

Основные положения по проектированию усиления МК

На работоспособность стальных конструкций и сроки их службы оказывают влияние повреждения, возникающие в процессе эксплуатации, которые могут накапливаться и развиваться и в дальнейшем приводить к отказам в работе конструкций. Повреждения стальных конструкций, получаемые ими в процессе эксплуатации, могут быть:

- *от силовых воздействий – потеря устойчивости, трещины, разрывы;*
- *от механических воздействий – искривления, погибы, вмятины, истирание;*
- *от физических воздействий – хладноломкость, красноломкость, коробление;*
- *от химических воздействий – коррозионные повреждения, от воздействия от агрессивных сред.*

Конструкции, находящиеся в *неработоспособном* состоянии, должны быть усилены или заменены и выполнен комплекс мероприятий, обеспечивающих *ограниченно работоспособное* их состояние. Проектом реконструкции должно быть предусмотрено восстановление работоспособного состояния всех сохраняемых конструкций. При этом:

- *отклонения геометрической формы, размеров элементов и соеди*

- *допускается не усиливать* элементы конструкций, *гибкость* которых выше предельных значений, если эти элементы не имеют искривлений, превышающих допускаемые, и усилия в этих элементах не будут возрастать, а возможность их использования проверена расчетом;

- *допускается не усиливать* конструкции, выполненные с *отступлениями от конструктивных требований*, если отсутствуют вызванные этими отступлениями - повреждения элементов конструкций, исключены изменения в неблагоприятную сторону условия эксплуатации конструкций и их несущая способность подтверждена расчетом с учетом влияния дефектов;

- допускается использовать без *усиления* элементы, *прогибы* которых превышают предельные значения, но *не препятствуют нормальной эксплуатации* (надежной работы ограждающих конструкций, движению кранов, бесперебойной эксплуатации оборудования и т.п.).

- выполнение конструкций из стали, марка или свойства которой не соответствуют, не может служить основанием для замены или усиления конструкций, однако дальнейшая эксплуатация конструкций требует специального обоснования.

Основными способами усиления стальных конструкций являются:

- *увеличение площади поперечного сечения отдельных эл-тов конструкции;*

- *изменение конструктивной схемы всего каркаса или отдельных элементов его, в результате чего меняется расчетная схема;*

СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Подведение конструкций разгрузки

Увеличение площади поперечного сечения элементов

Изменение конструктивной схемы

Изменение напряженного состояния

Постановка дополнительных связей, ребер, диафрагм

Усиление соединений элементов

Специальные мероприятия:

- а) Выявление неучтенных запасов прочности материалов;
- б) Снижение нагрузки на конструкции;
- в) Уточнение расчетной схемы

Каждый из этих способов может применяться самостоятельно или в комбинации с другими. При выборе способа усиления и разработке проекта усиления необходимо учитывать требования монтажной технологии. Основным требованием при разработке того или иного способа усиления является *обеспечение совместности работы* элементов усиления и усиливаемой конструкции.

Усиление увеличением сечений элементов

Усиление стальных конструкций путем увеличения сечений элементов является наиболее распространенным способом увеличения несущей способности конструкций. Основными способами присоединения элементов усиления к усиливаемым конструкциям являются сварка или болтовые соединения, в некоторых случаях заклепки. Применение обычных болтов не гарантирует необходимую совместную работу усиливаемого и усиливающего элементов. При использовании сварки необходимо учитывать снижение несущей способности элементов за счет их нагрева и накопления остаточных деформаций. При усилении путем увеличения сечений необходимо:

- *обеспечить надежную совместную работу элементов усиления и усиливаемой конструкции;*
- *принятые решения не должны: затруднять проведение работ по антикоррозионной защите стальных конструкций и способствовать процессам коррозии или образованию замкнутых полостей;*

- назначать места сопряжения элементов усиления из условия работы неусиленных сечений при действии расчетных нагрузок в упругой стадии, не допуская резких концентраторов напряжений в указанных местах;

- учитывать допустимость увеличения габаритов строительных конструкций;

- обеспечивать технологичность производства работ по усилению: доступность сварки, отсутствие потолочных швов, возможность сверления отверстий, закручивания болтов и т.п.

Усиление конструкций путей изменения конструктивной схемы

При данном способе усиление достигается перераспределением усилий и напряжений в элементах конструкций, что обеспечивает рациональную работу усиливаемой конструкции.

Изменение конструктивной схемы здания или конструкции можно осуществить:

- за счет изменения его поперечной или продольной схем, а иногда той и другой схем одновременно;

- изменением жесткостей отдельных конструкций и элементов или условий их прикрепления;

- постановкой новых связей пространственной жесткости;

- вантовых и висячих систем;
- полным изменением конструктивной схемы введением шпренгеля и т.д.

