

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

doi: 10.51639/2713-0576_2021_1_3_4

УДК 69.07

ГРНТИ 67.11.35

ВАК 05.23.01

Обзор методов усиления стальных конструкций

Кривонос Е. А.

БГТУ им. В. Г. Шухова, 308012, Россия, Белгород, ул. Костюкова 46

email: ek.1475@mail.ru

Потребность в усилении стальных конструкций возникает вследствие их физического износа, потери несущей способности, ошибок при проектировании, увеличения расчетных нагрузок, изменения условий эксплуатации и многих других причин. Выбор метода усиления основывается на анализе и сравнении различных вариантов усиления, технико-экономических показателей. Выделяют три основных метода усиления – увеличением сечений, изменением конструктивной схемы, предварительным напряжением. Изначально проводится обследование здания и его конструктивных элементов, выявляется наличие дефектов и повреждений, изучается техническая документация, определяются действующие и планируемые воздействия и нагрузки, производится химический анализ образцов, выполняются необходимые расчеты. Усиление стальных балок, колонн, стропильных ферм может выполняться под нагрузкой и в разгруженном состоянии; данный фактор зависит от конкретных условий эксплуатации конструкции и её индивидуальных особенностей. Усиление наращиванием сечения осуществляется присоединением к усиливаемому элементу новых элементов, увеличивающих площадь существующего элемента. Усиление изменением конструктивной схемы позволяет уменьшить усилия в элементах конструкции, повысить её жесткость. Усиление предварительным напряжением помогает нагрузить недогруженные элементы и разгрузить перегруженные.

Ключевые слова: реконструкция, усиление, ферма, балка, колонна, усиление балок, стальные конструкции, усиление колонн, усиление ферм, усиление стальных конструкций, усиление увеличением сечения, усиление изменением конструктивной схемы, усиление изменением расчетной схемы, усиление предварительным напряжением.

Физико-механические и химические свойства стальных сплавов постоянно совершенствуются, что позволяет с легкостью решать многочисленные проблемы жилого, производственного и коммерческого строительства.

Сегодня большое количество стальных конструкций зданий (особенно производственных) находятся в состоянии физического износа. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации стальные конструкции подвергаются воздействию механических, химических, электрохимических факторов, что приводит к короблению металла, ускорению коррозии и, тем самым, к уменьшению устойчивости и несущей способности объекта в целом. В данном случае требуется усиление стальных конструкций. Потребность в усилении возникает также и при изменении габаритов или функционального назначения зданий, модернизации производства.

Усиление производится согласно предварительно выполненной проектной документации, разработанной на основании заключения о техническом состоянии эксплуатируемых

конструкций, составленного по результатам натурного обследования и поверочных расчетов [1]. По результатам обследований и обмеров определяются действующие нагрузки и воздействия. В процессе разработки проекта решаются вопросы выбора метода усиления, проводятся расчеты усиления; по результатам расчетов производится окончательное проектирование согласно выбранного метода [6].

В ходе обследования фиксируются все дефекты и повреждения элементов конструкций. Обследование включает в себя:

- выявление несоответствий между обследуемым объектом и его проектной документацией.
- проверку качества изготовления и монтажа элементов конструкций.
- определение режима эксплуатации объекта и агрессивности среды.

Дефекты и повреждения элементов могут возникать по причине неправильного монтажа, наличия заводского брака (включая механические воздействия при перевозке), вследствие ошибок при проектировании [2]. К заводским дефектам относятся непрямолинейность, искажение формы изделия, некачественные сварные соединения; к дефектам при монтаже — неточное геометрическое взаиморасположение, прогибы, искривления, вмятины в элементах конструкций, низкое качество соединений, расцентровка и неточная подгонка элементов в узлах сопряжений. Ошибки при проектировании связаны с неправильным выбором марок сталей и/или антикоррозионной защиты, неверным определением действующих нагрузок, недостаточным обеспечением общей и местной устойчивости, отсутствием необходимого количества связей, неудачным конструированием узлов соединений.

Усиление может выполняться:

- с демонтажем конструкций или отдельных элементов;
- без демонтажа с разгрузкой от временных и постоянных нагрузок;
- без демонтажа в напряженном состоянии.

Усиление без демонтажа под нагрузкой требует тщательного обследования усиливаемой конструкции и применения специальных приемов усиления, но в то же время с экономической позиции оно более рационально, так как не приводит к остановке технологического процесса (для производственных зданий). К разгрузке прибегают в случае возникновения больших дополнительных напряжений, возникающих после исключения поврежденных элементов. К частичному или полному демонтажу – при наличии серьезных повреждений или аварийно-восстановительных работах.

Методы усиления стальных конструкций

Усиление может осуществляться несколькими методами [3]:

- увеличением сечений элементов;
- изменением конструктивной (расчетной) схемы отдельных элементов или конструкции в целом;
- предварительным напряжением.

Выбор способа усиления зависит от различных факторов (или их сочетаний) – от причины возникновения дефекта (повреждения), места его расположения и вида, от эксплуатации усиливаемого объекта и т.п.

Также стоит учитывать и технологию организации строительства, так, например, в условиях повышенной стесненности в монтажной зоне могут возникать трудности с определением места размещения грузоподъемных механизмов. Иногда вероятность использования таких механизмов требует перехода на менее индустриальные конструктивные решения.

