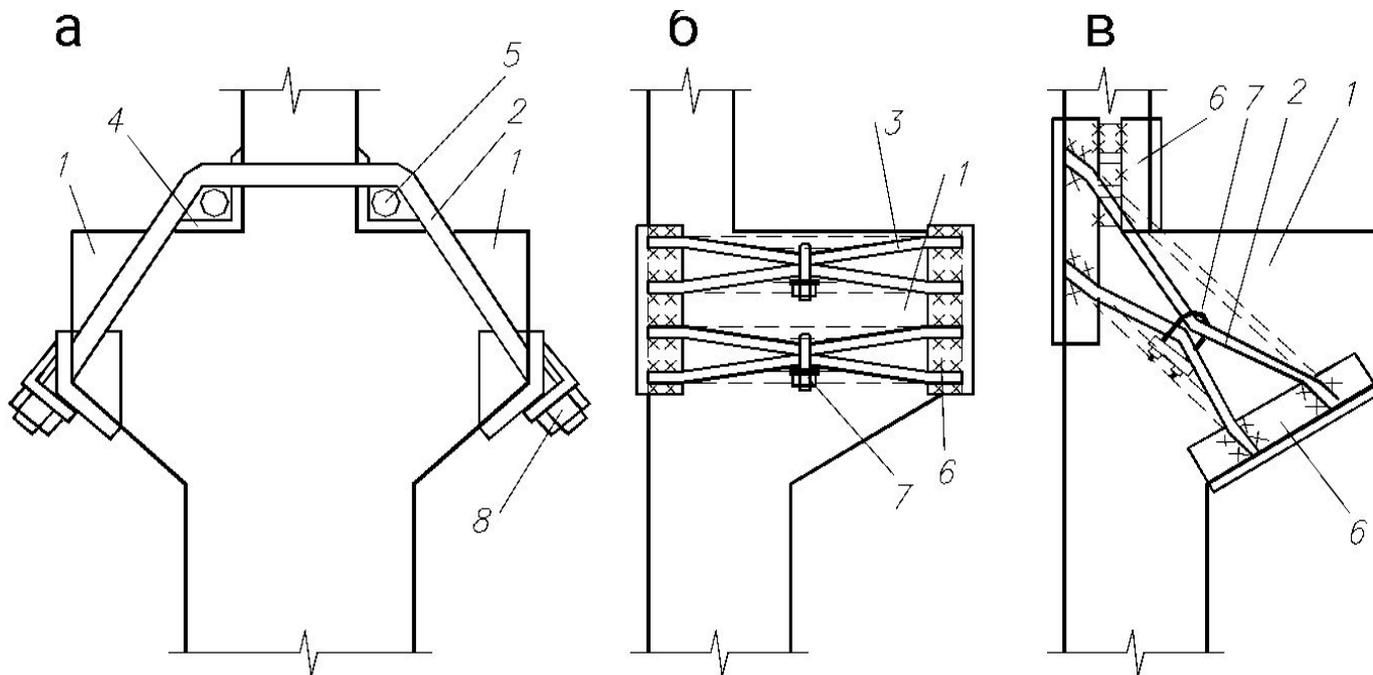
Усиление зоны среза конструкций увеличением поперечного сечения



- а – рубашкой при прямоугольном сечении;
- б – рубашкой при тавровом сечении;
- в – обоймой

1 – усиливаемая конструкция, 2 – монолитный бетон, 3 – дополнительная поперечная арматура, 4 – насечка поверхности, 5 – анкерная пластина

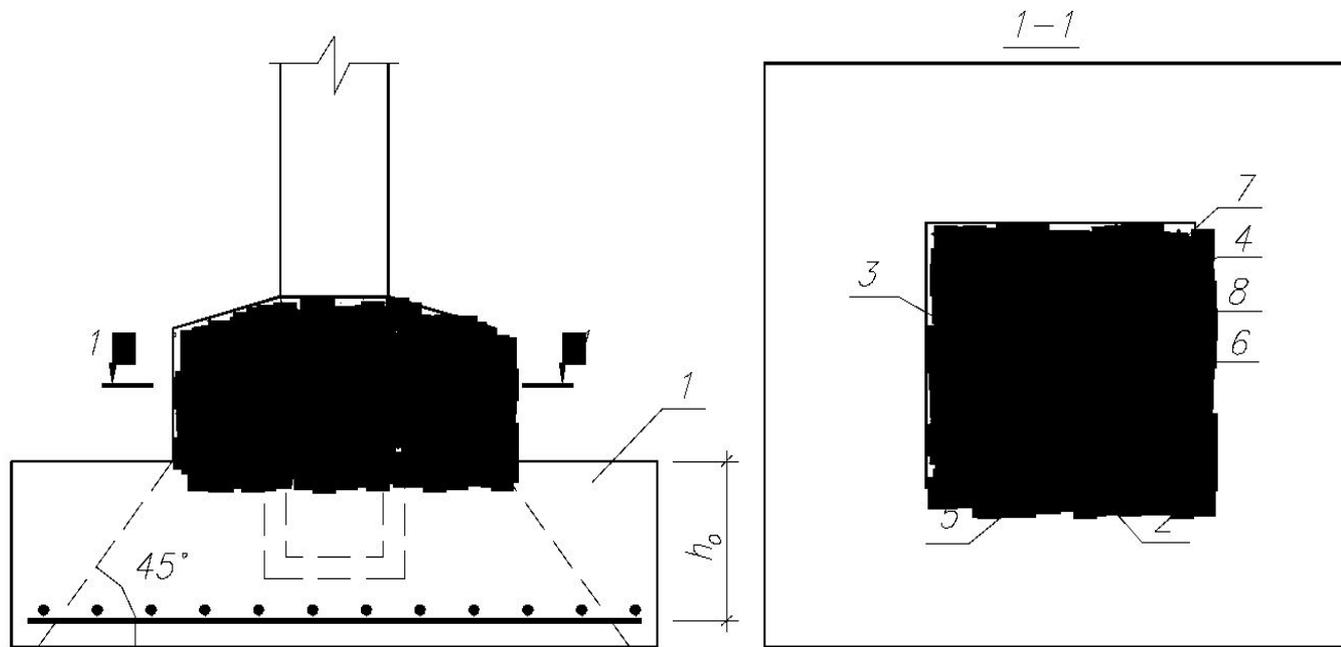
Усиление коротких консолей колонн установкой дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры



а, в – наклонной; б – горизонтальной

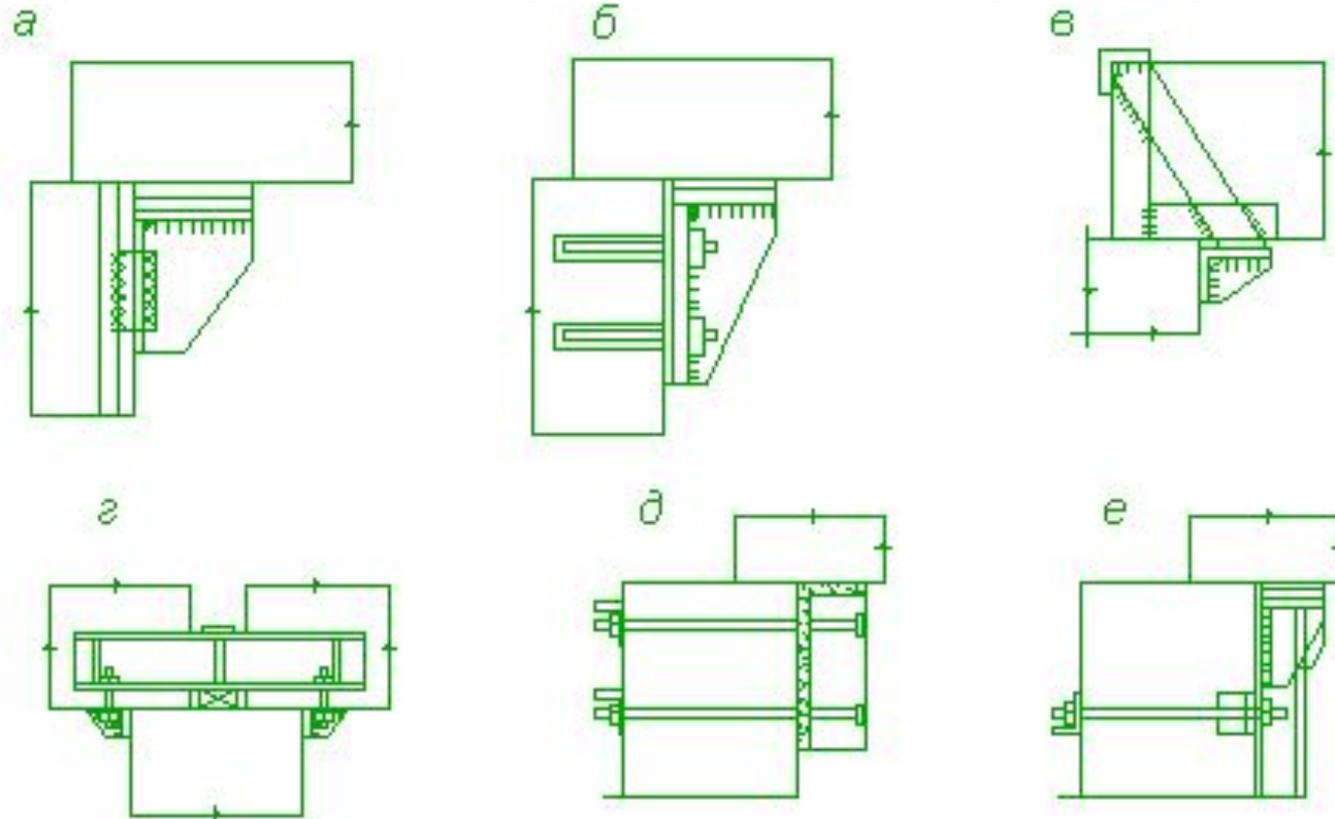
1 – усиливаемая консоль, 2 – наклонная арматура, 3 – горизонтальная арматура, 4 – уголок-накладка, 5 – упор, 6 – уголок, 7 – стяжной болт, 8 – гайка

