

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации
строительства

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Строительство, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Особенности реконструкции сооружений из металлического каркаса
на примере однопролётного производственного здания

Обучающийся

В.Е. Базаров

(Инициалы Фамилия)



(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. наук, доцент, И.К. Родионов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Анализ сведений о металлических фермах и их усилении.....	6
1.1 Общие сведения о металлических конструкциях.....	6
1.2 Общие сведения о фермах.....	7
1.3 Повреждения стальных строительных конструкций.....	26
1.4 Усиление металлических ферм производственных зданий при реконструкции	30
1.5 Усиление металлических балок, ферм и прогонов	33
1.6 Основные требования при работе по усилению металлических конструкций	39
Глава 2. Разработка проекта усиления фермы здания.....	42
2.1 Описание объёмно-планировочных данных здания	42
2.2 Конструктивное решение здания	44
2.3 Поверочный расчёт существующей фермы	46
2.4.1 Расчет фермы с учетом реконструкции.....	51
2.4.2 Узловые нагрузки от кран-балки.....	52
2.4.3 Расчетные усилия в стержнях реконструируемой фермы	54
2.4.4 Проверка несущей способности стержней фермы с учетом нагрузки от кран-балки	55
2.5 Подбор элементов усиления фермы	58
Глава 3. Экономический расчет реконструкции здания при усилении.....	62
3.1 Подбор экономически эффективного метода усиления	62
3.2 Экологическая значимость применяемого метода реконструкции .	70
Список используемой литературы	75

Введение

Российская экономика продолжает свое развитие, и её подъем будет зависеть от того, как будут модернизироваться и реконструироваться предприятия промышленности. Существует несколько способов замены устаревшего оборудования. Это может быть замена на более современные технологии, а также выполнение ряда действий, которые уменьшат затраты на производство продукции и будут способствовать ее более качественному производству без увеличения производственных площадей и с меньшими затратами по сравнению с новым строительством.

Эти задачи требуют использования различных строительных материалов, включая металлические. Металлические конструкции широко применяются в строительстве благодаря своей прочности, долговечности и возможности адаптации к различным условиям эксплуатации. Однако со временем даже самые прочные материалы могут подвергаться износу. Поэтому важно регулярно проводить оценку состояния металлических конструкций и при необходимости осуществлять их ремонт или замену.

Модернизация и реконструкция промышленных предприятий требуют тщательного планирования и анализа. Необходимо определить, какие именно изменения необходимы для повышения эффективности производства, а также оценить затраты на эти мероприятия. Только после этого можно приступить к реализации проекта модернизации или реконструкции.

Актуальность работы:

Наиболее перспективным направлением развития промышленности в обозримом будущем будет являться модернизация производственных процессов, замена и усовершенствование оборудования, а также техническое перевооружение промышленных объектов. Данная мера позволит предприятиям выпускать большее количество инновационных продуктов без увеличения объема строительства, что будет значительно дешевле по сравнению с возведением новых зданий и сооружений. Данные факторы

оказывают влияние на эксплуатацию промышленных зданий и сооружений, в том числе с использованием металлического каркаса. В их число входят большое количество деталей из металла, которые имеют свойство подвергаться физическому и структурному износу. Исходя из этого, следует ожидать необходимости в усилении конструкции и увеличении количества стальных ферм, которые были изготовлены из уголкового проката и листовой стали.

Существует одно важное преимущество, которое заключается в увеличении несущей способности ферм за счет усиления. Это позволяет не добавлять большое количество дополнительных компонентов к основной конструкции.

Цель работы заключается в разработке проекта усиления ферм складского здания при его реконструкции и использования этого здания как производственного с последующим применением подъемно-транспортного оборудования с минимальными затратами на его реконструкцию.

Для достижения цели магистерской диссертации были поставлены следующие задачи:

1. Изучить и проанализировать методы усиления металлических ферм;
2. Выполнить сбор нагрузок в соответствии с действующими нормами;
3. Определить несущую способность фермы конкретного производственного здания и сделать вывод о необходимости ее усиления;
4. Определить применяемый метод усиления фермы складского здания;
5. Проверить несущую способность усиленной фермы;
6. Провести экономическое сравнение полученных вариантов усиления.

Объект исследования магистерской диссертации:

– Реконструируемое складское здание для хранения малогабаритных элементов.

Предмет исследования – усиление фермы складского здания для изменения его функционального назначения.

Научная новизна исследования заключается в выявлении наиболее предпочтительного метода усиления металлоконструкции.

Апробация работы осуществлялась на протяжении выполнения всей магистерской диссертации. Результаты работы были доложены на следующих научно-практических конференциях:

– «Всероссийская студенческая научно-практическая междисциплинарная конференция.»;

А также опубликованы научные статьи по данной тематике.

– Родионов И.К., Базаров В.Е. Усиление металлических ферм производственных зданий при реконструкции / И.К. Родионов, В.Е. Базаров // «Молодежь. Наука. Общество» – 2023 г.

Структура магистерской диссертации.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения с основными выводами, содержит 32 рисунка, 10 таблиц, списка использованных источников (33 источник). Основной текст изложен на 73 страницах

Глава 1. Анализ сведений о металлических фермах и их усилении

1.1 Общие сведения о металлических конструкциях

Металлические конструкции, как правило, проектируются на основе СНиП II-23-81 (в настоящее время он актуализирован и является СП 16.13330.2017 "СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ").

«Материалы, которые используются в строительстве, могут быть углеродистыми и легированными (с добавками марганца, хрома, никеля). Согласно физико-химическим характеристикам, выделяют 3 основные группы сталей. Для создания строительных металлоконструкций используется группа В с гарантированными физико-химическими свойствами и химическим составом. В этом случае применяется маркировка. Как пример можно привести группу стали Вст3сп (В – группа, Ст3 – класс стали по ее механическим свойствам, сп – спокойный способ разлива).» [23]

«В соответствии с уровнем ответственности стальные конструкции разделяются на четыре группы:

- сварные конструкции, которые могут быть подвержены динамическим, вибрационным и подвижным нагрузкам (подъёмные краны);
- сварные конструкции, которые работают в условиях статической нагрузки (фермы, балки перекрытий и покрытия).
- сварные конструкции, которые работают в условиях статической нагрузки (опорное сооружение, колонны и т.д.).

4-я группа включает в себя вспомогательные конструкции (связи, элементы фахверка, лестницы).