Применение способа усиления путем изменения конструктивной схемы позволяет проводить усиление всего сооружения (в некоторых случаях без предварительной разгрузки конструкций) и возможность использования предварительного напряжения конструкций с искусственным регулированием напряжений.

Способ усиления конструкций, предусматривающий регулирование напряжений

Данный способ позволяет уменьшить усилия, действующие в конструкции. Преимущество его состоит также в том, что усиление может производиться без разгрузки конструкции и остановки технологического процесса.

Усиление строительных конструкций является трудоемким и дорогостоящим процессом, поэтому принятию решения по выбору способа усиления должен предшествовать тщательный анализ возможности использования существующих конструкций в новых условиях эксплуатации. Этого можно добиться за счет более рационального размещения технологических нагрузок, применения временных приспособлений для демонтажа и монтажа тяжелого оборудования,

При выборе вариантов усиления следует отдавать предпочтение решениям с четкой расчетной схемой, обеспечивающей совместную работу усиливаемой конструкции с элементами усиления и позволяющей достоверно определить дополнительно воспринимаемую нагрузку. При этом рекомендации по усилению должны учитывать не только перспективу увеличения нагрузок, но и ликвидировать обнаруженные на стадии обследования дефекты изготовления, монтажа и эксплуатации.

С целью сокращения объемов работ по усилению, а в некоторых случаях и отказа от усиления необходимо выявлять и использовать **резервы несущей способности** сохраняемых конструкций путем:

- уточнения усилий, действующих в перенапряженных элементах, за счет учета пространственной работы каркаса;
- фактических условий соединения и закрепления;
- учета фактических значений нагрузок, воздействий и их сочетаний;
- уточнения прочностных характеристик материала конструкций и соединений, фактических размеров сечений и элементов;
- включения в работу ограждающих конструкций или других вспомогательных элементов зданий и сооружений.

С этой целью необходимо разработать мероприятия по улучшению условий работы несущих конструкций, а именно:

- по возможности уменьшить нагрузки, действующие на все здание или отдельные элементы его (ограничение грузоподъемности кранов, изменение конфигурации кровли для уменьшения снеговых мешков и т. д.);

- уменьшить нагрузки от веса ограждающих конструкций путем замены их более легкими, особенно в случае их неудовлетворительного состояния.

Элементы усиления следует проектировать с учетом их изготовления в заводских условиях. В некоторых случаях допускается изготовление деталей усиления с припуском и последующей обработкой на месте установки.

Прочностные характеристики стали, элементов усиления следует назначать с учетом прочностных характеристик стали усиливаемой конструкции. Если эти конструкции выполнены без сварки и отсутствуют данные, о свариваемости стали, то для их усиления сварку можно применять только после проведения оценки свариваемости.

Применяемая для элементов усиления сталь не должна уступать по качеству стали усиливаемых конструкций (по механическим свойствам, вязкости и свариваемости). При усилении конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде, коррозионная стойкость металла элементов усиления должна быть не ниже стойкости металла усиливаемой конструкции.

Усиление металлических балок

Усиление балок необходимо проектировать так, чтобы эпюра действующих изгибающих моментов приближалась к расчетной. При усилении целесообразно усиливающие элементы располагать в зоне действия максимальных моментов, где это необходимо по расчету, а не по всей длине балки.

Усиление балочных конструкций можно осуществлять всеми способами, применяемыми для стальных конструкций, их сочетаниями с обязательным учетом специальных мероприятий, выявляя резервы несущей способности балок и возможность снижения действующих нагрузок.

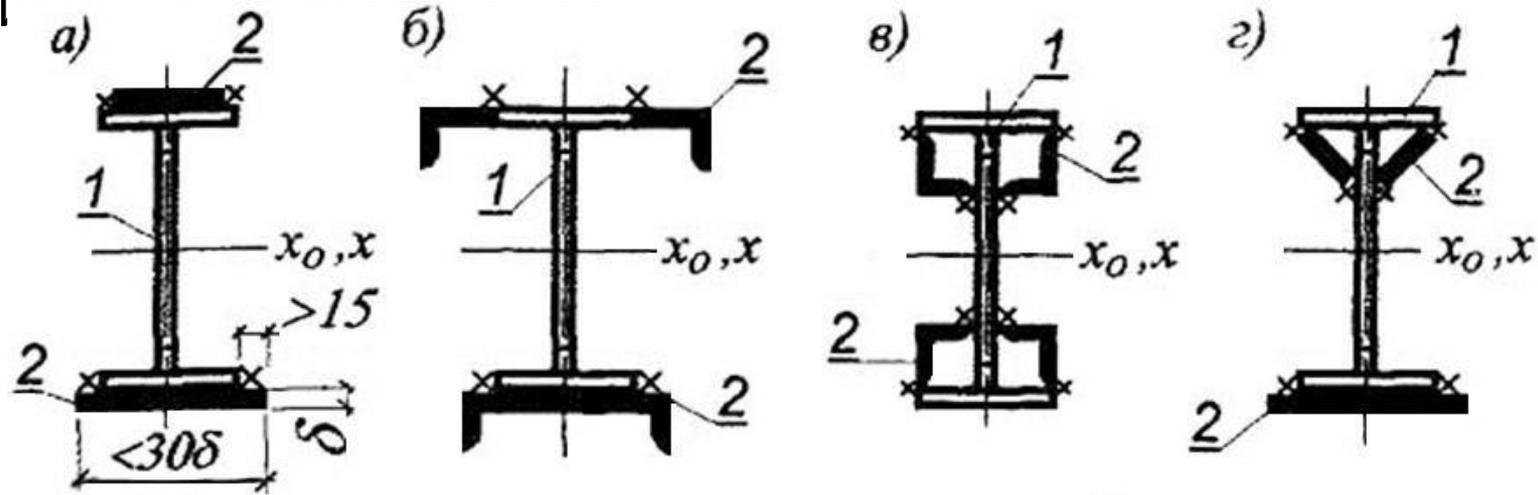
Выбор способа усиления определяется (по верхнему или нижнему поясу):