Усиление при продавливании устройством опорной железобетонной обоймы



1 – усиливаемая конструкция, 2 – бетон обоймы, 3 – колонна, 4 – арматура обоймы, 5 – окаймляющая арматура, 6 – коротыши, 7 – оголенная арматура колонны, 8 – насечка поверхности

Подведение дополнительных стальных столиков под железобетонные балки при недостаточной прочности опорных участков



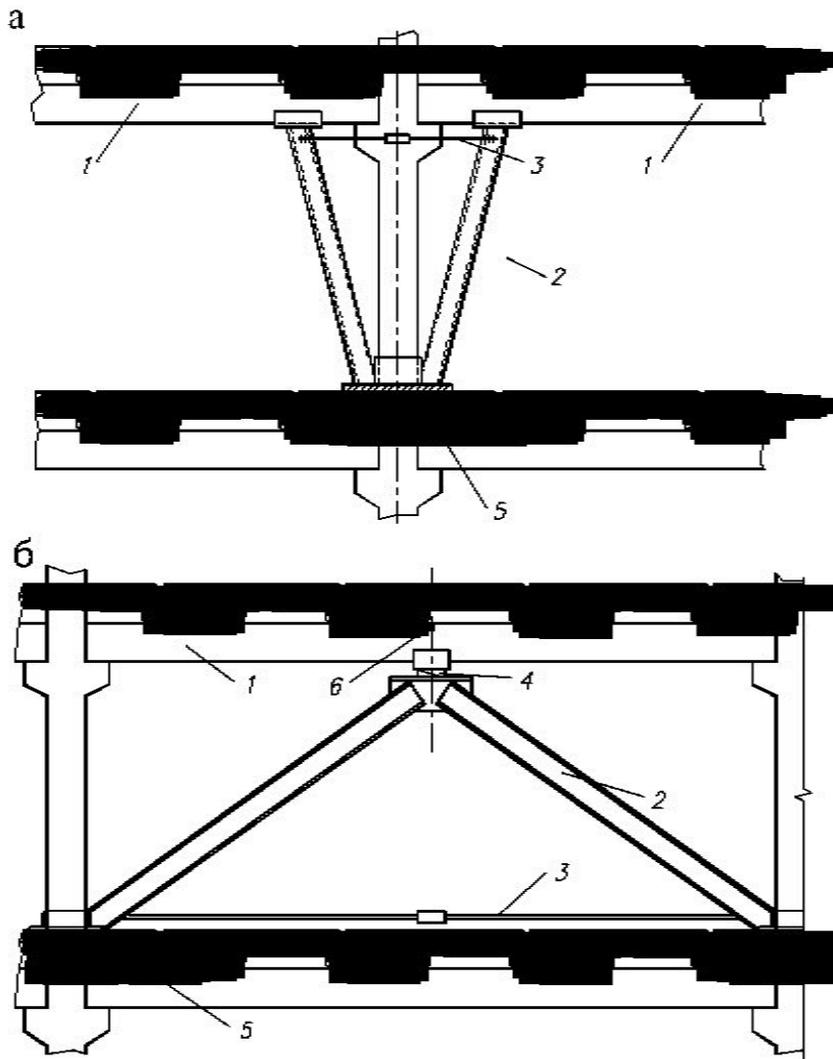
- **а** – на сварке; **б** – устройством анкеров; **в** – на подвесках; **г** – на дополнительных консолях; **д** – на тяжах; **е** – на стойках

Усиление изменением конструктивной схемы

- **Жесткие опоры** выполняются в виде стоек как в металле, так и в железобетоне. **Упругие опоры** под изгибаемые чаще выполняются из металлических балок и ферм, а **гибкие опоры** - из арматурной или круглой стали, стальных канатов.
- Опоры в виде отдельных балок, ферм, плит применяются обычно для разгрузки небольших участков перекрытий, отдельных элементов. По возможности разгружающие конструкции устанавливаются сверху разгружаемых, так как нижнее их расположение требует дополнительного усиления стоек.
- Усиление считается достаточно эффективным, если усиливающая конструкция воспринимает не менее 30% усилий, действующих в усиливаемой конструкции.

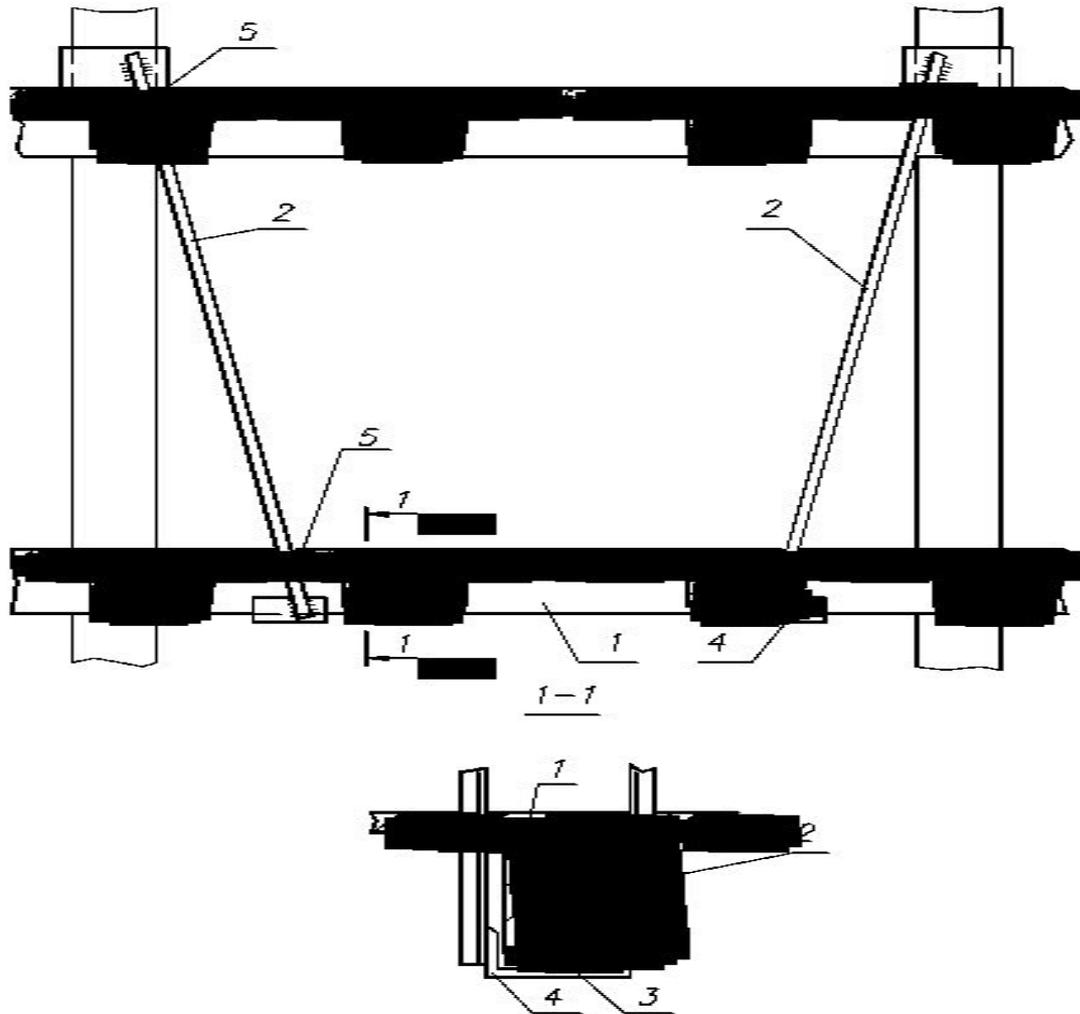
Усиление конструкции дополнительной жесткой опорой в виде подкосов:

а – у опоры; б – в пролете



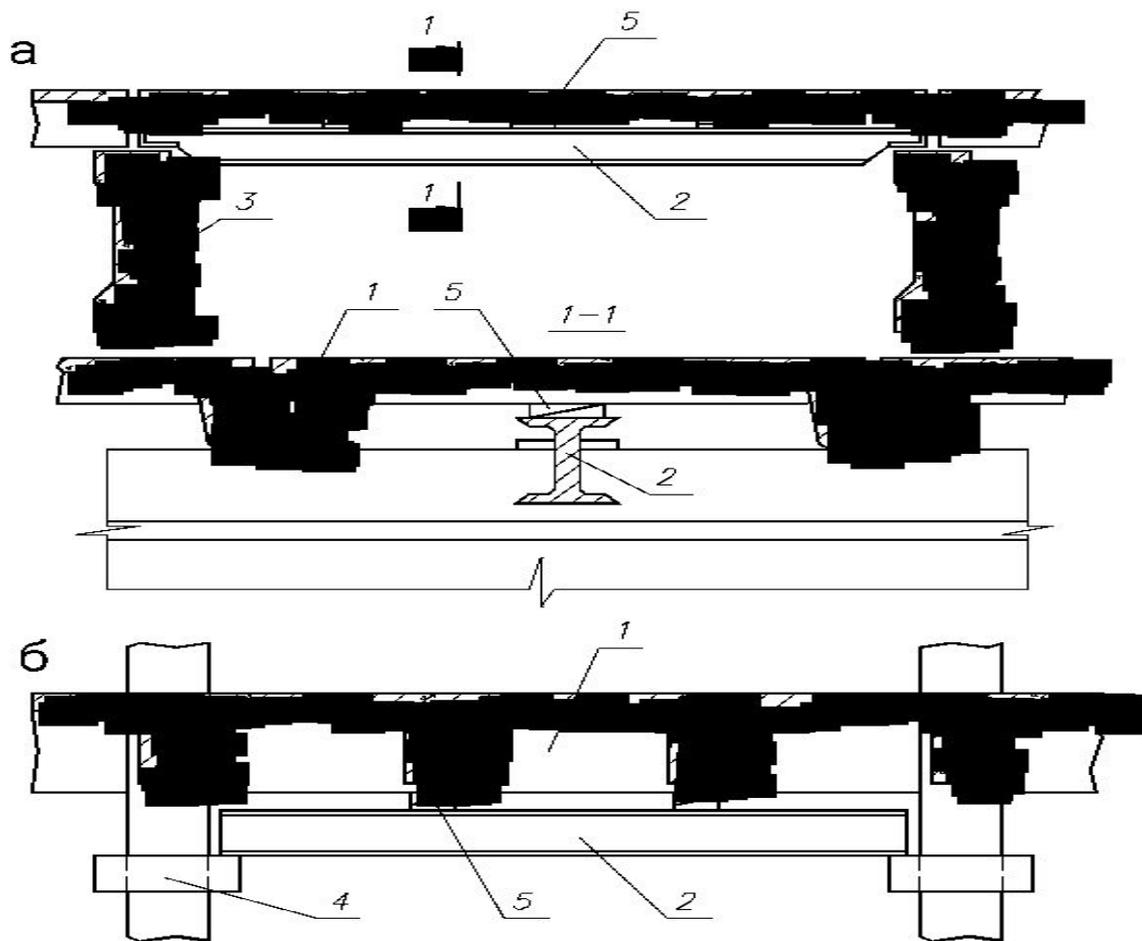
- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – подкос,
- 3 – затяжка,
- 4 – клиновидные прокладки,
- 5 – заполнение бетоном,
- 6 – надрез по оси опоры