В зависимости от степени ответственности, производится выбор конкретных марок стали.

В целях конструирования металлоконструкций применяется определенный сорт проката.

Существует множество вариаций профиля для различных целей

(квадратный, прямоугольный, угловой, тавровый, двутавровый, швеллерный, листовой и трубчатый).

К ним относятся гофрированные профили настилов, профили для оконных и фонарных переплетов, крановые рельсы.

В качестве положительных сторон стальных конструкций можно отметить следующие качества:

- Малый вес по сравнению с железобетонными конструкциями;
- Промышленность (применяется прокат, произведенный в промышленных масштабах);
- Высокая степень технологичности (соединение прокатного проката с помощью сварки).
- Возможность дополнительного усиления.

Основными недостатками стальных конструкций являются:

- Неустойчивость к коррозии.
- Уменьшение несущей способности при повышении и понижении температуры.
- Стоимость очень высокая.

Стальные конструкции следует использовать для высоких и большепролетных зданий, в сейсмических и труднодоступных районах.» [3]

1.2 Общие сведения о фермах

Металлическая ферма состоит из нескольких стержней с различным сечением, которые скреплены между собой при помощи специальных креплений. Они соединяются с помощью сварки, иногда – посредством гайки, болта или заклепки. К примеру, когда нужно получить максимально широкое здание с отсутствием опорных колонн, фермы могут обеспечить жесткую кровлю. Конструкции могут быть разных видов, иметь свои достоинства и недостатки, которые будут рассмотрены далее.

Классификация ферм, которые изготавливаются из металла.

Фермы из металла используются в строительстве торговых комплексов, производственных зданий, мостов, жилых зданий и складов. Также они используются для установки рекламных щитов, автозаправок, временных зданий (павильонов и т.д.). В зависимости от того, какие именно категории входят в перечень, можно выделить несколько разновидностей металлических ферм.

- По типу конструкции (пространственные, плоские);
- По тяжести (тяжелые, тяжелые).
- С учетом особенностей конструкции (мостовые, подстропильные, башенные, крановые);
- Виды поясов: параллельные, полигональные, треугольные, ломанные и ломаные.
- По способу установки (арочные, балки-консольные, консольные, балочные).
- По завершении процесса соединения отдельных частей (сварные, клепаные, болтовые).
- По форме (двускатные, односкатные и прямоугольные) и по размеру (арочные).

В конструкции фермы присутствуют верхний и нижний пояса, раскосы, стойки и узловые панели. Для того чтобы соединить стойки, используется верхний пояс. Он представляет собой балку, на которую крепятся углы для создания дополнительной опоры. Благодаря продольной балке, нижний пояс может удерживать на себе соединительные и раскосные устройства. Данные откосы имеют наклонный вид, они соединяют панели внизу и наверху. Крепятся они к системе с помощью угла в 45 градусов и имеют две функции: растяжения и сжатия. Вертикальные стойки, благодаря своей функции распределения нагрузки по ферме, также выполняют функцию сжатия. Узлы, которые обеспечивают соединение стоек и раскосов, могут быть изготовлены в виде болтов или с применением сварных соединений.

Разновидности ферм и их области применения.

Ферма – это элемент каркаса зданий, главная задача которого заключается в возможности опирания на него элементов покрытия. Конструктивно ферма состоит из жесткой системы стержней, воспринимающих и выдерживающих соответствующие усилия. Одинаковость геометрии узлов фермы обеспечивает всей конструкции жесткость. При нагрузке на узлы фермы, жесткость её стержней существенно не оказывает влияния на работу конструкции, что даёт представление о ферме как о системе шарниров.

Элементами фермы являются верхний и нижний пояса, стойки фермы и раскосы. Конструкция фермы устроена так, что нагрузки на элементы фермы являются преимущественно осевыми, и таким образом работают либо на растяжение, либо на сжатие. Фермы являются более экономичными по расходу стали, за счёт более эффективного использования материалов, что выгодно выделяет её на фоне сплошных балок. Но фермы уступают сплошным балкам во времени изготовления. Также фермы более эффективно себя проявляют на небольших пролётах при малой нагрузке, в то время как со сплошными балками ситуация является противоположной.

В зависимости от конструктивных требований, определяемыми рассчитанными нагрузками, фермы разделяются на плоские и пространственные.

Работа плоских ферм происходит только в их вертикальной плоскости и не может распространяться на горизонтальные направления. Крепление таких ферм также делается в их плоскости на крайних опорах при использовании высокопрочных болтов или сварки.

Пространственные фермы представляют собой систему из двух и более плоских ферм, соединённых между собой горизонтальными и вертикальными связями. Таким образом, вертикальные нагрузки воспринимают на себя плоские фермы, а горизонтальные нагрузки – связи.

На рисунке 1 представлены конструктивные схемы плоских и

пространственных ферм.