- возможностью увеличения строительной высоты балки и наличием пространства для размещения элементов усиления;
- условиями опирания на балку элементов перекрытий или покрытий;
- возможностью выполнения работ без остановки производства или во время технологических перерывов;
- технологическими возможностями изготовления и монтажа элементов усиления.

Усиление балок путем увеличения сечения

Для балок наиболее рационально увеличить сечение в наиболее удаленных от нейтральной оси волокнах, при этом, если позволяют габариты увеличить и общую высоту балки, учитывая возможную потерю общей устойчивости. При таком усилении в большей степени возрастают момент инерции и момент сопротивления балки

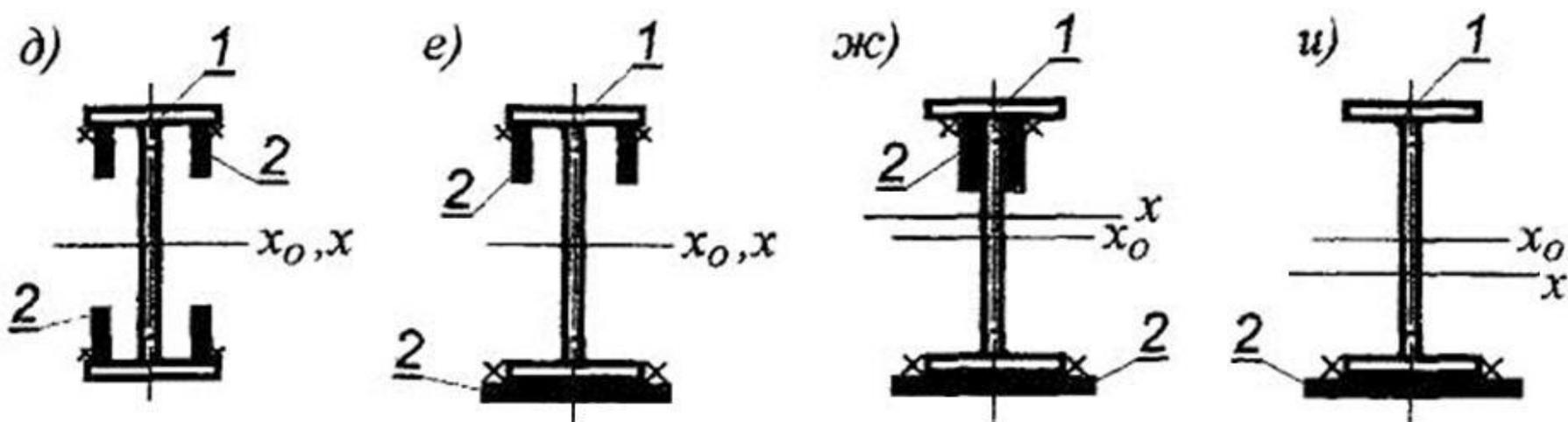
относи



а-г - двусторонние симметричные или близкие к симметричным схемы усиления

1 - усиливаемая балка; 2 - элементы усиления

При опирании настила по верхнему поясу балки возможно применение схем **в-л** несимметричного усиления наиболее эффективного при использовании упругопластической стадии работы материала существующей конструкции или при регулировании усилий, в остальных случаях более целесообразна схема **к** - одностороннего усиления со