Усиление конструкций дополнительными жесткими опорами в виде подвесок



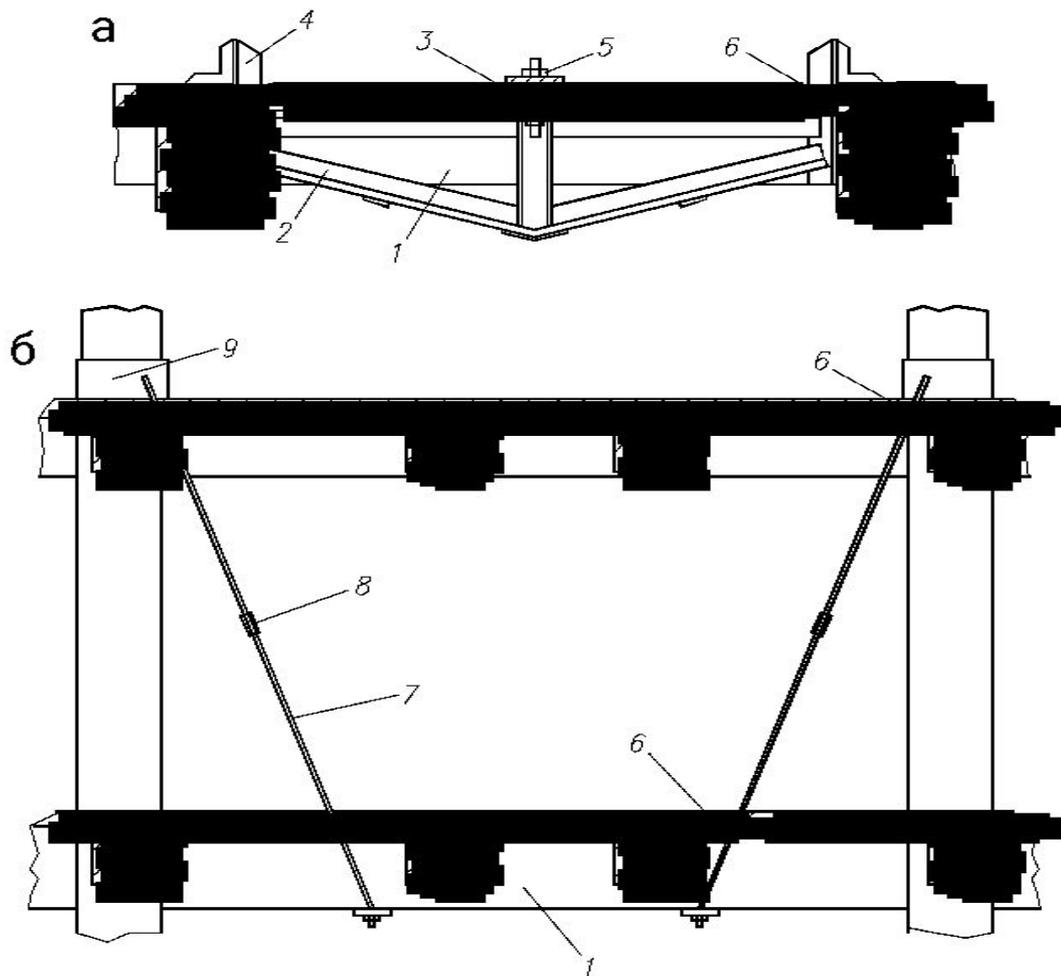
1 – усиливаемая конструкция,
2 – подвеска из уголков,
3 – клиновидные подкладки,
4 – швеллер,
5 – отверстия в перекрытии

Усиление конструкций дополнительной упругой опорой в виде балок



- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – балка,
- 3 – стропильная балка,
- 4 – опорный хомут,
- 5 – клиновидные подкладки

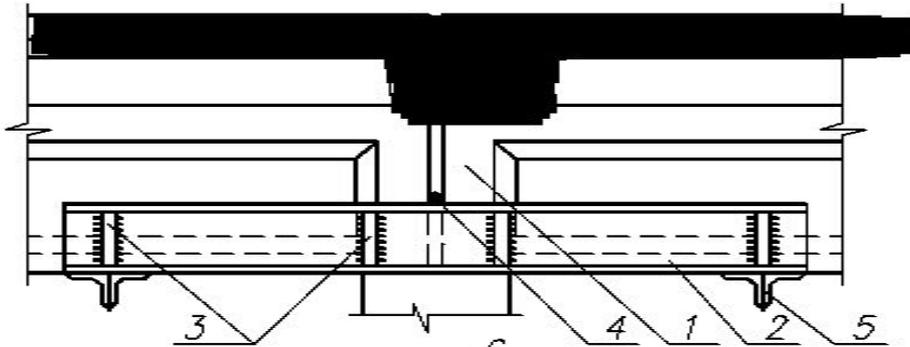
Усиление конструкций дополнительными упругими опорами



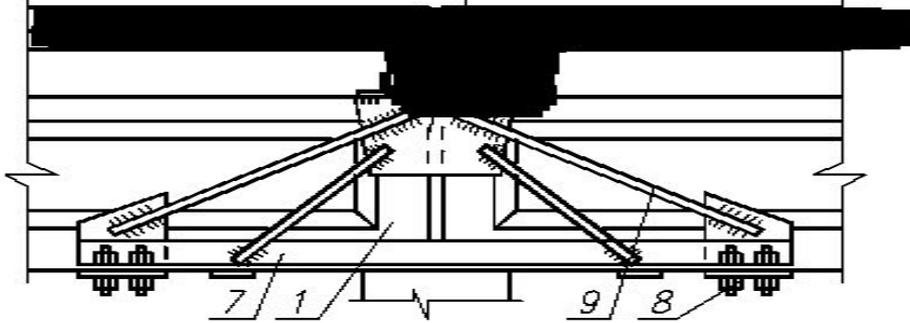
- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – треугольная ферма,
- 3 – клиновидная подкладка,
- 4 – опора фермы,
- 5 – болт,
- 6 – отверстия,
- 7 – подвеска,
- 8 – стяжная муфта,
- 9 – стальная обойма

Усиление конструкций дополнительными упругими опорами в виде двухконсольных кронштейнов

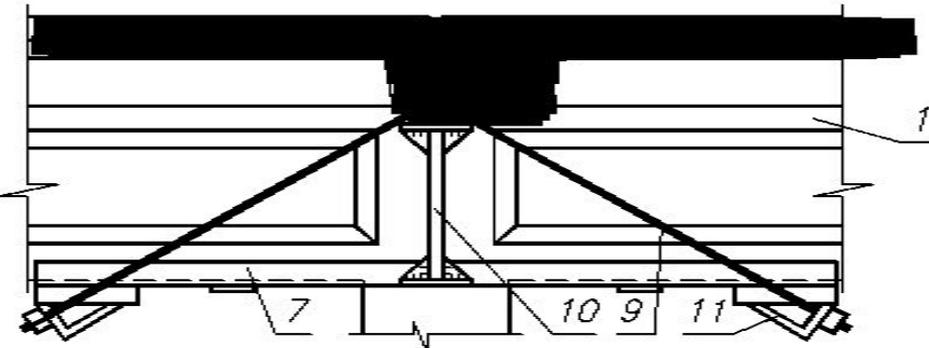
а



б



в



а – из прокатных профилей;
б – из треугольных ферм

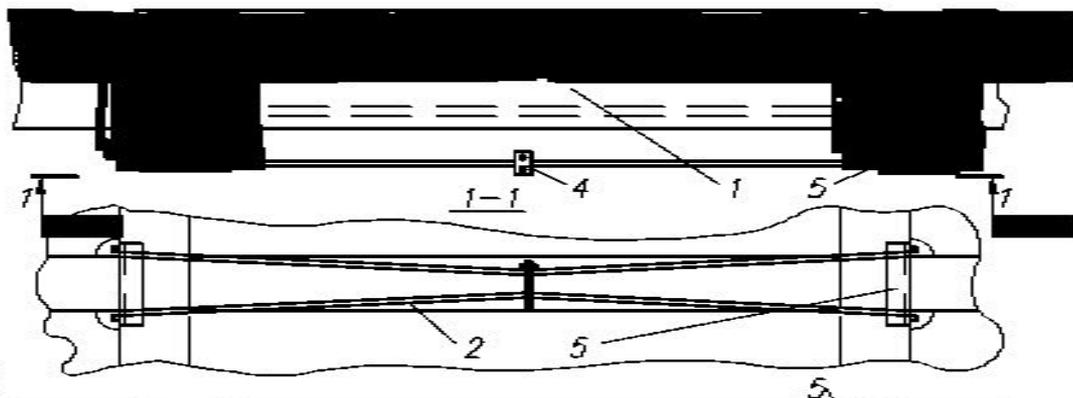
1 – усиливаемая конструкция,
2 – стальная балка,
3 – ребра жесткости,
4 – соединительный стержень,
5 – опорный столик,
6 – соединительная накладка,
7 – уголок,
8 – опорный элемент,
9 – тяж,
10 – упор