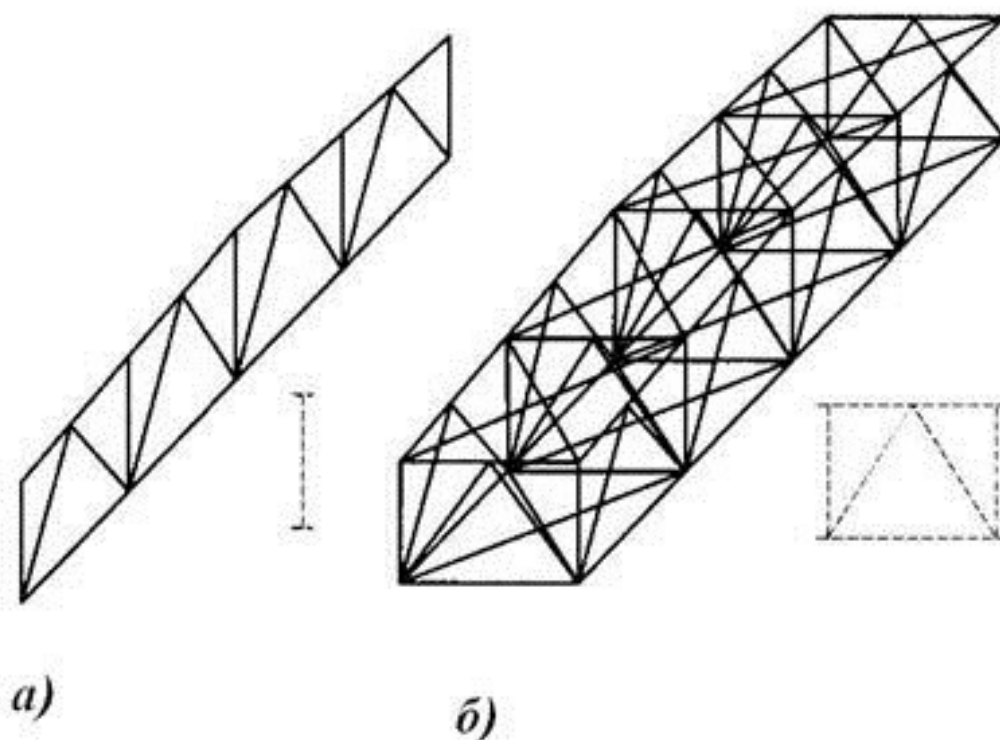


Рисунок 1 плоская (а) и пространственная (б) фермы

Как было сказано выше, конструкцию фермы можно разделить на две основные составляющие – пояса и решётку, состоящую из стоек и раскосов.

Схема с обозначением элементов фермы показаны на рисунке 2.

Отрезок пояса, располагающийся между соседними узлами, называется панелью (d_v – по верхнему поясу; d_n - по нижнему поясу). Расстояния между осями опорных стоек является пролётом фермы (L)

Верхние и нижние пояса задают контур фермы и выдерживают наибольшие по величине усилия, за счёт чего, как правило, площадь сечения их профилей является большей в сравнении с элементами решётки. Стойки и раскосы фермы служат для перераспределения нагрузки от собственного веса и покрытия, уменьшая усилия в поясах и образуя сбалансированную систему.

На рисунке 3 показаны узлы соединения элементов фермы в зависимости выбранных профилей стержней.

Как можно понять из схемы на рисунке 3, элементы фермы соединяются так, чтобы их центры тяжести приходили в одну точку на плоскости фермы. Такое решение позволяет избежать возникновения узлового момента.

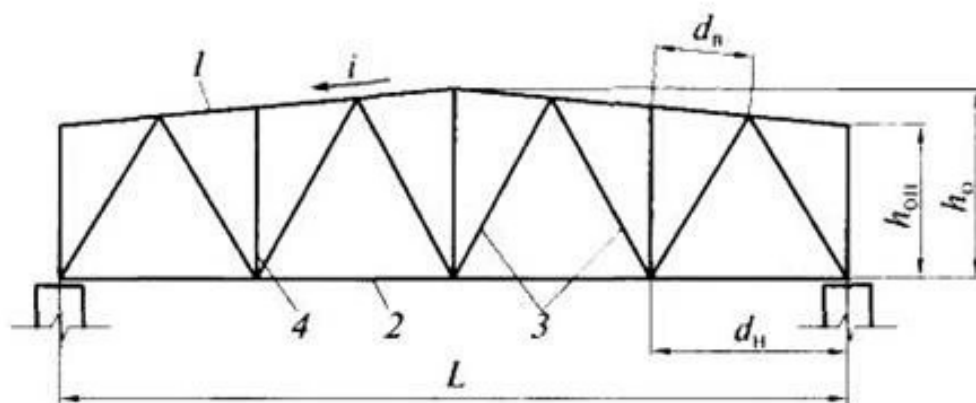


Рисунок 2 элементы фермы: 1 — верхний пояс; 2 — нижний пояс; 3- раскосы; 4 — стойка

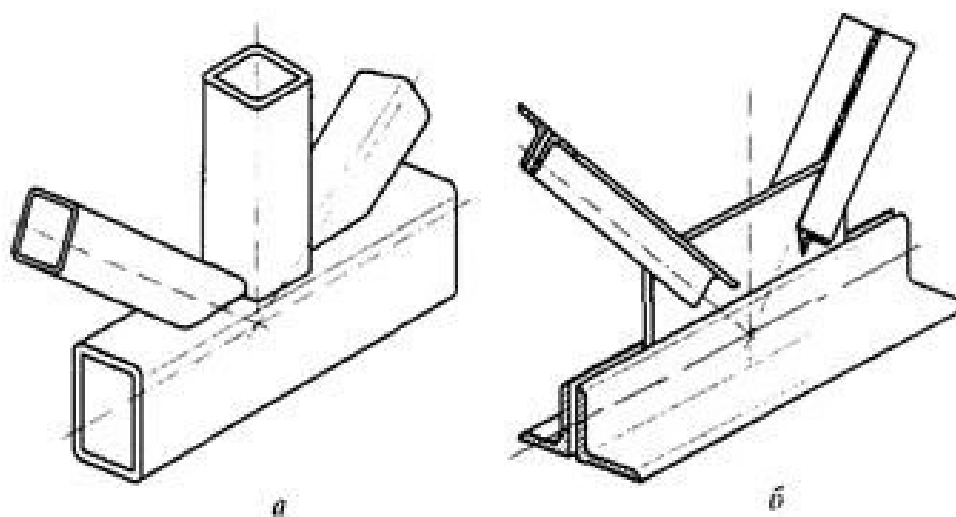


Рисунок 3 узлы фермы: а — с непосредственным примыканием элементов; б — на фасонках

«В основе работы поясов фермы лежат продольные и изгибающие моменты, которые используются для создания поперечных усилий. Решетка

ферм принимает на себя в основном поперечную силу, которая используется для создания поперечной стенки.»[2]

«Если провести аналогию между элементами решетки и балками, можно определить значение усилий в элементах. Например, если рассматривать фермы с параллельными поясами, то можно сказать, что «минус» означает сжатие, а «плюс» — растяжение.»[13]

На рисунке 4 показана схема, на которой показаны траектории главных напряжений в балке. Согласно данной схеме, основные растягивающие напряжения работают на сжатие из середины пролёта. В свою очередь сжимающие напряжённые элементы, возвращающиеся к середине пролёта, работают на растяжение.