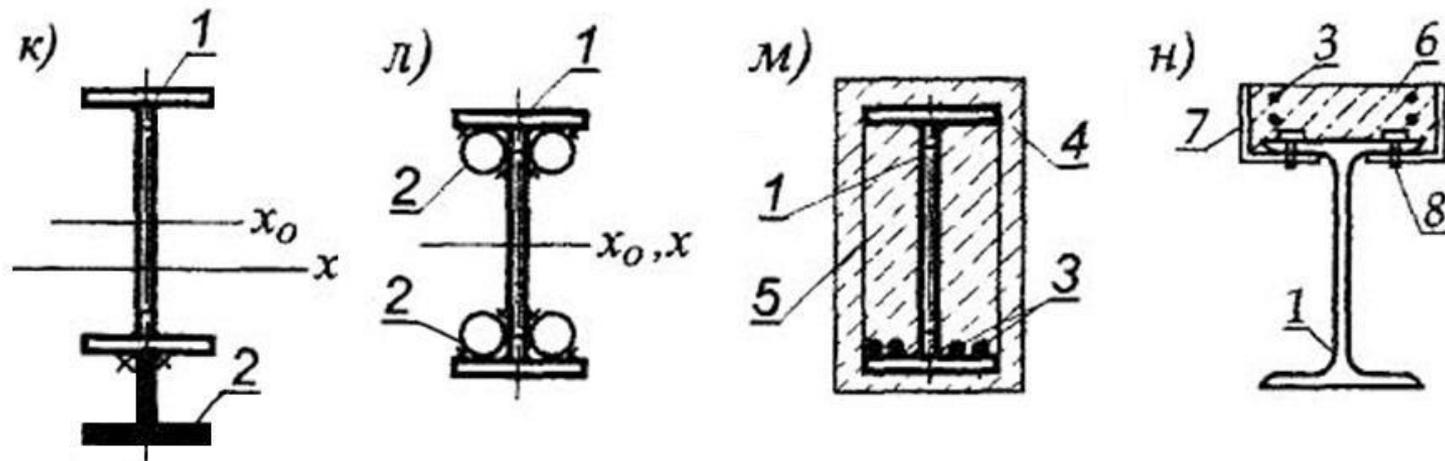
д-е - двусторонние симметричные схемы усиления; ж-и - двусторонние несимметричные схемы усиления

1 – усиливаемая балка; 2 – элементы усиления

При опирании настила по верхнему поясу балки возможно применение схем несимметричного усиления наиболее эффективного при использовании упругопластической стадии работы материала существующей конструкции или при регулировании усилий, в остальных случаях более целесообразна схема одностороннего усиления со значительным увеличением высоты сечения.

Усиление составных сварных балок, имеющих ребра жесткости, с использованием схемы требует вырезки ребер или подгонки элементов усиления, поэтому более рациональны в данном случае схемы д, е.

При необходимости увеличения прочности верхней части стенки (в случае передачи сосредоточенных нагрузок) может быть применена схе



к - одностороннее несимметричное усиление; м-н - схемы усиления с использованием бетона или фибробетона

1 - усиливаемая балка; 2 - элементы усиления; 3 - продольная арматура; 4 - бетон или фибробетон; 5 - хомуты; 6 - бетон на расширяющем цементе НЦ-400; 7 - опалубка; 8 - самонарезающие болты $\varnothing 6...8$ мм с шагом $S = 300$ мм

Усиление сильно деформированных балок можно проводить увеличением их сечений при помощи бетона, железобетона или фибробетона (схема м). В этом случае расчет полученного сечения ведется как железобетонного, армированного гибкой или жесткой арматурой.

Усиление стальных балок перекрытий можно осуществлять по схеме н, выполняя на верхней полке ж. б. элемент. Бетон изготавливается из напрягающего цемента, тем самым достигается обратный выгиб балок, при этом бетонирование необходимо вести одновременно по всей длине

Усиление балок способом увеличения сечения рекомендуется проводить только при действии постоянной нагрузки, временная нагрузка должна полностью отсутствовать. Если это, возможно, желательно до предела снизить и постоянную нагрузку на балки. Расчет балок усиленных способом увеличения сечений может выполняться как в упругой стадии, так и с учетом развития пластических деформаций, кроме балок изготовленных из кипящей стали, а также балок, эксплуатирующийся при температуре ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, или работающих под действием динамических и вибрационных нагрузок.

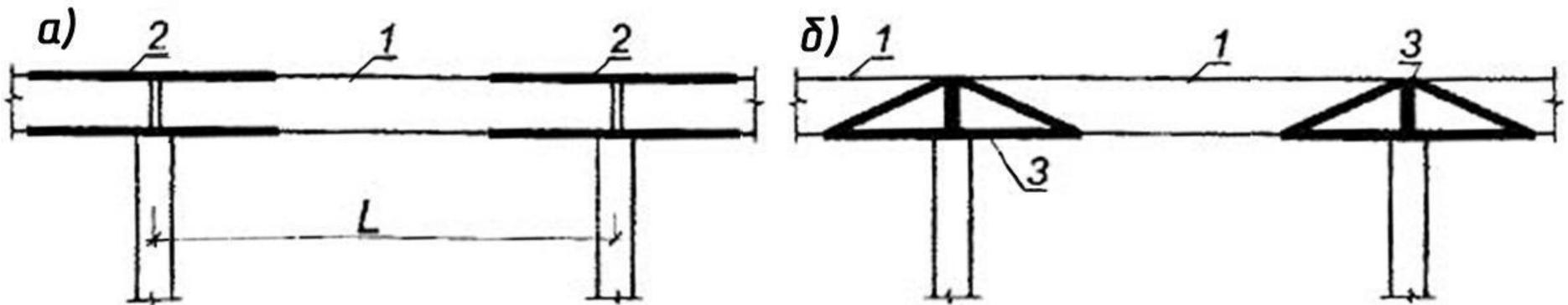
Сталь для элементов усиления рекомендуется принимать с расчетным сопротивлением R_y , не превышающим более чем на 15 % расчетное сопротивление стали существующей балки. В этом случае допускается рассчитывать сечение как единое целое на полный изгибающий момент.