Усиление регулированием напряжений

- Эффективный вид усиления, не требующий предварительной разгрузки. Совместная работа дополнительной арматуры (затяжки) с усиливаемой конструкцией обеспечивается только закреплением по концам с помощью анкерных устройств, без сцепления ее в пролете с бетоном конструкции. Затяжка размещается снаружи конструкции.
- В зависимости от места закрепления концов дополнительной арматуры может быть горизонтальная и шпренгельная затяжки, а также их сочетание.
- Предварительное напряжение выполняется с обязательным контролем величины натяжения.
- Затяжки выполняются, в основном, из арматурных стержней диаметром 12...40 мм, реже - из прокатных профилей. На концах затяжки, как правило, имеют резьбу с гайками для ликвидации начальных прогибов стержней и обжатия анкеров в узлах сопряжения с конструкцией. После корректировки длины гайки на концах затяжки завариваются с болтом

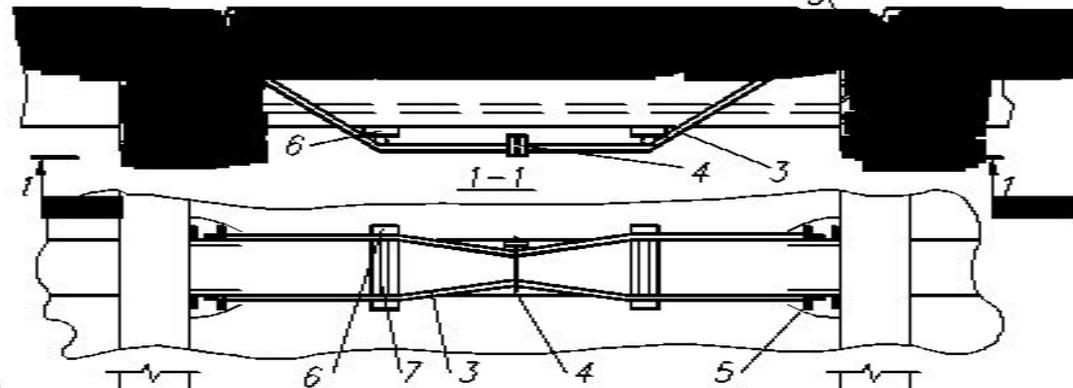
Усиление изгибаемых конструкций затяжками:

а



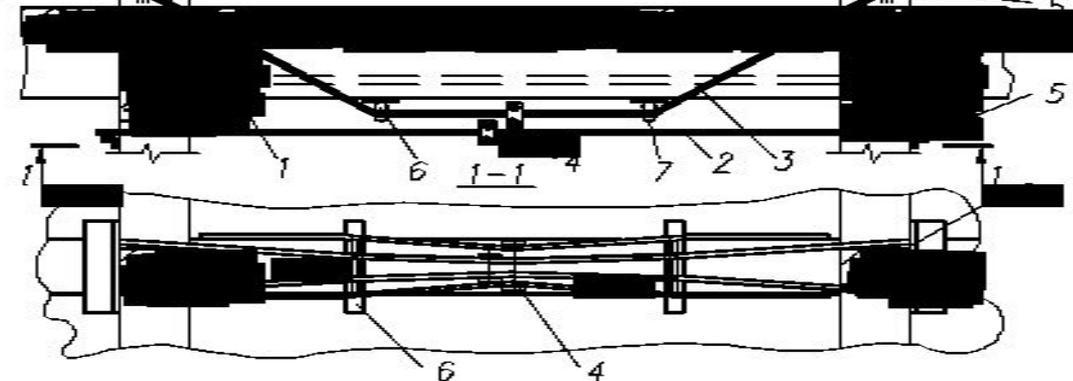
а – горизонтальная
затяжка;

б



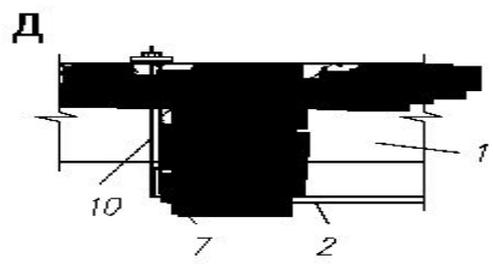
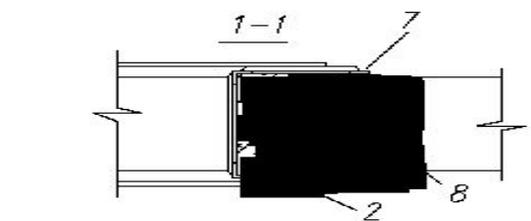
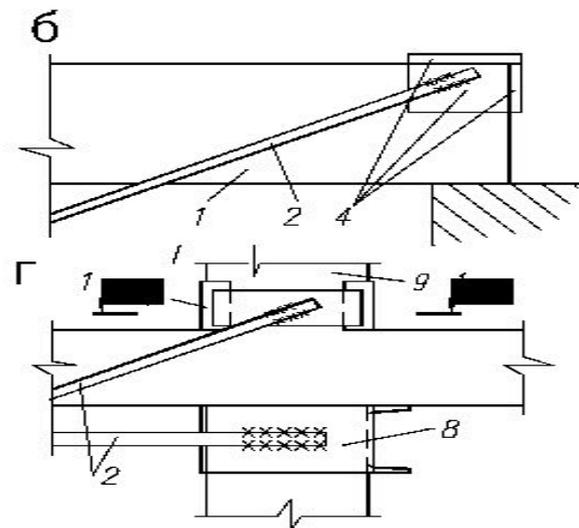
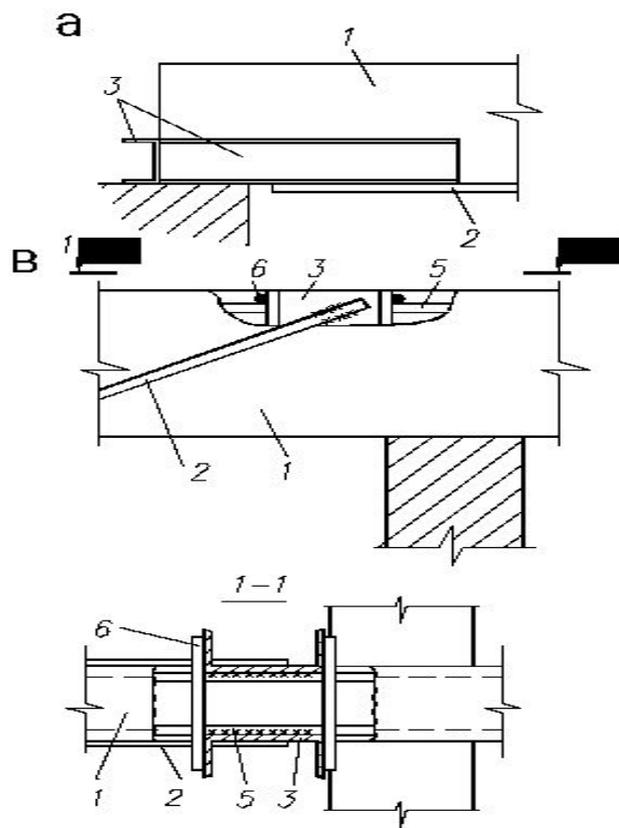
б – шпренгельная затяжка;
в – сочетание
горизонтальной и
шпренгельной затяжек

в



1 – усиливаемая
конструкция, 2 –
горизонтальная затяжка, 3 –
шпренгельная затяжка, 4 –
стяжной болт, 5 –
анкерное устройство, 6 –
прокладка, 7 –
ограничитель

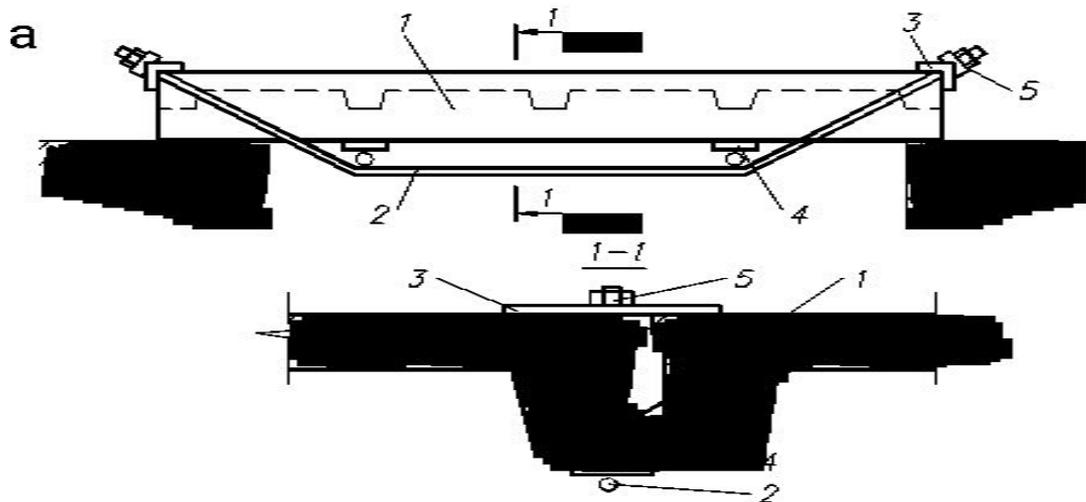
Конструкция концевых анкеров



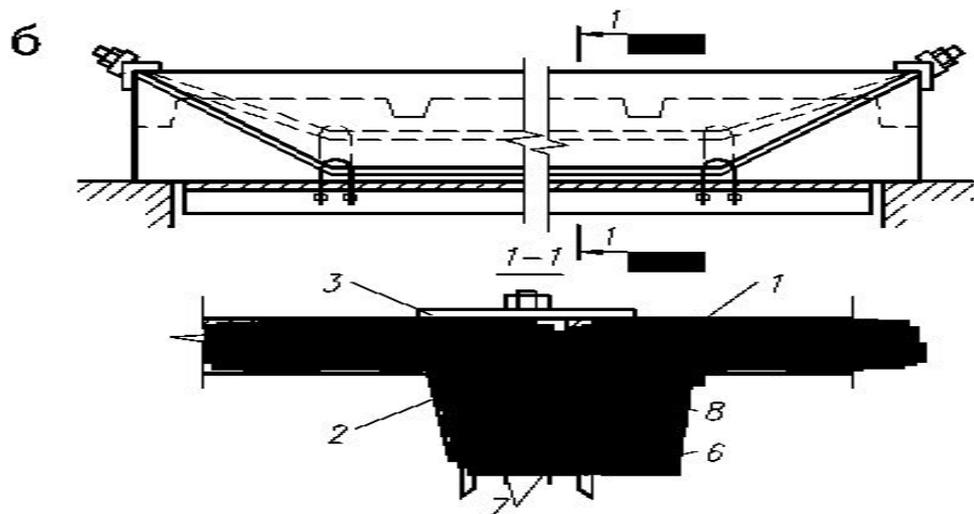
- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – затяжка,
- 3 – швеллер,
- 4 – лист,
- 5 – оголенная арматура конструкции,
- 6 – соединительный стержень,
- 7 – уголок,
- 8 – лист,
- 9 – колонна,
- 10 – держатель анкера