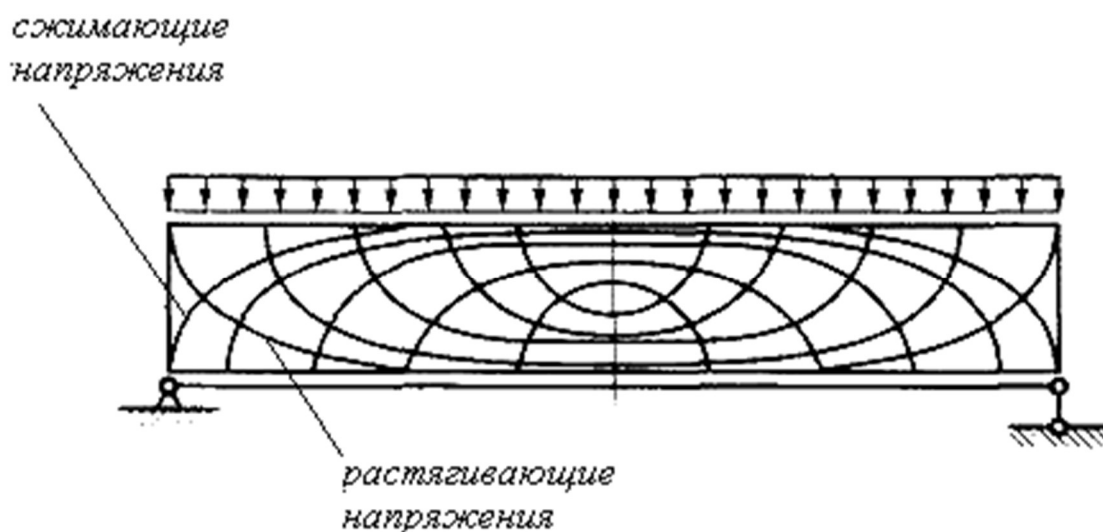


Рисунок 4 траектории главных напряжений в балке

«Применение в строительстве ферм из стали нашло широкое применение во многих сферах: это и покрытия для промышленных зданий и сооружений, мосты с опорами линий электропередач, опоры для передачи данных на большие расстояния (башни, мачты), объекты связи, телевидения и радиовещания (станции, мачты) и т.д.»[2]

«По степени нагрузки и предназначения фермы имеют различные конструктивные формы, которые могут различаться между собой.

— (рисунок 5) - в зависимости от способа соединения элементов по статической схеме: балочные, разрезные и неразрезные, консольные, арочные, рамные, комбинированные.

— по форме поясов - фермы с параллельными, трапециевидными, треугольными, полигональными, сегментными (рисунок 6).

— в зависимости от формы решетки: прямоугольная, ромбическая и т.д. (рисунок 7).

— В зависимости от способа соединения элементов, которые используются в узлах: сварные, клепаные, болтовые.

— по уровню максимального усилия - легкие (с сечениями, состоящими из простых прокатных профилей, при условии, что $N \leq 300$ кН) и тяжелые (с элементами составного сечения, имеющими значение $N > 3000$ кН).»[1]

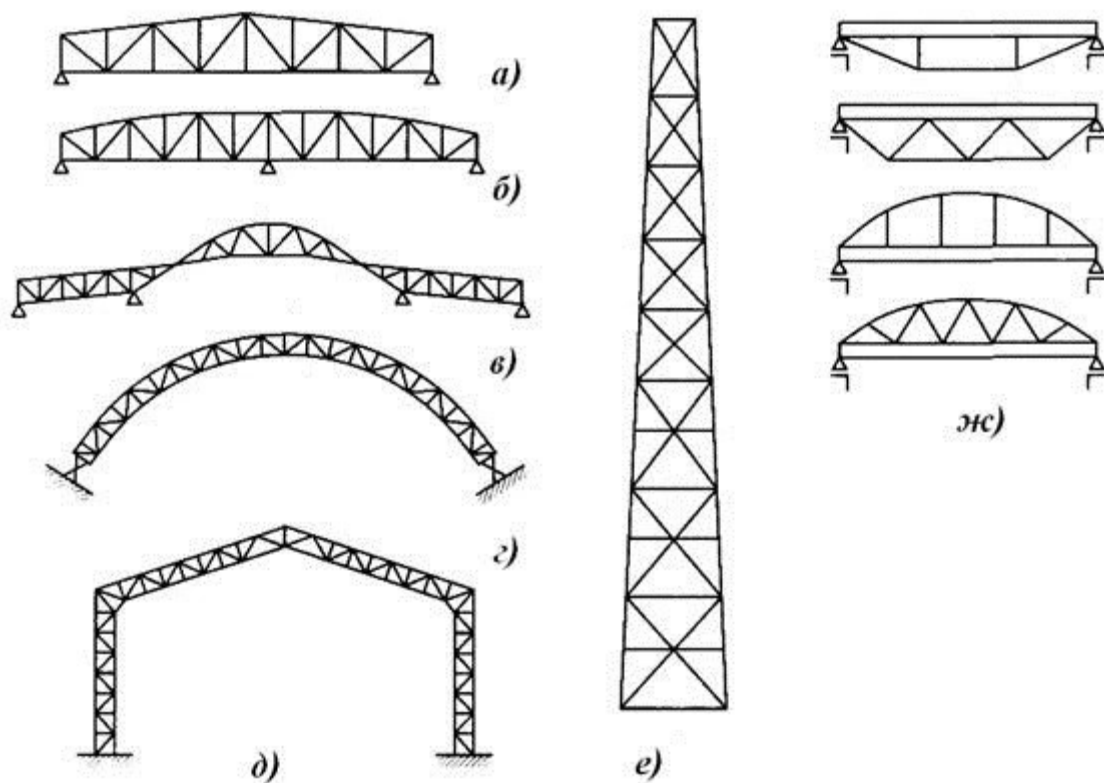


Рисунок 5 Системы ферм:

а — балочная разрезная; б — неразрезная; в, е — консольная;
 г — арочная; д — рамная; ж — комбинированная