Усиление балок путем изменения конструктивной схемы

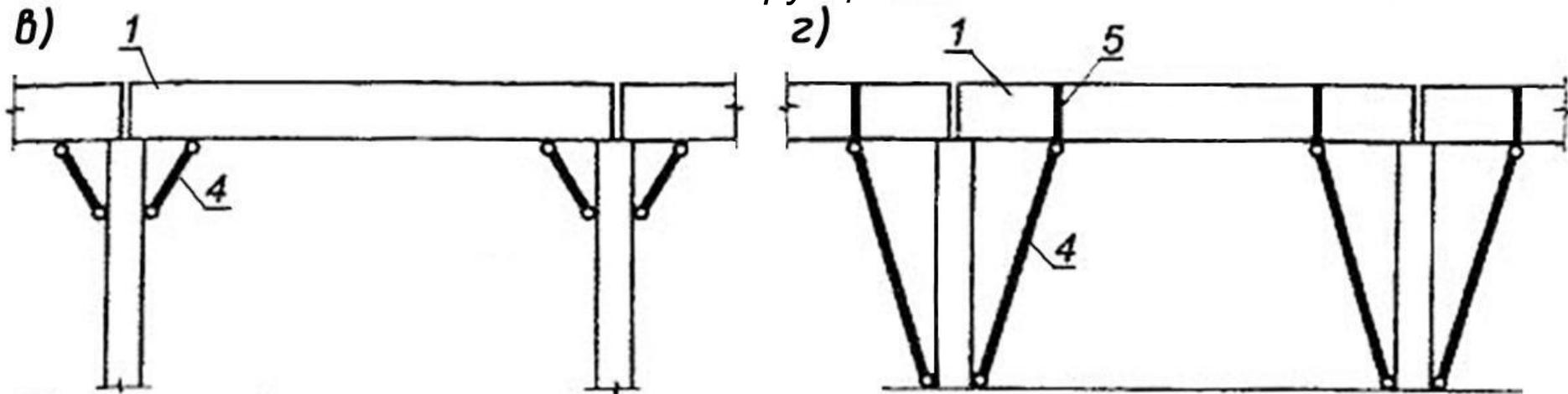
Данный способ усиления применяется с целью повышения несущей способности балок, уменьшения или более равномерного распределения в них изгибающих моментов и мало зависит от места опирания элементов настила. Изменение распределения изгибающих моментов в балках достигается путем:

- переустройства *разрезной* конструкции в ***неразрезную*** (схемы ***а, б***).

При таком способе усиления необходим доступ к узлам сопряжения



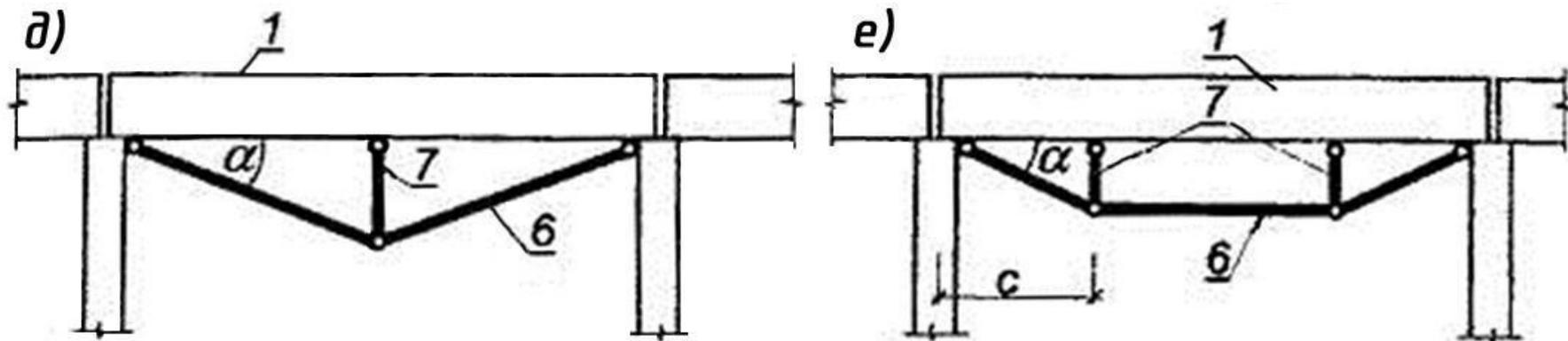
а-б - схемы переустройства разрезных конструкций в неразрезные
 1 - усиливаемая конструкция (балка, прогон); 2, 3 - стальные или железобетонные элементы усиления, создающие неразрезность конструкции