Усиление сборных плит шпренгельными затяжками в швах между плитами:

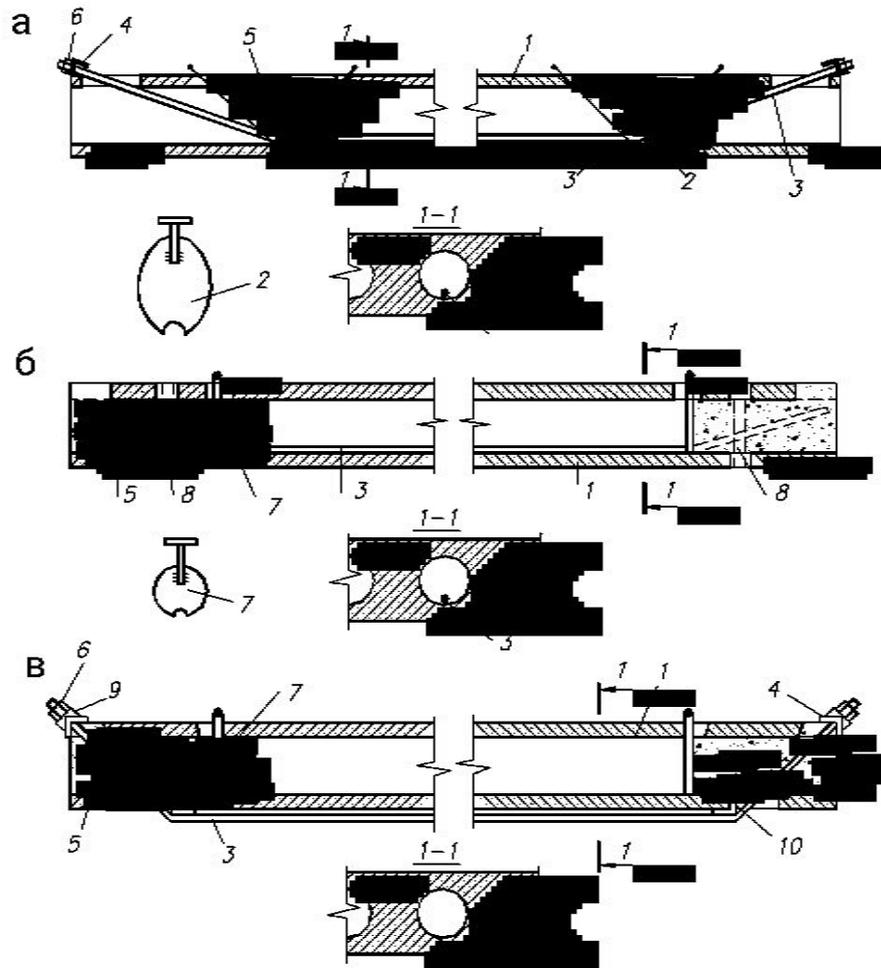
а – без обетонирования; б – с обетонированием



- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – затяжка,
- 3 – уголок,
- 4 – подкладка- упор,
- 5 – гайка,
- 6 – опалубка,
- 7 – натяжной болт,
- 8 - бетон



Усиление сборных многопустотных плит затяжками



- 1 – усиливаемая конструкция,
- 2 – встречно-наклонные пластины,
- 3 – дополнительная арматура,
- 4 – уголок,
- 5 – бетон,
- 6 – гайка,
- 7 – ограничительная пластина,
- 8 – анкер,
- 9 – шайба,
- 10 – упорный уголок

а, в – с предварительным напряжением;
б – без предварительного напряжения

Расчет при обеспечении совместной работы старого и нового бетона

а) При $x < h_r$ и $\xi = \frac{x}{h_0 + h_r} < \xi_R$;

условия равновесия и прочности

$$\underline{R_{br} b x} - R_s A_s = 0 \text{ или } x = R_s A_s / \underline{R_{br} b}$$

$$M < R_s A_s (h_0 + h_r - 0.5 \cdot x),$$

б) При $x < h_r$ и $\xi < \xi_R$

условия равновесия и прочности

$$\underline{R_{br} b h_r} + \underline{R_{br} b (x - h_r)} - R_s A_s = 0$$

где $x = \frac{R_s A_s + R_b b \cdot h_r - R_{br} b \cdot h_r}{R_b b}$

$$M < R_{br} \cdot b h_r (h_0 + 0.5 h_r) + R_b \cdot b (x - h_r) [h_0 - 0.5 (x - h_r)],$$

Расчет при отсутствии надежного сцепления между новым и старым бетоном

- Допущение: частичное зацепление бетона не учитывается в запас прочности, а прогибы старого и нового элементов одинаковы. Тогда несущая способность усиливаемого и усиливающего элементов распределяется *пропорционально жесткостям*.

$$M_r / I_r E_r = M_0 / I_0 E_0$$

- где M_0, I_0, E_0 и M_r, I_r, E_r — изгибающие моменты, моменты инерции и модули деформаций соответственно усиливаемого и усиливающего элементов.
- Требуемый момент инерции усиливающего элемента при $E_r = E_0$ определяется
$$I_r = \frac{(M - M_0) I_0}{M_0}$$
- где M_0 - общий изгибающий момент на усиленную балку.

Расчет при установке дополнительной арматуры в растянутой зоне

- При усилении установкой арматуры в растянутой зоне (наращиванием арматуры) удобнее в начале задаваться площадью дополнительной арматуры. Тогда условия прочности сечения

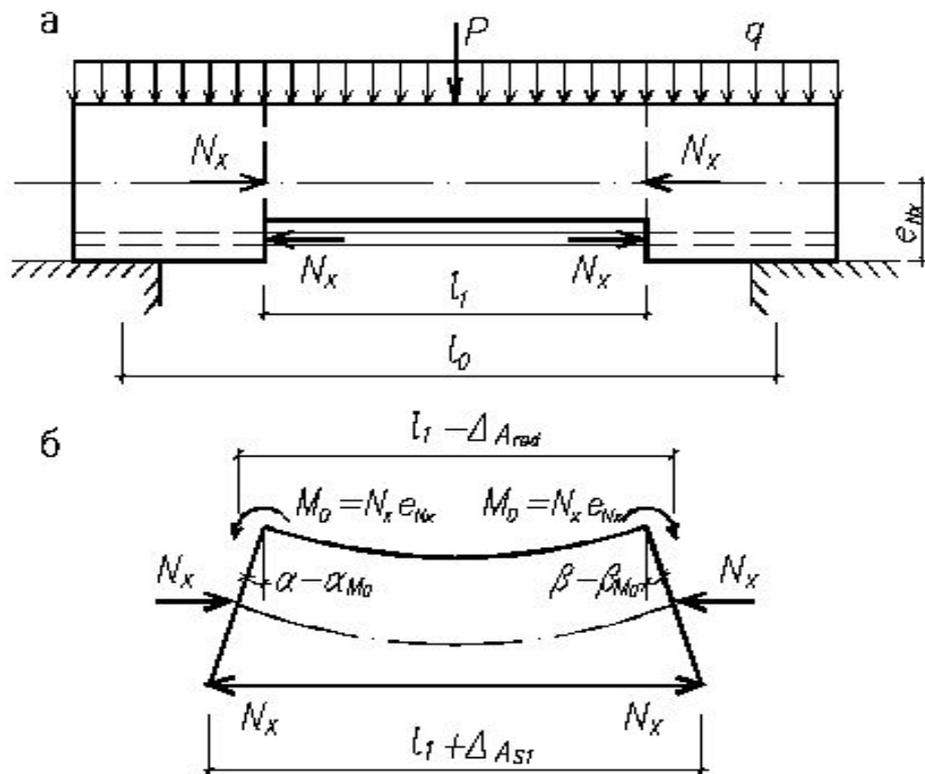
$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sr} A_{sr} (h_{0r} - h_0)$$

- где h_{0r} – рабочая высота усиливающей арматуры.
- Высота сжатой зоны определяется

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

- Видно, что усиление достигается за счет увеличения высоты сжатой зоны бетона. При этом важно соблюдать условие $x < x_R$.

В случае нарушения сцепления с бетоном отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне на участке по длине элемента (откол защитного слоя, коррозия арматуры) при обеспеченной анкерровке по концам железобетонный элемент рассматривают как статически неопределимую комбинированную систему, состоящую из железобетонного элемента и арматуры с нарушенным сцеплением.