При усилении стальных конструкций производственных зданий необходимо обеспечивать минимальную возможность остановки работы предприятия, так как снижение энергоемкости технологического процесса может привести к убыткам, как следствие, к существенному превышению объемов капитальных вложений на реконструкцию объекта. В связи с этим

требуется применение специальных методов усиления, монтажа, разборки конструкций, сводящих к минимуму или полностью исключающих остановку работы предприятия.

Усиление увеличением сечения элементов

Метод увеличения сечения элементов применим для усиления стержней ферм, веток сквозных колонн, сплошных колонн, балок сплошного сечения, решетчатых ригелей рам, прогонов, стоек и других элементов пространственных и сплошных конструкций. Этот метод целесообразен в случаях, когда несущая способность конструкции определяется одним или несколькими элементами [3].

При усилении балок наиболее рациональными в плане расхода стали являются двусторонние симметричные и несимметричные схемы усиления, которые незначительно влияют на смещение центра тяжести изначального сечения балки (рис. 1, а, б). Несимметричное одностороннее усиление (рис. 1, в) применимо в случае технико-экономической нецелесообразности двустороннего усиления, и, так как данный способ практически не обеспечивает возрастания момента сопротивления сжатой зоны сечения, его осуществляют только при допустимости применения упругопластической стадии работы усиливаемых балок. Эффективной схемой несимметричного одностороннего усиления является усиление с помощью тавров или двутавров (рис. 1, г).

Проверку прочности и устойчивости усиленных балок проводят как для цельного сечения, так как критические усилия не зависят от величины ранее существовавших напряжений.

Повышению местной устойчивости локальных участков стенок балок способствует постановка на этих участках коротких ребер жесткости, окаймленными продольными ребрами.

При выборе сечения усиливающей балки требуется проверка на зыбкость [4].