в-г - схемы установки дополнительных подкосов

1 - усиливаемая конструкция (балка, прогон); 4 - дополнительные опоры в виде подкосов; 5 - усиление стенки балки в месте ее опирания на подкос

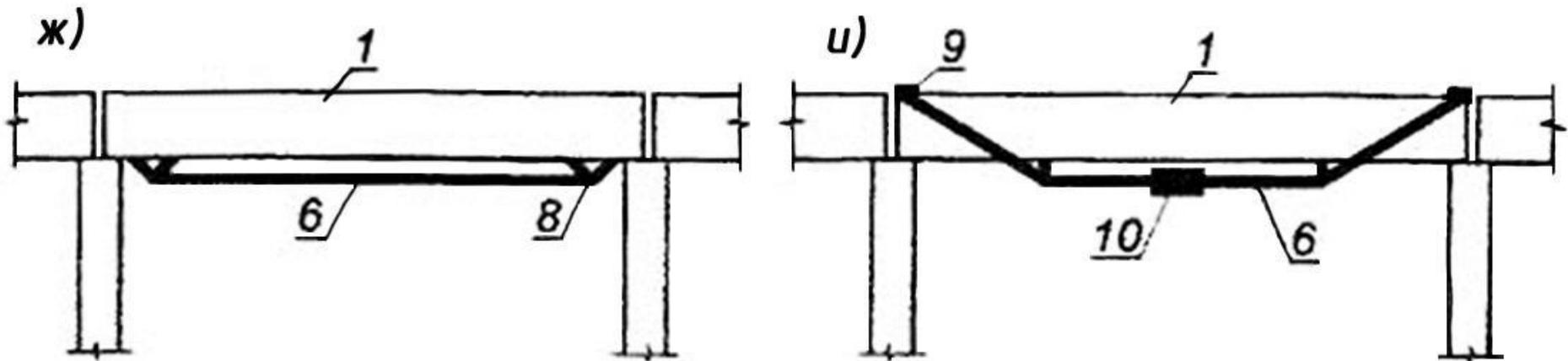
Схемы **в**, **г** возможны при наличии свободного пространства под балками и усиления стенки балки в месте опирания на подкос постановкой ребер жесткости. Применение этих схем зависит от несущей способности колонн и фундаментов, т. к. при коротких подкосах в колоннах при разной загрузке балок возникают изгибающие моменты от горизонтальной составляющей усилия в подкосе.



д-е - схемы установки шпренгелей

1 - усиливаемая конструкция (балка, прогон); 6 - ветви шпренгельных систем; 7 - стойки для одно- и двустоечного шпренгеля

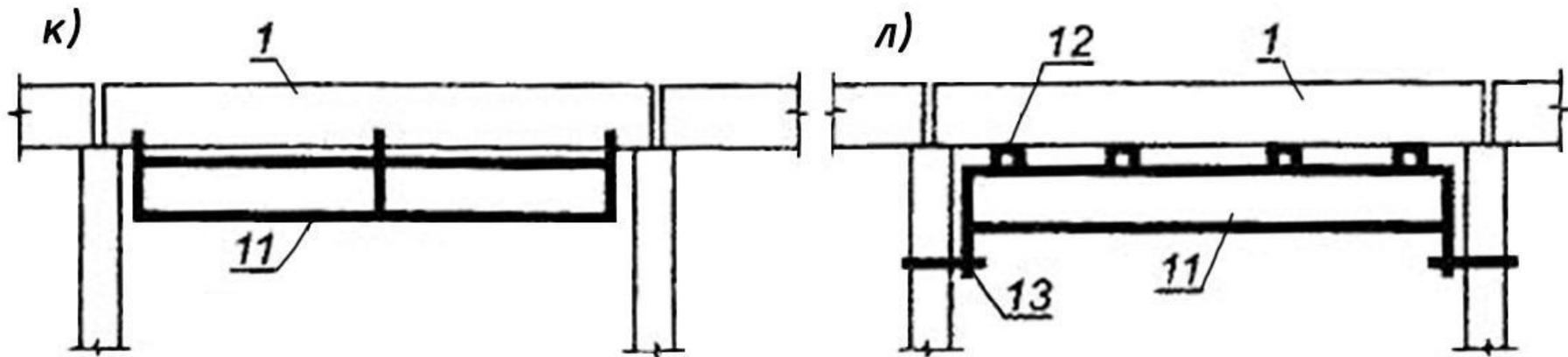
Применения схем **д**, **е** с одно- или двустоечным *шпренгелем* возможно при наличии свободного пространства под центральной частью балки. Применение этих схем возможно при обеспечении закрепления точек перегиба шпренгеля из плоскости системы. Оптимальный угол наклона одностоечного шпренгеля $\alpha = 20 \dots 30^\circ$ (балки пролетом $L = 6 \dots 9$ м), $\alpha = 15 \dots 20^\circ$ (балки пролетом $L = 12$ м). Для двустоечных шпренгелей исходя из наименьшего расхода стали $\alpha = 30^\circ$ и расположением стоек на