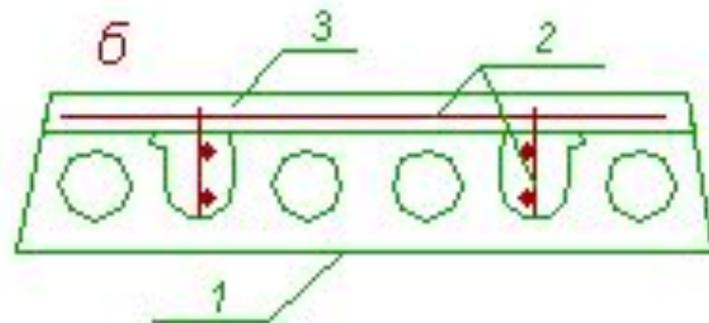
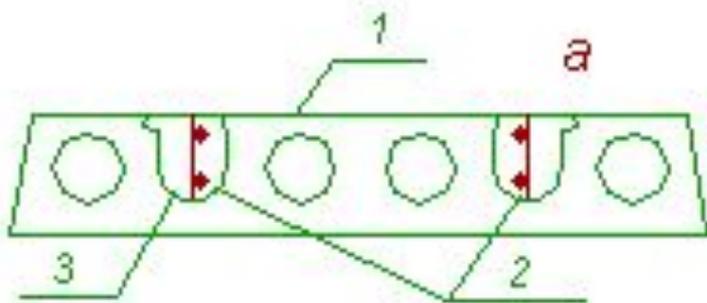


В результате железобетонный элемент на рассматриваемом участке рассчитывается как сжато-изогнутый реактивной сжимающей силой от дополнительного неизвестного усилия N_x в стержнях арматуры с нарушенным сцеплением.

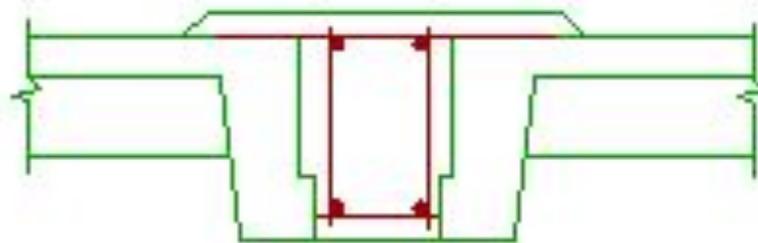
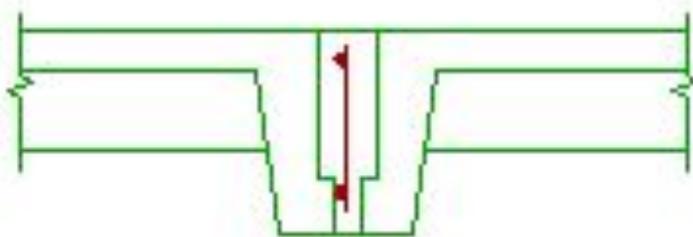
Усиление элементов зданий

Усиление плит перекрытий и покрытий

- Сборные железобетонные **пустотные плиты** часто усиливаются с использованием пустот. Для этого сверху в зоне расположения канала пробивают полку и устанавливают арматурный каркас. При усилении только опорной части плиты каркасы располагаются на части ее пролета в приопорной зоне, а при необходимости усиления по нормальным и наклонным сечениям - по всей длине плиты. После этого канал заполняют пластичным бетоном на мелком щебне.
- При необходимости может быть выполнено наращивание бетоном сжатой полки плиты. Арматурная сетка устанавливается конструктивно для восприятия усадочных деформаций.
- При недостаточной площади опирания пустотные плиты усиливаются путем выноса каркасов за торцы плит с последующей установкой вертикальных каркасов параллельно торцам плит и бетонированием анкерной балки и опорных участков плиты. Для средних пролетов анкеровка может производиться к примыкающей плите.

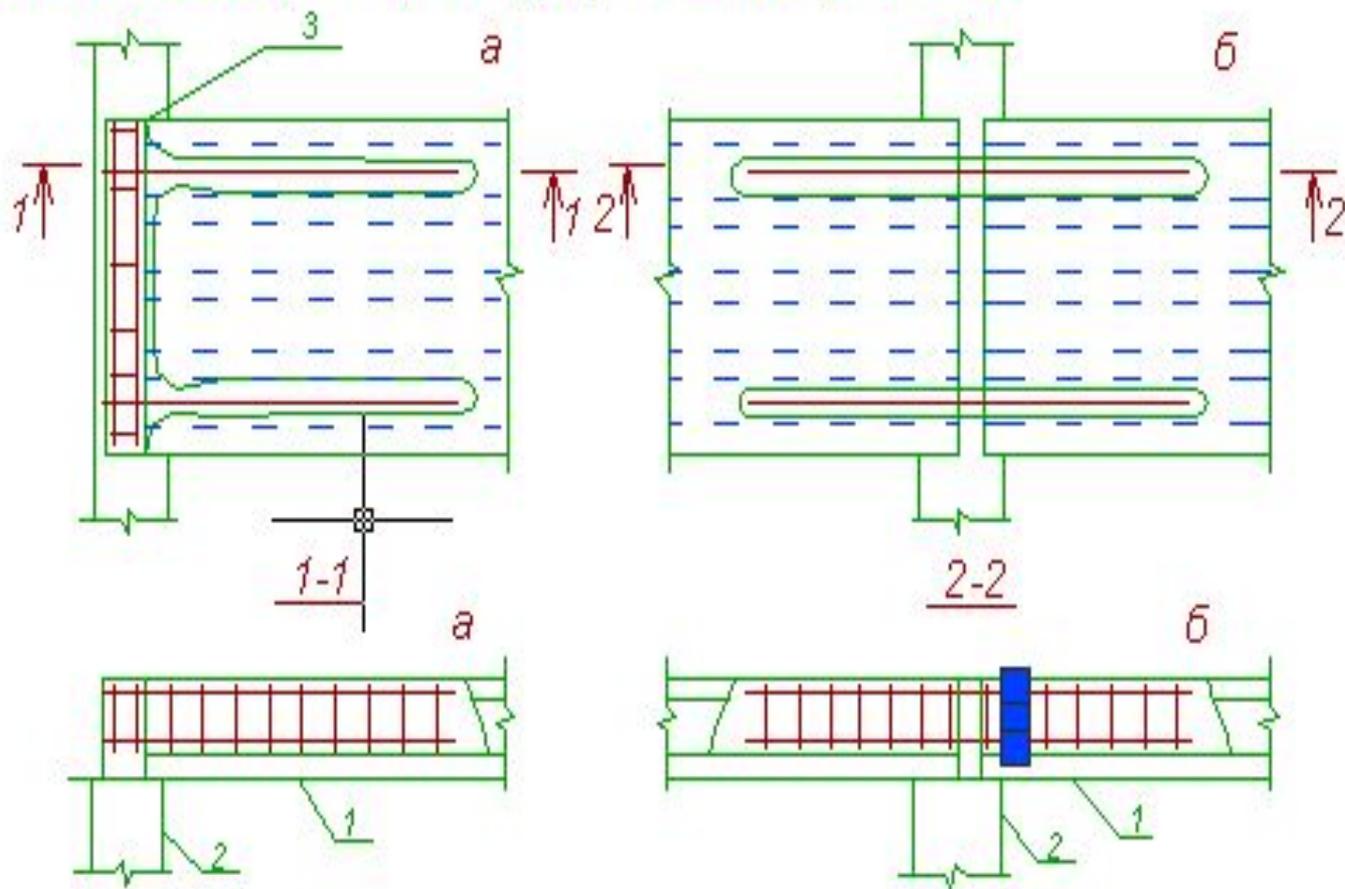


Усиление пустотных плит с использованием пустот: а – без увеличения рабочей высоты; б – с увеличением рабочей высоты наращиванием сжатой полки. 1 – усиливаемая плита; 2 – арматура; 3 – бетон усиления



Усиление ребристых плит устройством плоского (а) и пространственного (б) арматурного каркаса и бетонированием швов

Усиление опорных частей пустотных плит крайних (а) и средних (б) пролетов:

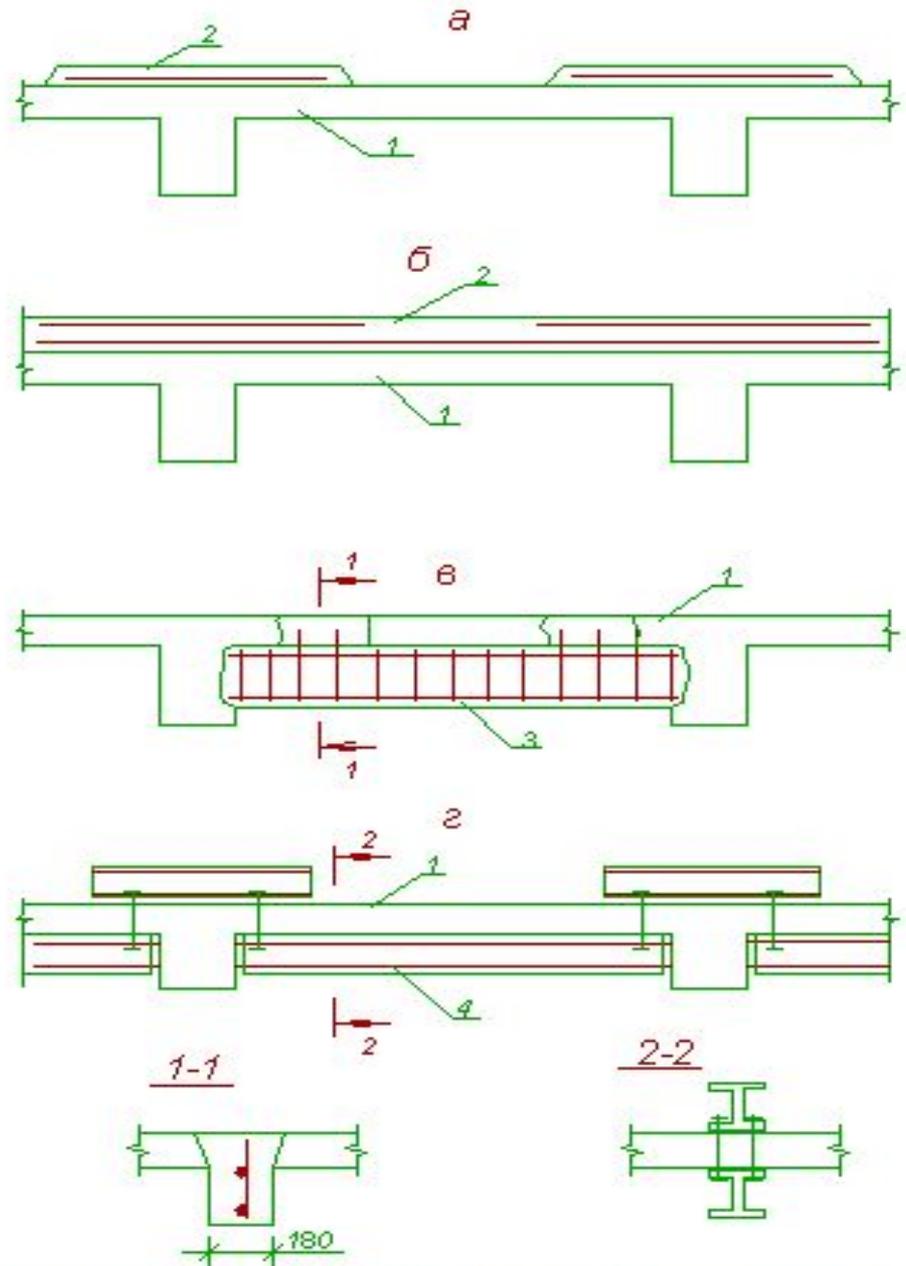


1 – усиливаемая плита; 2 – опора; 3 – анкерная балка

- **Ребристые плиты** в продольном направлении эффективно усиливать установкой дополнительных арматурных каркасов в швах между плитами с бетонированием швов.
- Повышение жесткости и несущей способности плит также может быть осуществлено подведением выносных опор, уменьшающих пролет продольных ребер, устройством металлических балок шпренгельных конструкций, наращиванием бетона колонн и дополнительным армированием. Усиление продольных ребер на действие поперечных сил производят путем установки дополнительных хомутов, которые рекомендуются предварительно напрягать. Недостаточная площадь опирания ребристых плит может быть скомпенсирована устройством металлических столиков или консолей.

- Усиление плит **МОНОЛИТНЫХ** железобетонных перекрытий производится:
- бетонированием по верху утолщающей плиты, армированной противоусадочной сеткой и, при необходимости, арматурой над опорами, рассчитанной на отрицательный момент при обеспечении совместной работы старого и нового бетона ;
- бетонированием второй самостоятельно армированной плиты поверх старой в случае, если сцепление бетона старой и новой плит не может быть обеспечено (из-за промасливания, загрязнения и т.п.);
- приваркой дополнительной арматуры снизу и торкретированием нижней поверхности плиты;
- подведением железобетонных или стальных балок с изменением расчетной схемы плиты с балочной на опертую или заделанную по контуру.

- Усиление плит монолитных перекрытий
- **а, б** – укладкой дополнительной армированной плиты;
- **в, г** – подведением железобетонных и стальных поперечных ребер
- **1** – усиливаемая плита;
- **2** – дополнительная плита;
- **3** – дополнительное железобетонное поперечное ребро;
- **4** – дополнительное стальное поперечное ребро

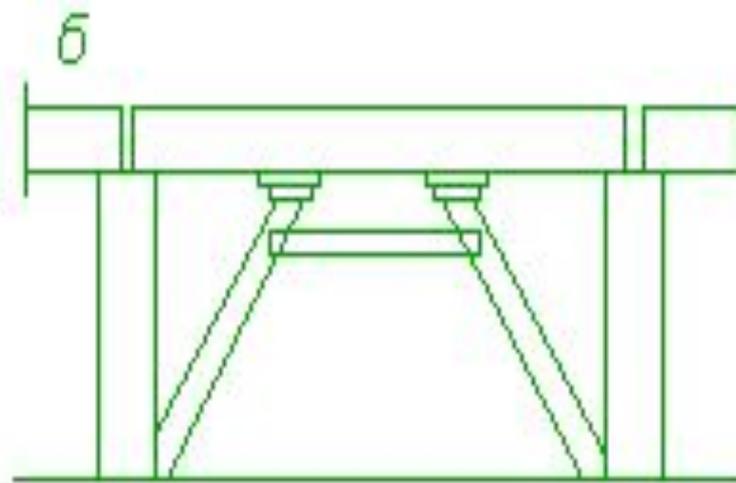
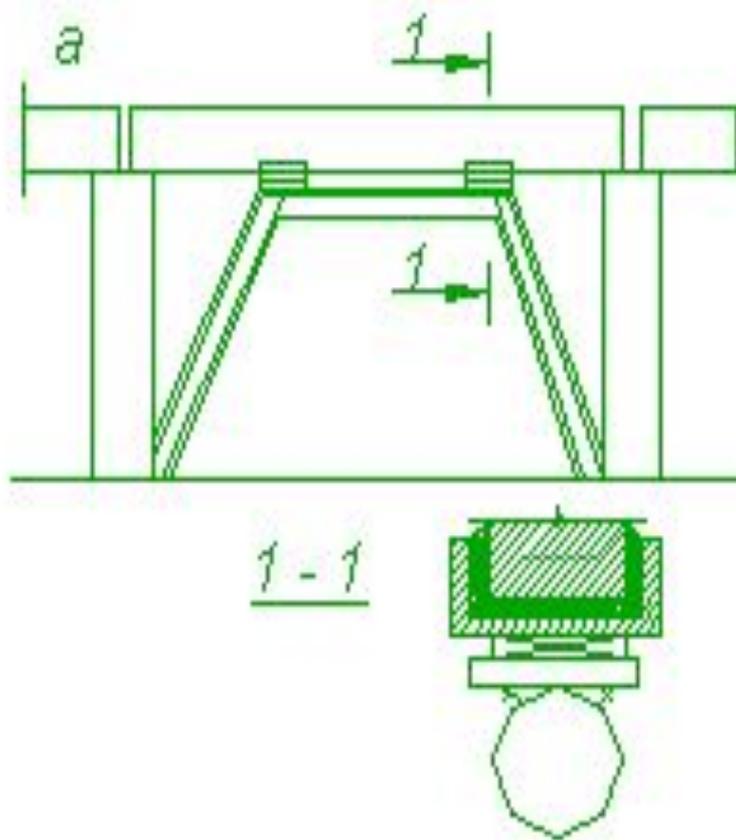


Усиление балок

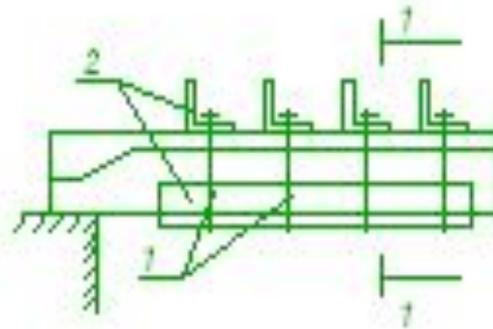
- Усиление балок производят для увеличения их несущей способности по изгибающему моменту и по поперечной силе в зависимости от характера повреждений.
- Балки усиливаются односторонним или двусторонним наращиванием железобетоном (сверху, снизу или с боков), а также с помощью четырехсторонних обойм. При усилении без разгрузки наращиванием арматуры, дополнительную арматуру обычно предварительно напрягают.
- Приварку дополнительной арматуры осуществляют посредством коротышей или арматурных отгибов через 200...1000 мм, начиная с концов и постепенно переходя к середине.
- При применении высокоуглеродистых сталей классов А-600 и выше, а также высокопрочной проволоки и канатов сварка не допускается. Крепление производится с применением наружных металлических или железобетонных поддерживающих систем.

- При усилении железобетонных балок наклейкой стальных листов на полимеррастворе для улучшения сцепления листов с балкой устраиваются анкерные устройства .
- Усиление приопорных участков балок на действие поперечных усилий может быть осуществлено с использованием: железобетонных обойм или рубашек с усиленным поперечным армированием, стальных хомутов, полимерных армированных шпонок, наклейкой листового металла или стеклоткани. Поперечные хомуты рекомендуется предварительно напрягать стягиванием хомутов, натяжкой болтов.
- При недостаточной несущей способности приопорных участков балок или при необходимости уменьшения их расчетной длины устраиваются выносные опоры в виде шпренгельных систем или консольных балок.
- При усилении балок путем изменения конструктивной схемы могут быть использованы все схемы, показанные в п.5. Подкосы и стойки прикрепляются к балке непосредственно через стальные детали на растворе. Включение стоек и подкосов в работу осуществляется через клиновые стальные прокладки, стальные хомуты, а также стягиванием или раздвижкой подкосов по металлической прокладке на графитовой смазке.

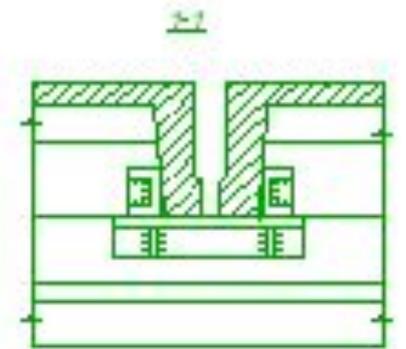
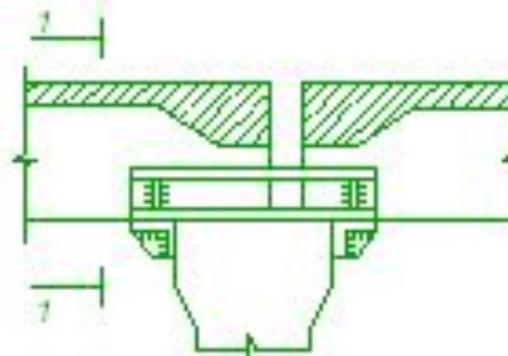
Включение усиливающих подкосов в работу железобетонных балок через клиновые прокладки – **а**; раздвижкой подкосов - **б**