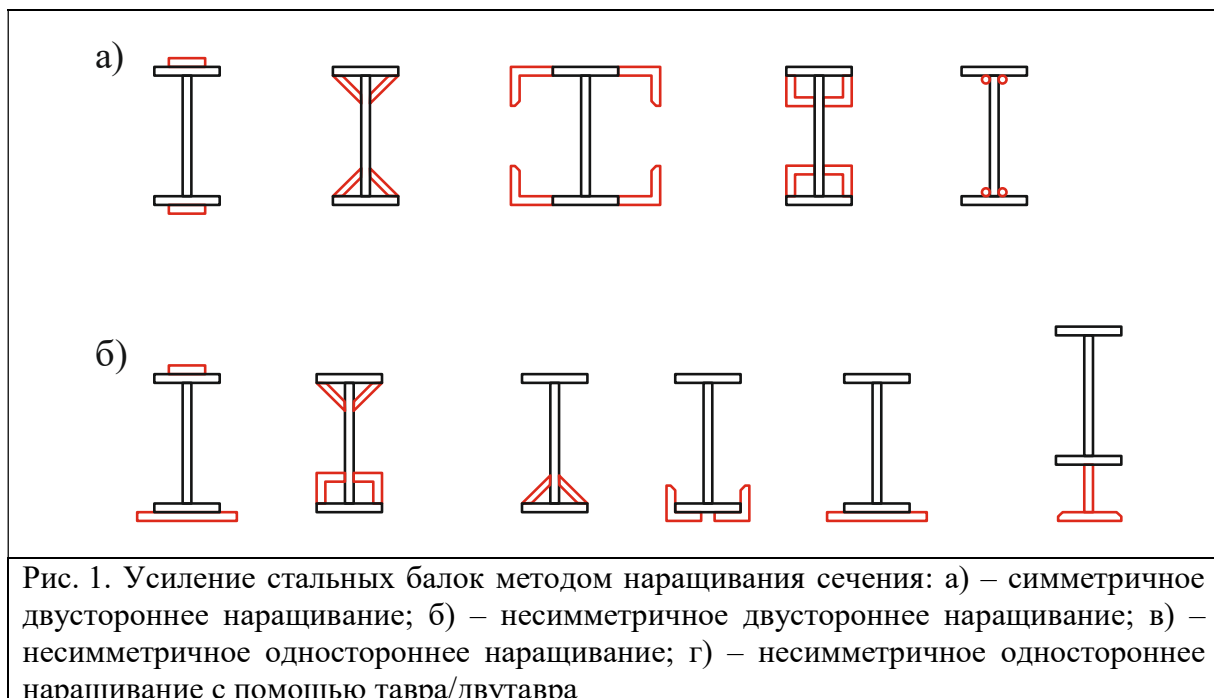
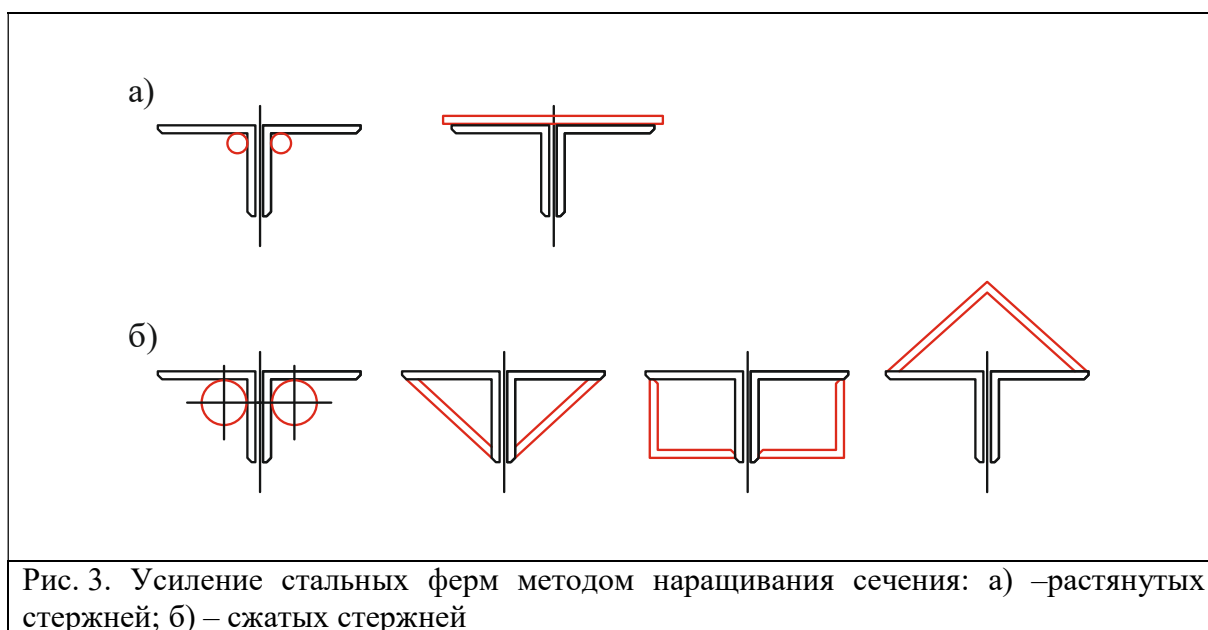
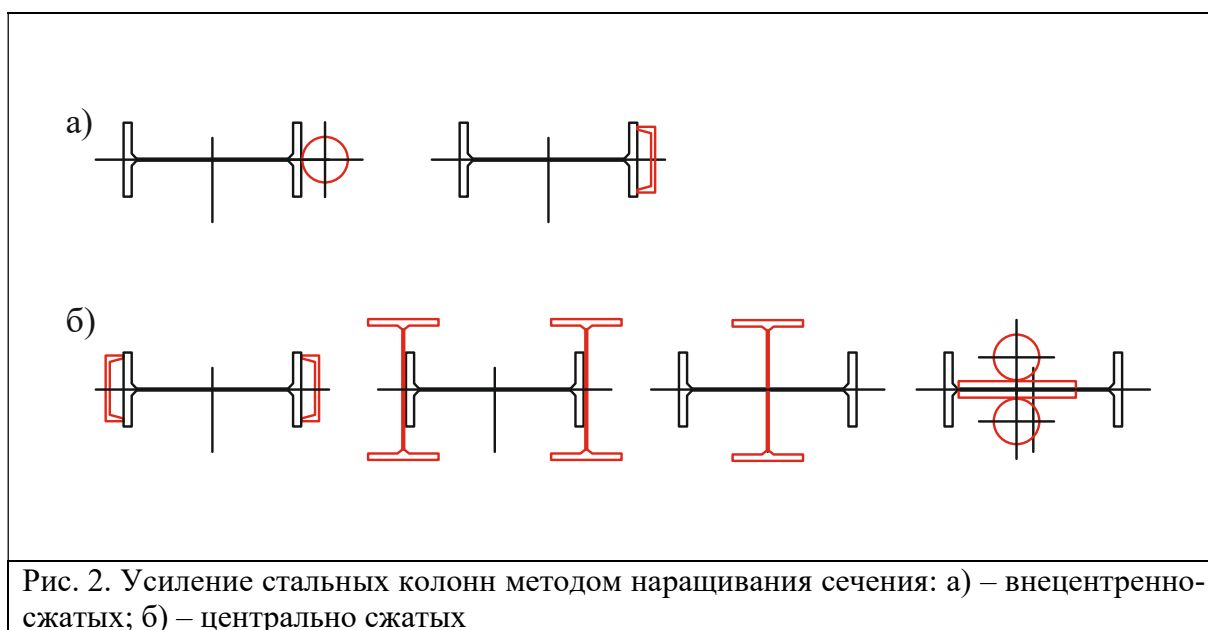


Рис. 1. Усиление стальных балок методом наращивания сечения: а) – симметричное двустороннее наращивание; б) – несимметричное двустороннее наращивание; в) – несимметричное одностороннее наращивание; г) – несимметричное одностороннее наращивание с помощью тавра/двутавра



Усиление стальных колонн, как правило, требуется при значительном увеличении нагрузок, в случае существенного коррозионного износа либо при значительных локальных повреждениях. Ввиду сложности разгрузки колонн их усиление обычно выполняется под нагрузкой, что в основном определяет выбор способа усиления [5].

В случае усиления несимметрично нагруженных сечений стальных колонн рекомендуется приваривать новое сечение со стороны сжимающих напряжений, добиваясь при этом увеличения радиуса инерции объединенного сечения в плоскости действия изгибающего момента. На рис. (2, а) показаны примеры усиления внецентренно сжатых колонн в плоскости действия момента. На рис. (2, б) показаны примеры усиления центрально сжатых колонн.