*ж-и - схемы установки горизонтальной и шпренгельной затяжек
 1 - усиливаемая конструкция (балка, прогон); 6 - ветви шпренгельных систем;*

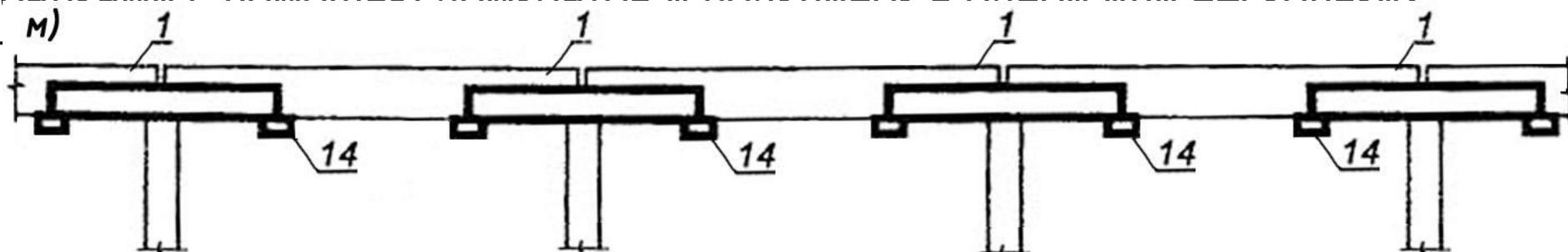
8, 9 - устройства для анкерования и натяжения ветви шпренгеля; 10 - талреп

Усиления балок с помощью дополнительных *горизонтальных затяжек (ж)* или *шпренгельной затяжки (и)* из троса, арматурных сталеи или прокатных элементов с эффективным использованием прочности стали, работающей на растяжение. Чем больше прочность затяжки, тем эффективнее усиление. Сталь для затяжки принимается с прочностью не более чем в 4 раза превышающая прочность стали усиливаемой балки.



к-л - схемы подведения дополнительных балочных конструкций
 1 - усиливаемая конструкция (балка, прогон); 11 - дополнительно подведенные балочные конструкции усиления; 12 - подклинивающие устройства для включения элементов усиления в работу; 13 - опора для передачи нагрузки на колонну

Данные конструкции усиления включаются в совместную работу с балками с помощью домкратов и подклинок в одной или нескольких



м - подведение дополнительных опор
 1 - усиливаемая конструкция (балка, прогон); 14 - подведенные дополнительные опоры

Подведенные *дополнительные опоры* передают нагрузку на параллельно устанавливаемые двухконсольные подпруги, с соответствующим изменением пролета и расчетной схемы балки или прогона.

Практически по всех случаях усиления с изменением конструктивных схем целесообразно *использование методов активного регулирования усилий для включения в работу новых элементов.*

Исходя из расхода стали способ усиления увеличением сечений наиболее выгоден при малых начальных нагрузках и незначительном, до 30...40 % увеличении временных нагрузок.

Усиление с помощью предварительного напряжения рационально при больших пролетах ($L > 9,0 \text{ м}$), увеличении временной нагрузки до 150 % и большой доле постоянной нагрузки ($g > 0,5q$).

Усиление одностоечным шпренгелем может быть эффективно при большой начальной нагрузке и большом (более 200 %) увеличении временной.

Усиление двустоечным шпренгелем экономично по расходу стали при малых начальных нагрузках и увеличении временной на 30 % и более.