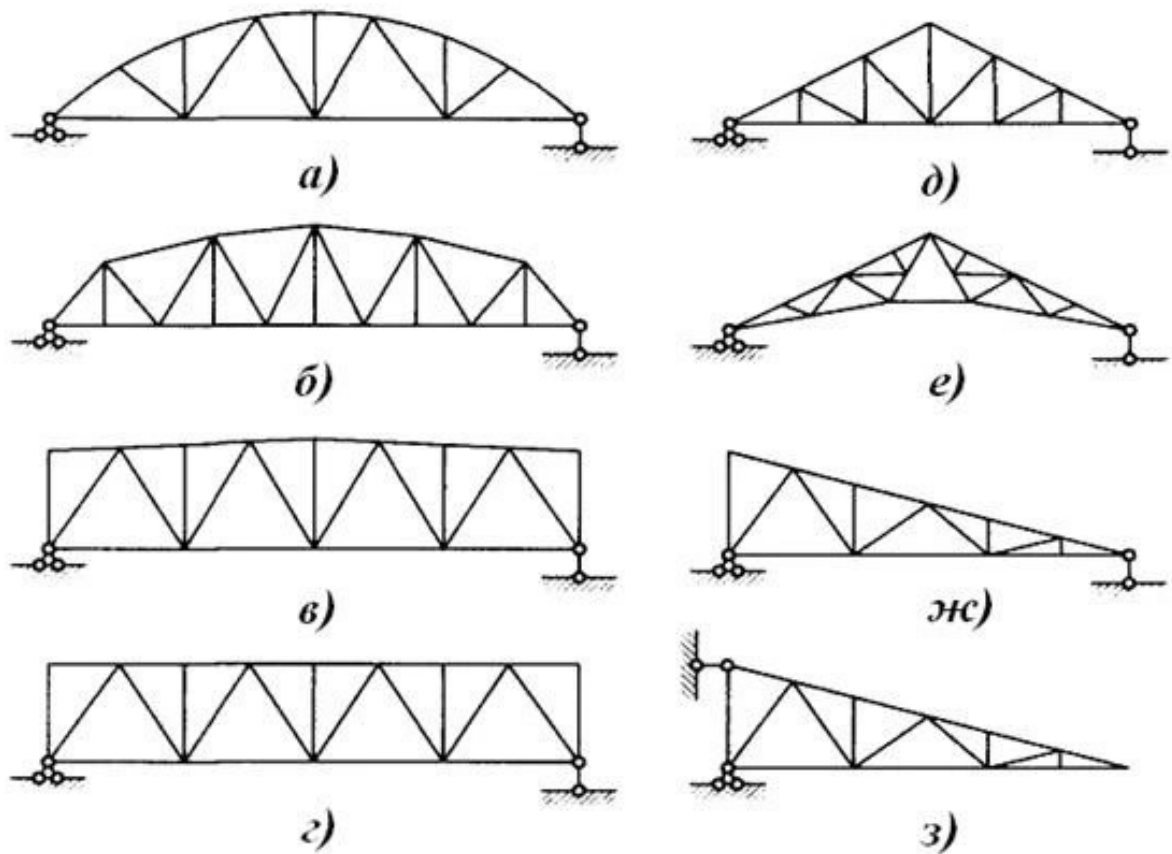


Рисунок 6 Очертания поясов ферм:

а — сегментное; б — полигональное; в — трапецидальное;
 г — с параллельными поясами; д-з — треугольное

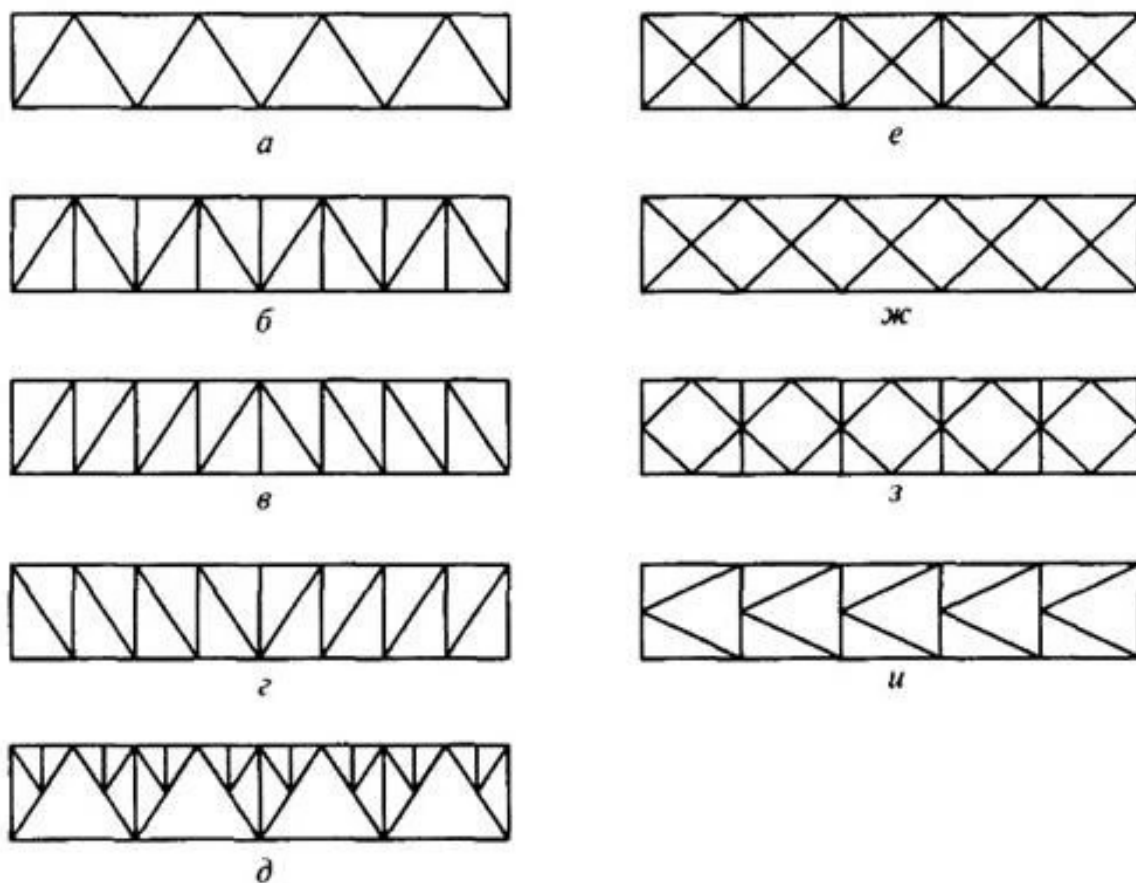


Рисунок 7 Системы решетки ферм:

а — треугольная; б — треугольная с дополнительными стойками; в — раскосная с восходящим раскосом; г — раскосная с нисходящим раскосом; д — шпренгельная; е — крестовая; ж —перекрестная; з — ромбическая; и — полураскосная

«Комбинированные системы, которые являются промежуточными между фермой и сплошной балкой, включают в себя балку, которая подкрепляется снизу шпренгелем или раскосом, а сверху аркой. Эти элементы, которые являются вспомогательными, способствуют уменьшению изгибающего момента в балке и при этом повышают прочность системы. При создании комбинированных систем важно учитывать, что их элементы имеют наименьшую стоимость и могут быть использованы в тяжелых конструкциях.