При усилении стропильных ферм способом увеличения сечения необходимо стремиться к сохранению центровки в узлах. Если расцентровка в результате усиления составит свыше 1,5% высоты сечения стержня, следует при расчете стержня учитывать момент от эксцентричного прикрепления в узле [4].

Пример усиления растянутых стержней ферм представлены на рис. (3, а). В данном случае основным принципом усиления является увеличение площади поперечного сечения, поэтому применимы и круглые стальные стержни, и стальные листы.

На рис. (3, б) показаны примеры усиления сжатых стержней стальных стропильных ферм путем приварки новых усиливающих элементов (уголков, листов, труб). Основная идея подобного усиления заключается в увеличении радиуса инерции сечения. При этом следует стремиться к сохранению центра тяжести прежнего и нового сечений.

Следует избегать потолочных сварных швов, которые на монтаже получаются не всегда удачными.

Присоединение усиливаемых элементов обычно производится при помощи сварки и требует частичной разгрузки усиливаемых конструкций, так как при нагреве во время сварочных работ снижается их несущая способность. В зависимости от режима и направления сварки, размеров элемента, снижение прочности для продольных швов может достигать 15%, для поперечных – 40%.

Реже применяется способ усиления обетонированием, он менее популярен и применяется в основном для стоек и колонн (рис. 4), позволяет значительно повысить жесткость и несущую способность конструкции, увеличить показатели ее огне- и коррозионной стойкости.

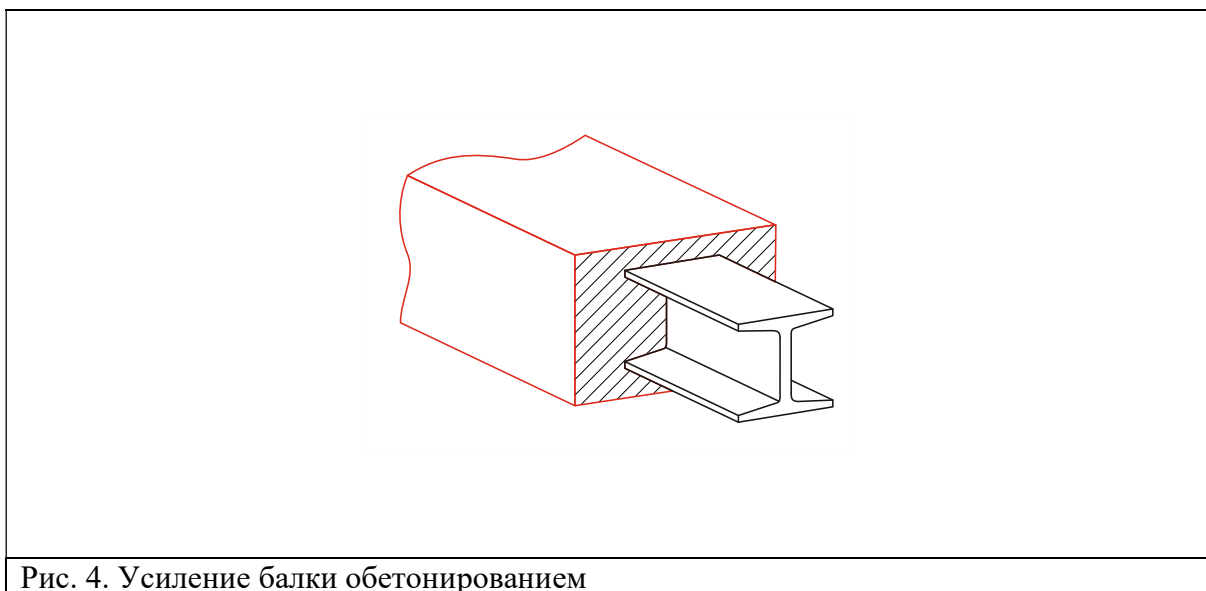


Рис. 4. Усиление балки обетонированием

Усиление изменением конструктивной (расчетной) схемы. При усилении стальных конструкций изменением конструктивной (расчетной) схемы происходит перераспределение (уменьшение) усилий и напряжений в элементах, повышается жесткость конструкции [3]. Это осуществляется за счет постановки дополнительных или перестановки существующих связей, или диафрагм жесткости, усиления существующих диафрагм жесткости, увеличения жесткости горизонтальных дисков перекрытий.

Усиление балок путем устройства дополнительных опор, подвесок, подкосов (рис. 5, а, б, в, г) рекомендуется использовать при аварийном усилении.

Способ обеспечения неразрезности шарнирно опертых балок (рис. 5, д) требует наличия доступа к узлам сопряжения для их местного усиления и полной или частичной разгрузки.

Введение новых стержневых элементов, т.е. превращение балки в шпренгельную систему, (рис. 5, е) позволяет увеличить жесткость конструкции на 40-60%. Тут так же рекомендуется полная или частичная разгрузка, и наличие свободного пространства под балками.

Усиление конструкций предварительно напряженными затяжками (рис. 5, ж) производится с целью регулирования напряжений. Натяжение затяжек приводит к образованию изгибающего момента, противоположного моменту от временных и постоянных нагрузок.