Усиление балок постановкой дополнительных элементов – ребер жесткости

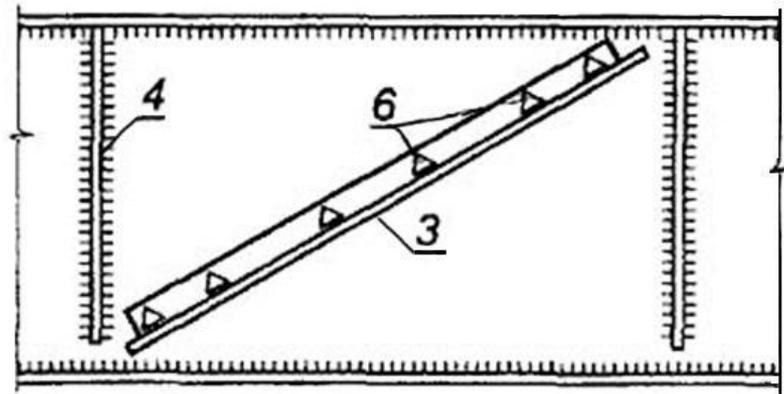
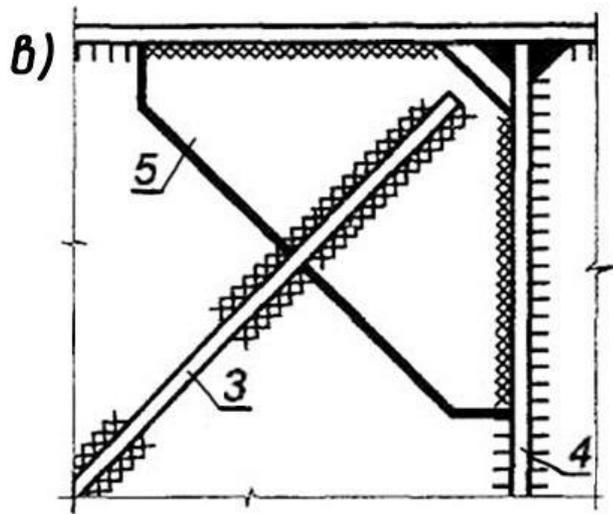
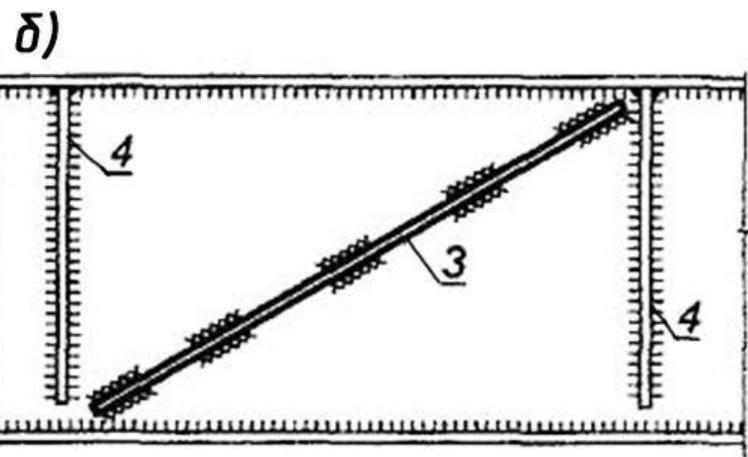
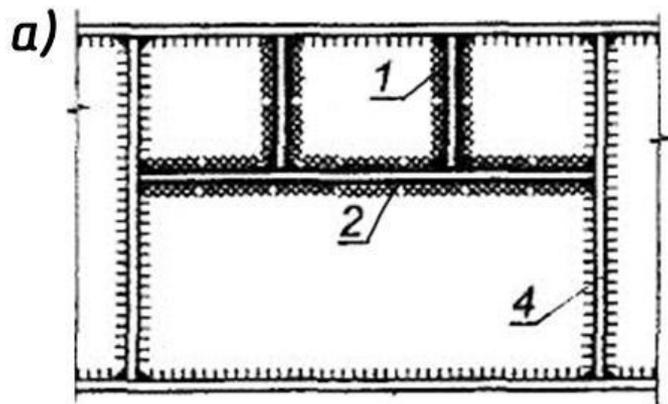
Если при увеличении нагрузок не обеспечена прочность стенки по срезу или ее устойчивость, то рекомендуется установка дополнительных поперечных (между существующими), продольных (при очень тонких стенках) или наклонных ребер жесткости.

Наклонные ребра жесткости могут использоваться как *без пригонки к поясам балки, так и с пригонкой:*

в первом случае они считаются не работающими на поперечную силу и служат только для обеспечения местной устойчивости;

во втором - значительно снижают касательные напряжения в стенке.

При проверке дополнительных ребер рекомендуется использовать одностороннее расположение ребер и швы минимального катета. Диагональные ребра, пригнанные к поясам, рекомендуется проектировать парными (двусторонними) из полосовой стали или уголков с креплением к полкам и вертикальным ребрам и устанавливать их вдоль *сжатой* диагонали отсека.



а - установка поперечных и продольных ребер жесткости; б - установка наклонных ребер жесткости без пригонки к поясам; в - установка наклонных ребер жесткости с пригонкой к поясам и существующим ребрам

1 - поперечные ребра; 2 - продольные ребра; 3 - наклонные ребра; 4 - существующие ребра жесткости балки; 5 - пластина для подгонки наклонного ребра к поясу и ребру; 6 - болты