Также они являются рациональными при использовании в конструкции с подвижными нагрузками.

Предварительное напряжение может повысить эффективность ферм и комбинированных систем.

С целью уменьшения массы конструкции, которая может принести большой экономический эффект, в фермах крановых конструкций и покрытиях больших пролетов, возможно использование алюминиевых сплавов.» [25]

Основные характеристики систем решетки ферм.

Устройство фермы состоит из решетки, которая работает на поперечную силу и выполняет роль стенки сплошной балки.

«В зависимости от системы решетки, будут зависеть такие характеристики фермы, как ее масса, трудоемкость изготовления и внешний вид. Для того чтобы избежать местного изгиба пояса, нагрузки передаются на ферму в узлах и должны быть идентичны с системой приложения нагрузок.»[1]

В зависимости от контура фермы, будет зависеть то, какая решётка ей больше подойдет. Так, например, при трапециевидном или прямоугольном контуре фермы, большую эффективность имеет решётка, выполненная в треугольном исполнении. Такое решение позволяет: укоротить суммарную длину стержней решётки, минимизировать количество узлов, а также обеспечить минимальный по расстоянию путь передачи от узла, где возникает нагрузка, до опоры фермы.

Изменение плотности размещения элементов решётки фермы зависит от конструктивных требований, определяемых рассчитанными нагрузками. Например, при малом шаге прогона покрытия (рис. 1.6 е), можно сделать дополнительные раскосы, стойки и подвески, что позволит увеличить плотность расположения узлов. Также, при помощи установки дополнительных стоек можно значительно сократить расчетную длину сжатого пояса фермы.

При монтаже дополнительных подвесок можно ограничиться небольшим расходом стали, так как они воспринимают только местную нагрузку и не передают её на опору.

«Существует возможность использования системы решетки с треугольным сечением в фермах треугольного очертания.

Сжатые длинные раскосы, которые имеют место в треугольной системе решетки, являются общим недостатком. Они присутствуют как в фермах с параллельными поясами, так и в треугольных фермах.»[6]

«В то время как треугольная решетка является более трудоемкой и требует больше расхода материала, раскосная имеет большее количество узлов в конструкции. Это обусловлено тем, что при равном количестве панелей в ферме общая длина решетки больше и она содержит больше узлов. Длина пути силы от узла, к которому приложена нагрузка, до опоры в раскосной решетке больше; он проходит через все стержни и узлы, которые участвуют в формировании решетки.

Если высота ферм составляет более 4-5 метров, а угол наклона раскосов равен 35-45°, панели могут быть слишком большими и не соответствовать требованиям для размещения кровельных прогонов и других элементов. В случае небольшого давления на пояс, можно попробовать сделать местный изгиб пояса. Для этого нужно расположить прогоны так, чтобы они находились между узлами, а не в непосредственной близости от них.»[25]

При больших нагрузках наиболее рациональным является решение с применением шпренгельной решётки (рисунок 7, д), которая позволяет сократить шаг расстановки прогонов и сохранить при этом угол наклона верхних поясов фермы. Установка шпренгельной решётки является более металлоемкой, но даёт существенные преимущества, такие как:

- сохранение нормального угла наклона раскосов;
- уменьшение высоты панелей покрытия за счёт увеличения числа прогонных балок;
- существенное уменьшение длины сжатых стоек.

Пример фермы со шпренгельными решётками представлен на рисунке 1.6. Как видно на рисунке – ферма имеет треугольную форму с углом наклона верхних поясов 45 градусов, при относительно небольшой длине пролёта ($l = 20 \dots 24$ м). Для удобства доставки на стройплощадку такая ферма скорее всего будет разделена на две части и будет соединена при монтаже высокопрочными болтами или сваркой. Стойки такой фермы имеют относительно небольшую длину, что упрощает процесс изготовления узлов.

«Обычно в фермах, работающих с двух сторон на нагрузку (рисунок 7 е), устанавливается крестовая решетка. В их число входят: горизонтальные связующие фермы, которые используются для покрытия промышленных зданий, мостов и других конструкций, а также вертикальные фермы высоких зданий, различных мачт и башен. Нередки случаи, когда крестовая решетка изготавливается из гибких элементов, например, $\lambda=220$. Данная ситуация характеризуется тем, что под влиянием нагрузки работают только те раскосы, которые имеют большую гибкость. В то же время, сжатые раскосы из-за своей большой устойчивости выключаются из работы и не входят в расчетную схему.»[5]

«Условия для создания стропильных ферм с поясами из тавров и перекрестной решеткой из одиночных уголков были разработаны в связи с выпуском промышленных широкополочных тавров с параллельными гранями полок. Такие фермы обладают рядом преимуществ, которые позволяют им быть более экономичными по расходу металла и стоимости в сравнении с фермами, которые имеют стержни из парных уголков.»[2]

Фермы, запроектированные на восприятие больших нагрузок от поперечных усилий, должны быть разработаны регения, уменьшающие длину стержней, например увеличением количества узлов. Данные решения широко распространены в конструкциях мостов, вышек, мачт, металлических башен. Решением является устройство полураскосной или ромбической решётки (рисунок 7з), которые повышают жесткость и устойчивость фермы.

Обеспечение устойчивости ферм.

Из-за того, что ферма имеет свою плоскость, она имеет свойство быть неустойчивой. При присоединении фермы к какой-либо конструкции или соединении ферм с другими фермами можно придать ей устойчивость, что приводит к формированию пространственного устойчивого бруса на рисунке 8 а. С целью обеспечения устойчивости блока необходимо, чтобы его геометрические размеры не менялись.