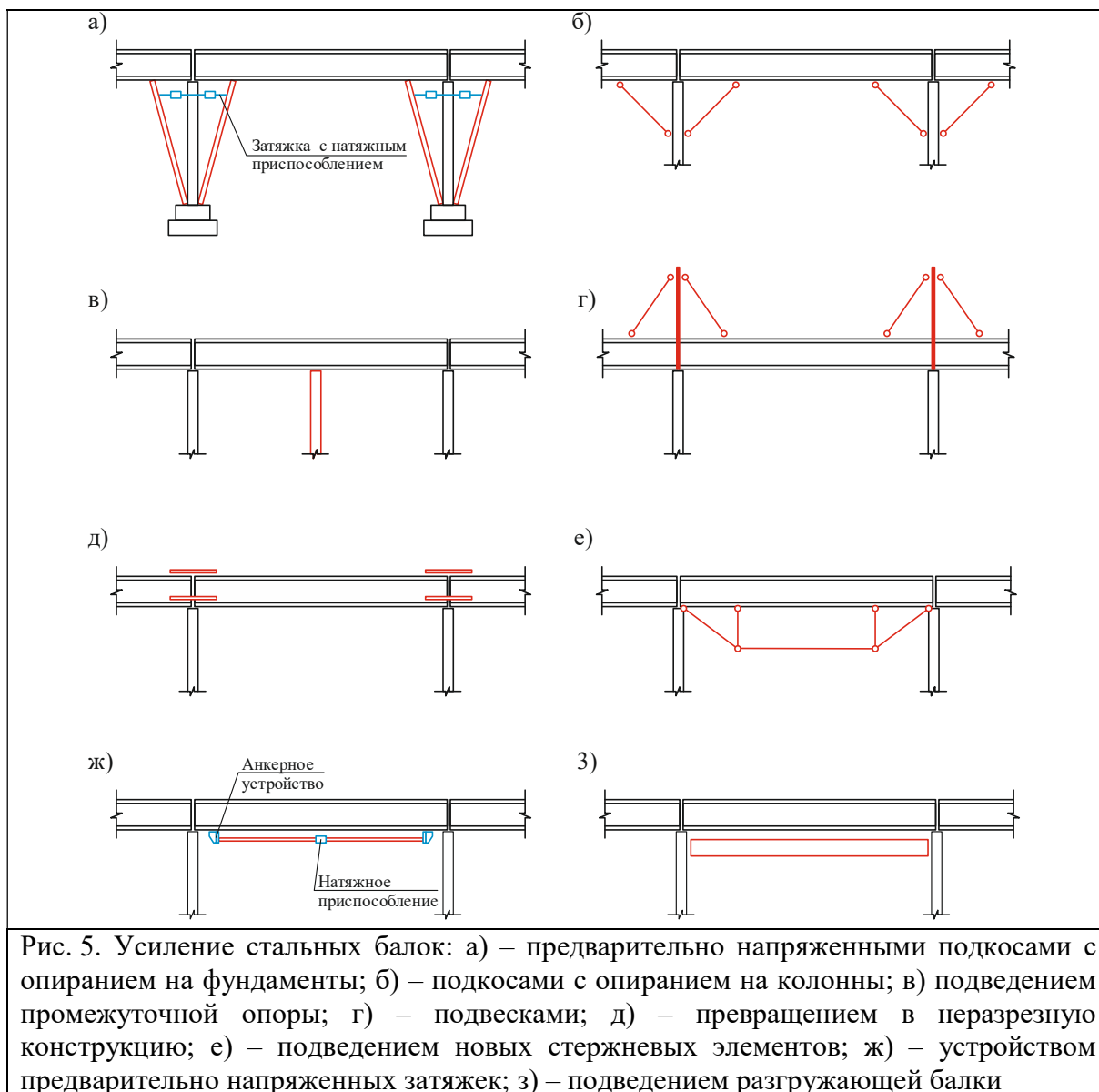


Рис. 5. Усиление стальных балок: а) – предварительно напряженными подкосами с опиранием на фундаменты; б) – подкосами с опиранием на колонны; в) подведением промежуточной опоры; г) – подвесками; д) – превращением в неразрезную конструкцию; е) – подведением новых стержневых элементов; ж) – устройством предварительно напряженных затяжек; з) – подведением разгружающей балки

Необходимо учитывать, что так как способ усиления изменением конструктивной схемы приводит к изменению расчетной схемы, в связи с этим возможен перегруз отдельных элементов, может потребоваться их местное усиление [4].

Усиление фермы подведением вспомогательной опоры в середине пролета (б, а) позволяет равномерно перераспределить усилия в конструкции и существенно повысить ее несущую способность. Расчет должен показать, требуется ли усиление опорных раскосов в местах опирания фермы на усиливающую колонну. Однако на практике, не всегда получается поставить центральную колонну, так как необходимо устройство дополнительного фундамента и наличие достаточного внутреннего пространства.