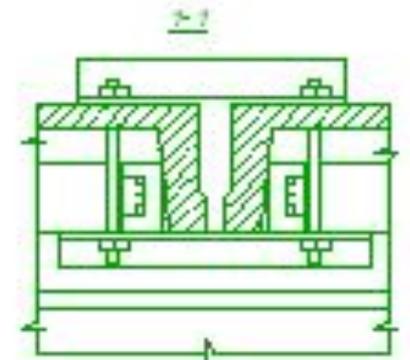
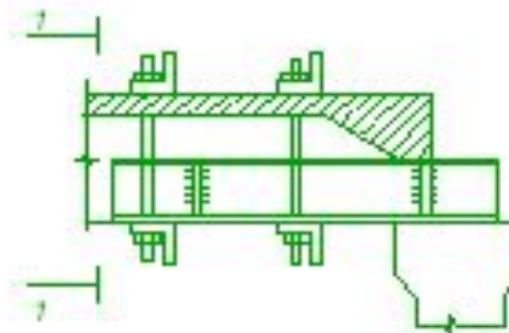
- Усиление ребер сборных плит установкой хомутов 1 – хомуты; 2 – прокладки из уголков



- Увеличение опорной площади ребристых плит средних пролетов устройством металлических столиков



- Увеличение опорной площади ребристых плит крайних пролетов устройством металлических консолей



Усиление колонн

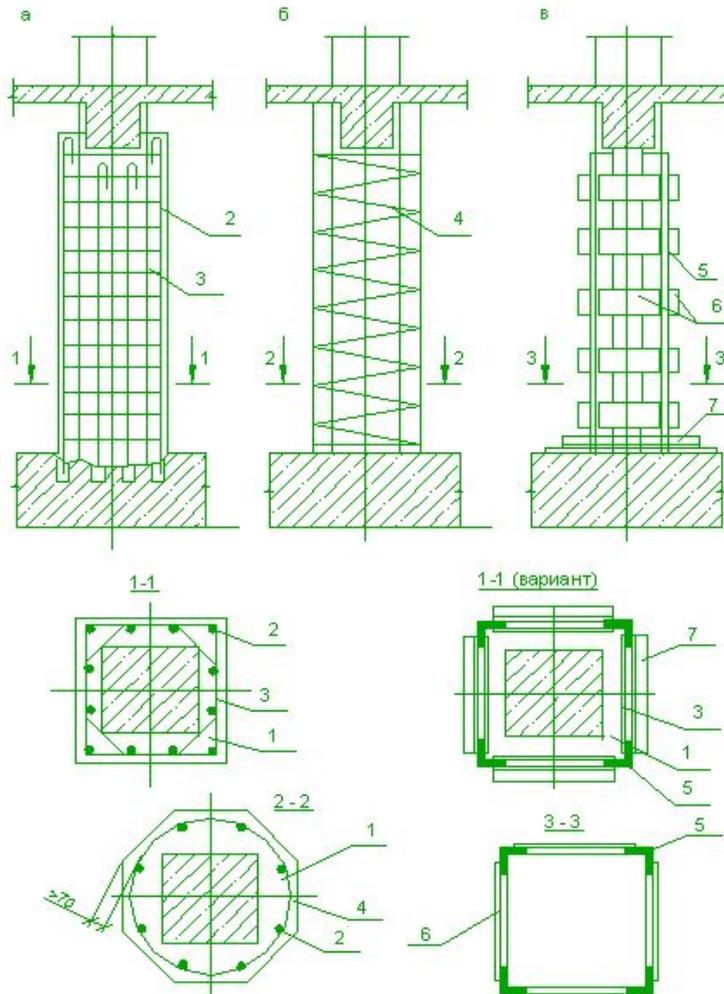
- Наибольшее применение находит усиление железобетонных колонн устройством железобетонных и металлических обойм. Усиление обоймами наиболее рационально для колонн небольшой гибкости .
- Арматура или стальные элементы усиления обойм устанавливаются обычно без связи с арматурой усиливаемых колонн, поэтому нет необходимости их вскрывать. При таком способе усиления важно обеспечить совместную работу "старого" и "нового" бетона (*см. ниже*). Для улучшения адгезии и защиты бетона и арматуры в агрессивных условиях эксплуатации рекомендуется применение *полимербетонов*.

- Толщина железобетонной обоймы колонн определяется расчетом и конструктивными требованиями и, как правило, не превышает 300 мм. Диаметр арматуры принимают не менее 16 мм для стержней, работающих на сжатие, и 12 мм для стержней, работающих на растяжение. Поперечную арматуру диаметром не менее 6 мм для вязаных каркасов и 8 мм для сварных устанавливают с шагом 15 диаметров продольной арматуры и не более трехкратной толщины обоймы, но не более 200 мм.
- При местном усилении обойму заводят за пределы поврежденного участка на длину не менее пяти ее толщин и не менее длины анкеровки арматуры, а также не менее двух ширин большей грани колонны, но не менее 400 мм. Для лучшего сцепления рекомендуется адгезионная промазка из полимерных материалов.

- Поперечная арматура железобетонной обоймы может быть выполнена в виде спиральной обмотки. Спирали в плане должны быть круглыми и охватывать всю рабочую продольную арматуру. Расстояние между ветвями спирали должно быть не менее 40 мм и не более 100 мм, оно не должно также превышать 0,2 диаметров сечения ядра обоймы, охваченного спиралью.
- При сильном повреждении защитного слоя, железобетонные обоймы выполняются с обеспечением связи существующей и дополнительной арматуры.

- При необходимости устройства *"рубашек"* особое внимание должно быть уделено анкеровке поперечных хомутов. Это осуществляется обычно путем приварки хомутов к арматуре колонн или пропуском хомутов через стену и приваркой к анкерным уголкам.
- Наиболее технологичны металлические обоймы из уголков и соединительных планок между ними. Эффективность включения металлической обоймы в работу колонны зависит от плотности прилегания уголков к телу колонны и от предварительного напряжения поперечных планок. Для плотного прилегания уголков поверхность бетона предварительно по граням колонн тщательно выравнивается сглаживанием неровностей и зачеканкой цементным раствором.
- Для усиления колонн эффективно использование предварительно напрягающих элементов.

Усиление железобетонных стоек устройством железобетонных (а,б) и стальных обойм



- 1 – бетон усиления;
- 2 – продольная арматура;
- 3 – хомуты;
- 4 спиральная арматура;
- 5 – уголок;
- 6 – планки;
- 7 – опорный уголок

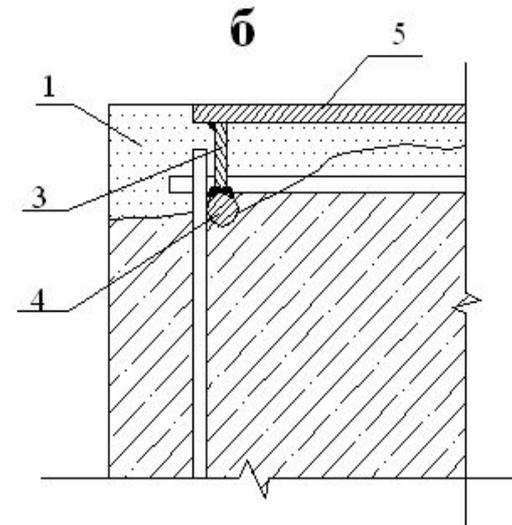
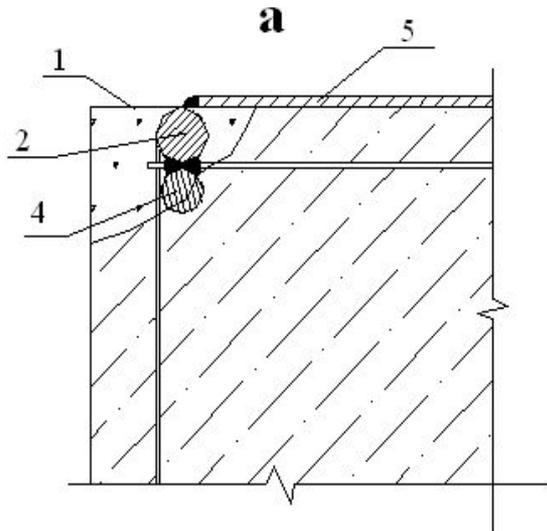
Установка дополнительных закладных деталей.

- При усилении часто возникает необходимость в установке дополнительных закладных деталей. При этом детали разделяются на **конструктивные**, на которые не передаются значительные усилия, и на **расчетные**, которые воспринимают значительные сдвигающие, отрывающие усилия и изгибающие моменты.
- К первой группе относятся закладные детали для фиксации элементов, которые устанавливаются на несущие конструкции (например, плиты перекрытия на балки). Эти детали испытывают сжимающие и незначительные сдвигающие усилия.
- Закладные детали крепятся с **помощью сварки к существующей арматуре** и с **помощью накладных металлических хомутов**. В первом случае скалывается защитный слой арматурных стержней, к ним привариваются круглые коротыши или ребра из полосовой стали и к последним - лист (уголок) новой закладной детали. При установке закладной детали заподлицо с поверхностью элемента устраивается борозда, и пластина вдавливается в свежий цементный раствор.
- Устройство закладных деталей на хомутах менее трудоемко, но требует большего расхода стали.

- Дополнительные закладные детали, а также арматура усиления могут быть заанкерованы в существующую железобетонную конструкцию путем пробуривания скважины и заделки в нее арматурного стержня.
- Скважина пробуривается перфоратором на глубину не менее 20 диаметров.
- Арматура или анкерный стержень заделываются на эпоксидном клее или путем виброочеканки жесткой цементно-песчаной смесью. На эпоксидном клее закрепляется арматура к горизонтальной, вертикальной плоскости бетона, а также к нижней плоскости, расположенной под углом 45° и более к горизонту.
- На цементно-песчаном растворе допускается закрепление анкера только к горизонтальной плоскости бетона.
- Эффективно к концу анкера приварить шайбу.

Установка дополнительной закладной детали с помощью сварки по верхней плоскости (а) и заподлицо с поверхностью (б)

1 – сколотая зона бетона, заделываемая раствором; 2 – коротыш-прокладка из круглого стержня; 3 – коротыш-прокладка из полосовой стали; 4 – продольная арматура; 5 – дополнительная ЗД



Устройство дополнительных ЗД с помощью хомутов в балках (а) и стойках (б):

1 – листовой держатель; 2 – стержневой держатель; 3 – стяжной болт; 4 – боковая планка; 5 – листовая ЗД; 6 – угловая ЗД