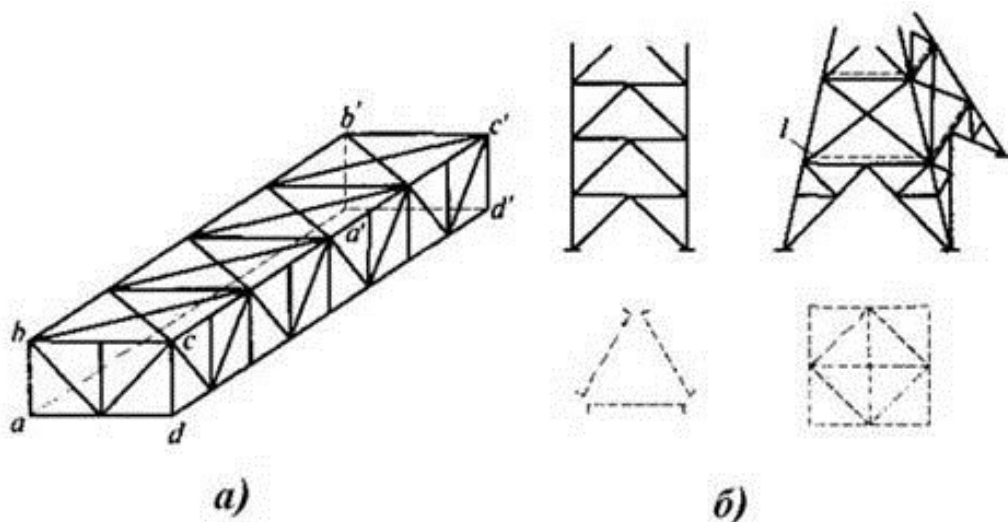


Рисунок 8 завязка ферм в пространственные системы:

а — стропильные фермы; б — башни; I – диафрагма

«Решение в покрытиях зданий становится более сложным из-за того, что большое количество расположенных рядом плоских ферм для стропил является неотъемлемой частью системы. Они не являются неизменной системой и потому имеют свободную длину из своей плоскости, равную пролету, что может привести к их неустойчивости (рисунок 9 а)»[4]

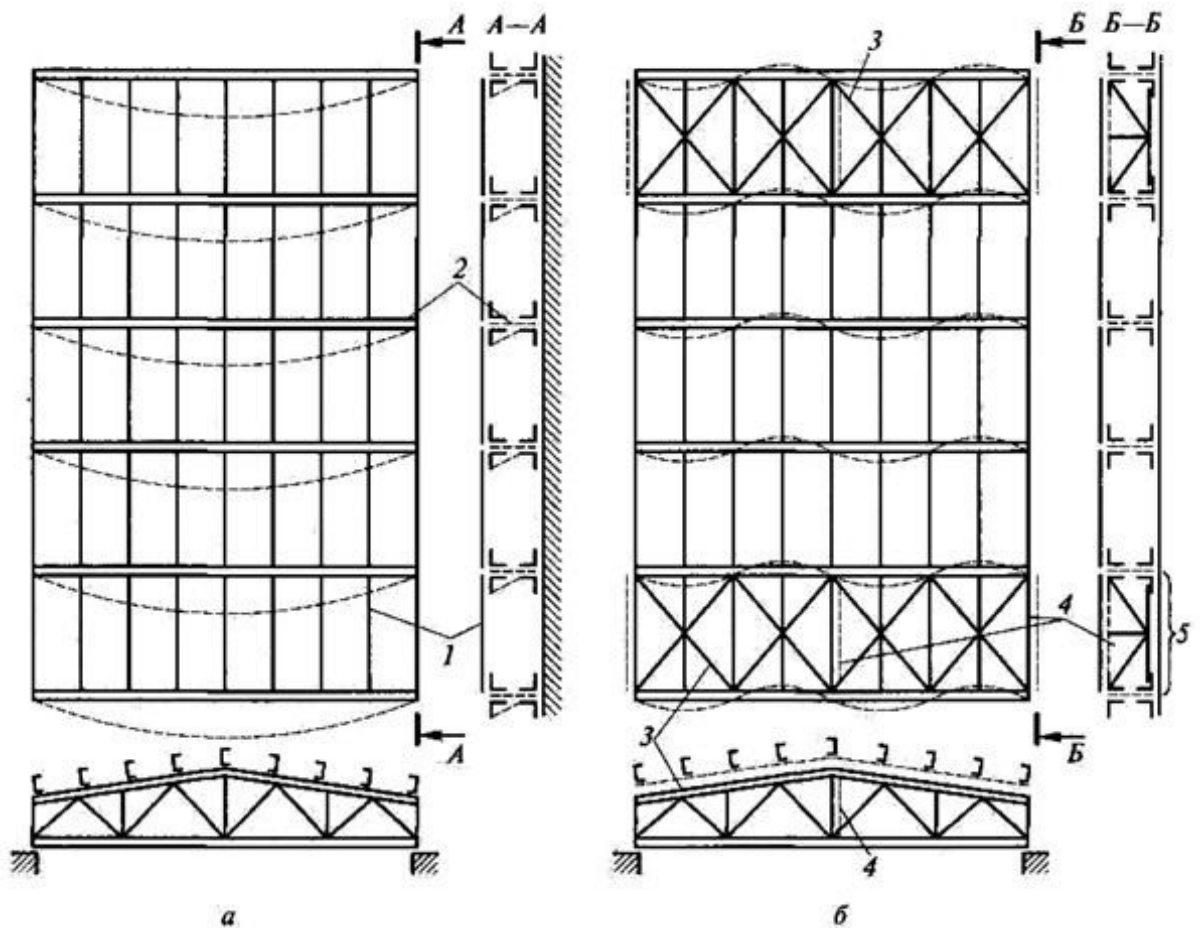


Рисунок 9 связи, обеспечивающие устойчивость стропильных ферм:
 а — при отсутствии связей; б — при наличии связей; 1 — прогоны; 2 —
 фермы; 3 — горизонтальные связи; 4 — вертикальные связи; 5 —
 пространственный блок

«Блоки, которые имеют устойчивость, создаются в конструкции покрытия из двух соседних ферм, которые скрепляются посредством связей в плоскости верхнего и нижнего пояса и вертикальных поперечных связей. На эти жесткие блоки крепятся остальные фермы, которые имеют горизонтальные элементы, которые препятствуют вертикальному перемещению поясов ферм и обеспечивают их устойчивость (прогоны и распорки, которые находятся в узлах ферм). Прогон, в свою очередь, должен быть прикреплен к неподвижной точке — узлу горизонтальных связей, чтобы он мог удерживать узел фермы.»[22]

«Прогон может быть прикреплен к диагоналям связей, если он не находится в месте их пересечения. В этом случае расстояние между закрепленными на вертикальной плоскости точками верхнего пояса фермы равно двум панелям (рисунок 10 б). При выборе сечения верхнего пояса ферм, следует учитывать это условие.»[4]

При принятии решения отказаться от использования балок прогонов, панели покрытия укладываются на верхние пояса ферм и крепятся к ним с помощью болтов или сварки.