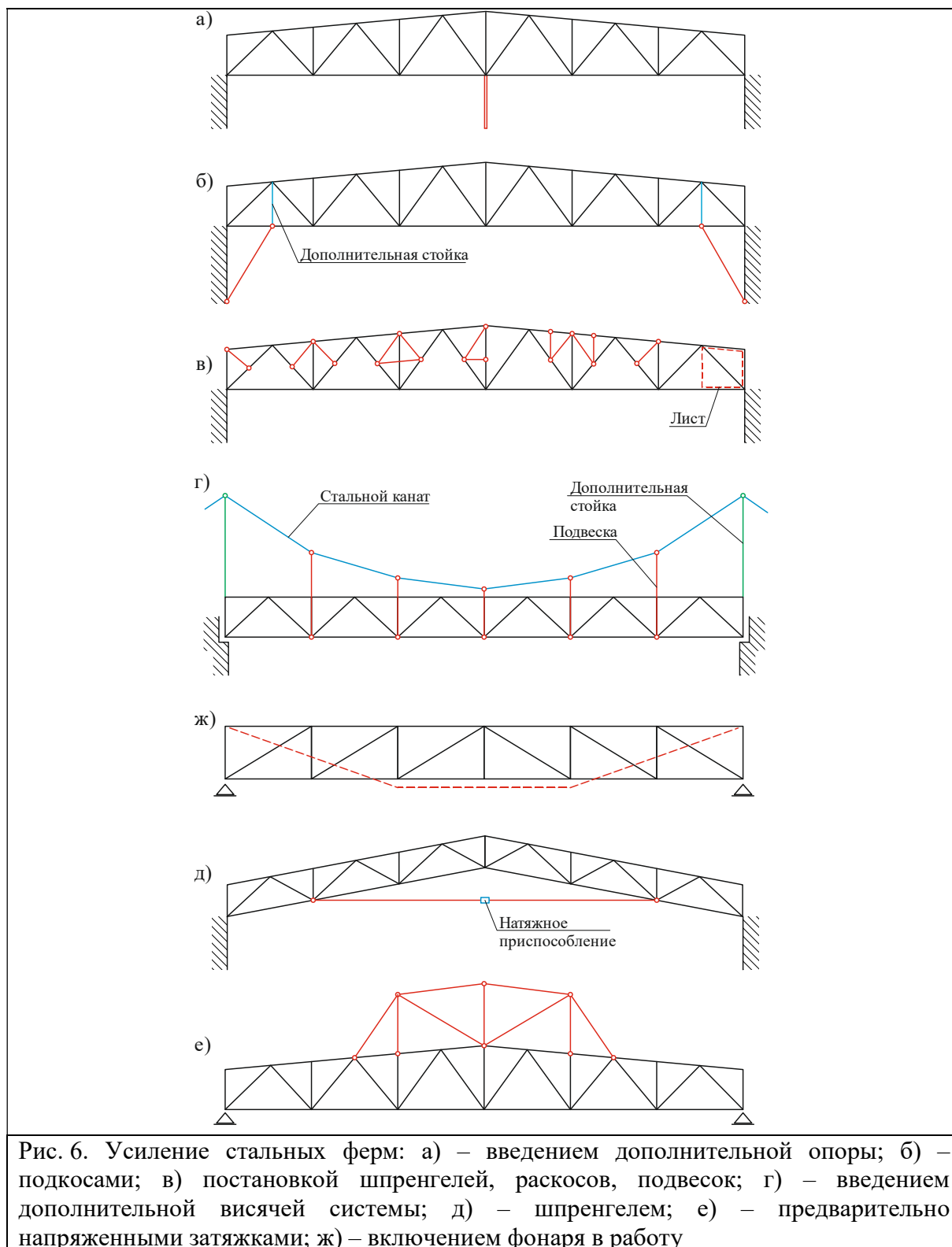
Усиление фермы подкосами (рис. 6, б), уменьшающими пролет и снижающими усилия в поясных стержнях, требует устройства дополнительных стоек под узлы опирания подкосов и наличия надежной опоры в нижней части усиливающего подкоса.

Применение шпренгелей, раскосов, подвесок (рис. 6, в) эффективно усиливает верхний пояс фермы и приводит к уменьшению расчетной длины стержней верхнего пояса [8]. При этом повышается их несущая способность, обеспечивается минимум напряжений в процессе производства сварочных работ.

В некоторых случаях целесообразно усиливать стропильную ферму подвешиванием ее к более высоким частям здания с помощью вант или кабелей (рис. 6, г).

При больших нагрузках ферму удобно усиливать при помощи предварительно напряженной затяжки (рис. 6, е).

На практике встречаются случаи подтягивания верхнего пояса стропильной фермы к несущим конструкциям фонаря (рис. 6, ж).



При усилении колонн изменением конструктивной схемы используются различные варианты. Для высоких однопролетных зданий с кровлей малой жесткости с целью увеличения эффекта пространственной работы применимо ужесточение связей по нижним поясам (рис. 7, а). Данный способ предпочтителен для зданий сравнительно небольшой длины (48-84 м) с жесткими торцами.

С целью уменьшения расчетной длины колонн из плоскости рамы устанавливаются дополнительные распорки (рис. 7, в), в плоскостях рамы – подкосы (рис. 7, б) [8]. Также допускается устройство подкрановых стоек, соединенных с усиливаемой колонной гибкими связями.

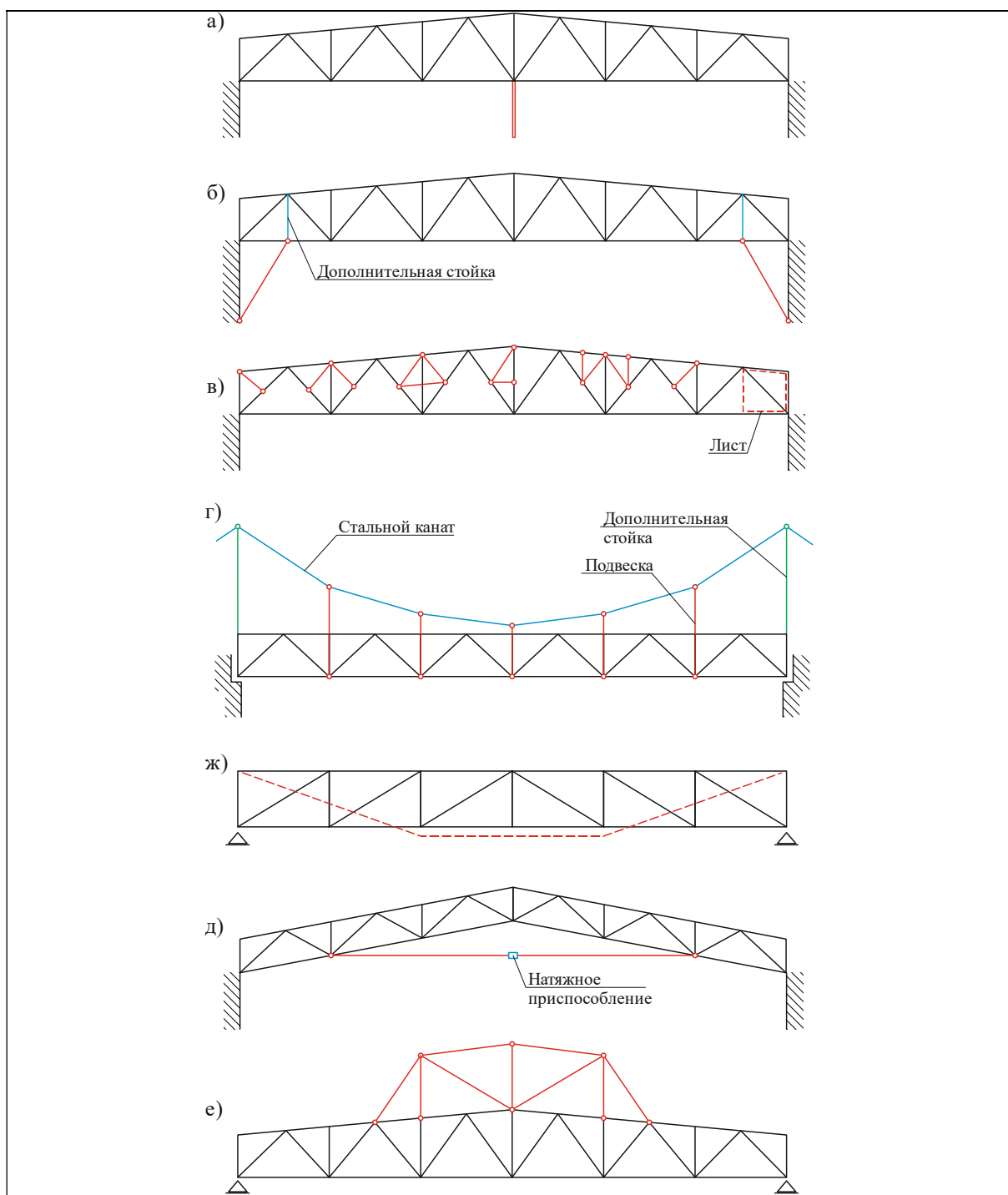


Рис. 7. Усиление стальных колонн: а) – с помощью дополнительных связей по покрытию; б) – подкосами; в) – установкой дополнительных распорок между колоннами

Усиление предварительным напряжением

Данный способ помогает перераспределить усилия в стержнях, т.е. разгрузить перегруженные элементы и нагрузить недогруженные. При этом нужно контролировать, чтобы конструкция не уменьшила свою деформативность – прогибы не должны превышать предельно допустимых величин [3].

Большой практический опыт применения метода усиления предварительным напряжением накоплен и в мостостроении, и в усилении промышленных и общественных зданий. Используется множество способов предварительного напряжения конструкций.

Рассматриваемый способ усиления требует специального оборудования, обязательного контроля усилий предварительного напряжения, наличия квалифицированного технического персонала. Конечно, это приводит к удорожанию работ, но все же экономический эффект применения данного метода достаточно ощутим, особенно применительно к пространственным и большепролетным конструкциям.

Двутавровые балки целесообразно усиливать путем установки шпренгельных затяжек (рис. 8) под нижние пояса балок.

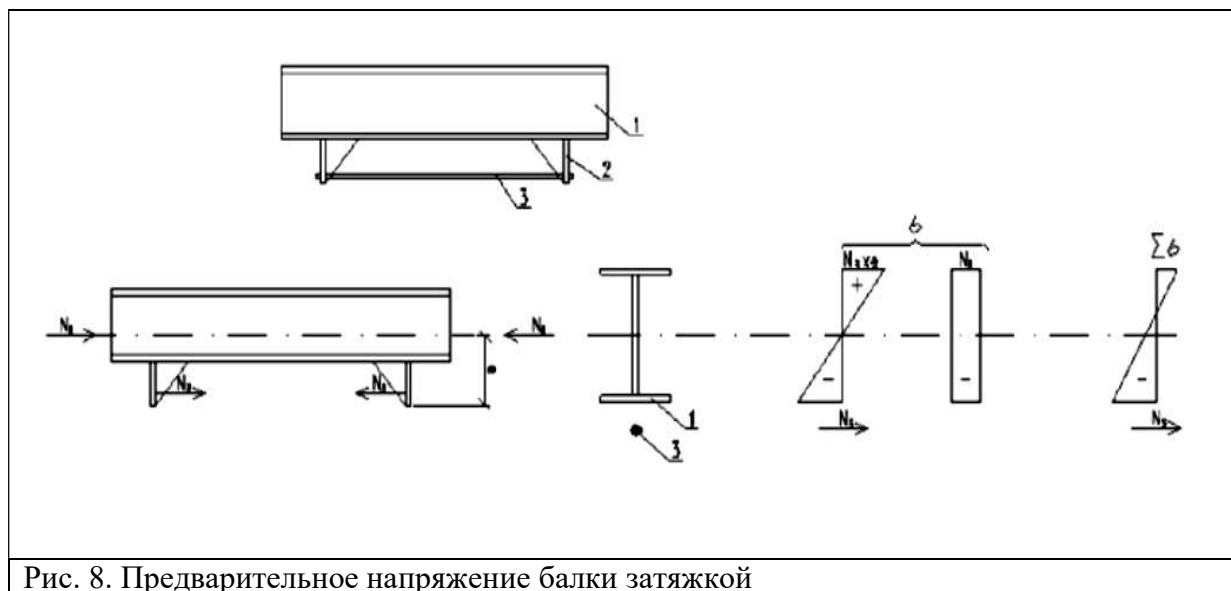


Рис. 8. Предварительное напряжение балки затяжкой

Заключение

Выбор метода усиления стальных конструкций зависит от конкретных условий: состояния усиливаемой конструкции, причин возникновения дефектов и повреждений, режима эксплуатации реконструируемого здания, стесненности при производстве работ и т.п. Данный вопрос решается в результате анализа и технико-экономического сравнения различных вариантов усиления.

Важным аспектом, оказывающим влияние на выбор метода усиления в условиях действующего предприятия, является обеспечение минимума остановки производства, так как потери вследствие уменьшения выпускаемой продукции в большинстве случаев значительно превышают затраты на строительные-монтажные работы по реконструкции.

При значительных объемах работ на выбор метода усиления может оказывать влияние расход стали на усиление, а также трудоёмкость монтажа и изготовления элементов конструкций.

Список литературы

1. Оценка технического состояния и усиление строительных конструкций при реконструкции зданий: учебное пособие / Ю. С. Пириев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 146с.

2. Дефекты и повреждения строительных конструкций: с прилож. на опт. диске: учеб. пособие / А. А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 361 с.
3. Усиление стальных конструкций [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. Н. Демидов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – Электрон. дан. и прогр. (7 Мб) – Москва: НИУ МГСУ, 2016. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. – Загл. с титул. экрана.
4. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23–81*) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ОАО «ЦПП», 2008.
5. Гроздов В. Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений. – СПб, 2005. – 114 с.
6. Псюк В. В., Голоднов А. И., Никишина И. А., Псюк М. Ю. Оценка технического состояния и расчет остаточного ресурса строительных конструкций // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического института (с 2020 года). Алчевск, 2015. С. 67-73.
7. Музыченко Л. Н., Буцук И. Н., Дудин А. А. Усиление элементов стальных конструкций при реконструкции зданий и сооружений // Инновационно-технологическое развитие науки: сборник статей Международной научно-практической конференции. (5 апреля 2017 г., г. Волгоград). – В 3 ч. Ч.2/ - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 92-98.
8. Колесников В.Д. Методы усиления металлических конструкций уменьшением расчетной длины сжатых элементов // Молодой ученый. Международный научный журнал. – № 21 (311) / 2020. С. 503-510.
9. Методические рекомендации по технологии усиления металлических конструкций на реконструируемых объектах // НИИСПГосстроя УССР – [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data1/56/56470/index.htm>
10. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81*. – [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588>

Overview of methods for strengthening steel

Krivonos E. A.

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, Kostukova st., 46*

The need to strengthen steel structures arises due to their physical wear, loss of bearing capacity, design errors, increased design loads, changes in operating conditions and many other reasons. The choice of the reinforcement method is based on the analysis and comparison of various reinforcement options, technical and economic indicators. There are three main methods of amplification-increasing the cross-sections, changing the design scheme, pre-voltage. Initially, a survey of the building and its structural elements is carried out, the presence of defects and damage is detected, technical documentation is studied, current and planned impacts and loads are determined, chemical analysis of samples is performed, the necessary calculations are performed. Reinforcement of steel beams, columns, trusses can be performed under load and in the unloaded state; this factor depends on the specific operating conditions of the structure and its individual characteristics. Strengthening by increasing the cross-section is carried out by attaching new elements to the used element, increasing the area of the existing element. Strengthening by changing the design scheme allows you to reduce the forces in the structural elements, increase its rigidity. Pre-voltage reinforcement helps to load underloaded elements and unload overloaded ones. Welds are reinforced by increasing their length and thickness; rivet and bolt-by adding additional bolts and rivets.

Keywords: reconstruction, reinforcement, truss, beam, column, reinforcement of beams, welded joints, bolted joints, steel structures, reinforcement of columns, reinforcement of trusses, reinforcement of steel structures, reinforcement by increasing the cross-section, reinforcement by changing the structural scheme, reinforcement by changing the design scheme, reinforcement by prestressing.