Стержни легких ферм

Наиболее распространенные типы сечений элементов легких ферм показаны на рисунке 10.

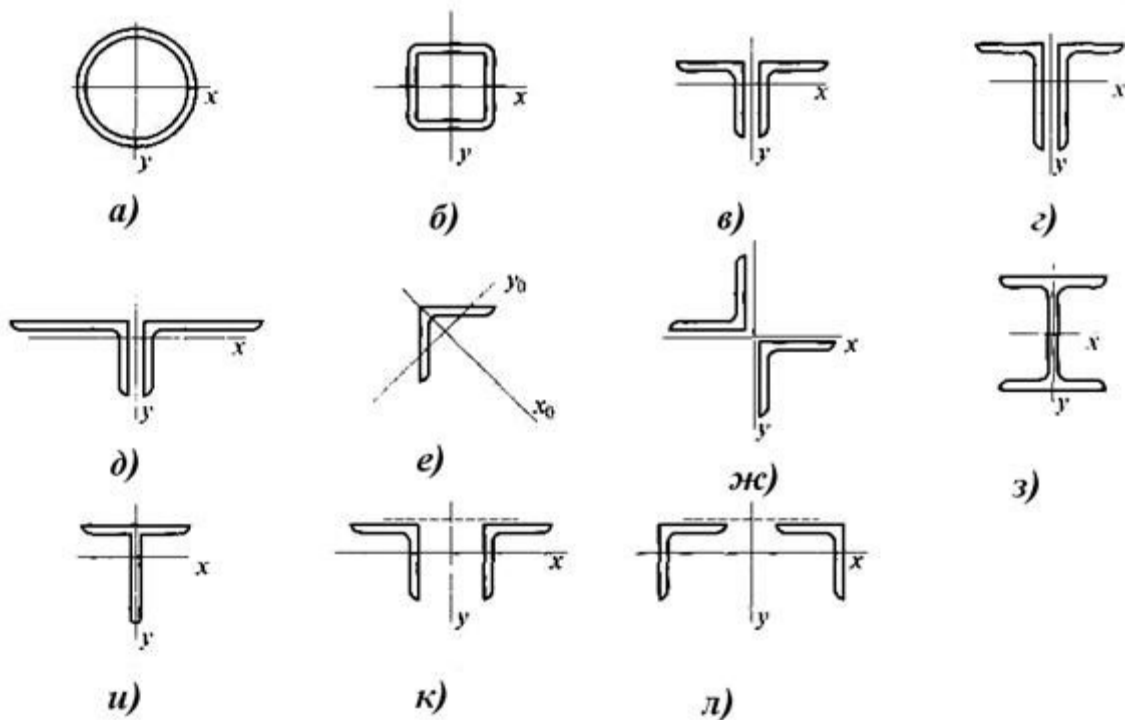


Рисунок 10 типы сечений стержней легких ферм:

а и б — трубчатые; в, г, д, е, ж, к и л — с использованием прокатных уголков; з — двутавровое; и — тавровое

При наличии сжатых стержней в фермах, следует принимать конструкцию, выполненную из труб квадратного или прямоугольного профиля (рисунок 11 а). Такое решение обосновано следующим рядом существенных преимуществ:

- более эффективное распределение площади поперечного сечения относительно центра тяжести;
- более низкий радиус инерции в сравнении со стержнями из спаренных уголков;
- возможность применения одного и того же сечения во всех направлениях;
- более низкая гибкость стержней;
- суммарная экономия стали до 25%.

Также фермы, выполненные из профилированных труб, за счёт своей обтекаемой формы, имеют ряд эксплуатационных преимуществ, такие как:

- более продуктивная аэродинамика конструкций, позволяющая существенно снизить влияние ветра на конструкцию, и позволяющая таким образом применять трубы при возведении высоких конструкций (башен, мачт и т.д.);
- повышенная коррозионная стойкость за счёт отсутствия вогнутых плоскостей, в которых может скапливаться вода;
- простота ухода за конструкциями;
- простота в обработке декоративными покрытиями.

Все вышеперечисленные преимущества работают главным образом на повышение долговечности и увеличению срока эксплуатации.

Для избегания ситуаций внутренней коррозии труб, созданных путём попадания воды в их внутренние полости, их следует герметизировать. Осуществляется это путём приваривания к концам трубы прямоугольных заглушек из пластин листового проката (небольшой толщины, 4 мм).

Ещё одним главным преимуществом ферм, выполненных из гнutoзамкнутых труб, является упрощение в устройстве узлов фермы, так как стойки и раскосы приходят в одну точку, и, таким образом обвариваются такие стержни преимущественно по периметру среза. Но за счёт этого, такие фермы требуют высокой точности разработке раздела КМД и при нарезке отдельных стержней.

Все вышеперечисленные преимущества позволяют таким фермам получить широкое распространение и востребованность в современном капитальном строительстве.

Фермы, выполненные из гнутых профилей, не пригодны при больших габаритах и высокой нагрузке, так как максимальная возможная толщина стенки труб составляет около 12 мм. Невозможность применения более толстых стенок обуславливается невозможностью их производства. Также такие фермы плохо себя проявляют при эксплуатации на низкой температуре, так как она неблагоприятно влияет на углыгиба профиля, в которых за счёт своей формы происходят пластические колебания.

«Рисунок 10 показывает, что до последнего времени легкие фермы были построены в основном из стержней с сечениями, которые состоят из двух уголков (рисунок 10 в-д). Для того чтобы конструировать узлы на фасонках и прикреплять к ним конструкции, которые имеют отношение к фермам (прогоны, кровельные панели, связи и т.д.), следует использовать такие сечения с большим диапазоном площадей. Из-за большого количества элементов с различными размерами и расхода металла на их изготовление, а также из-за наличия щели между уголками, способной затруднить окраску и привести к коррозии, данная конструкция имеет существенные недостатки. Стержни с сечением из двух уголков, которые составлены тавром, не подходят для работы в условиях сжатия.»[20]

Допускается изготовление стержней ферм из одиночных уголков (рисунок 10 е) при условии малого усилия, действующего на стержень. Применение таких стержней существенно легче в изготовлении, монтаже и

последующей обработке декоративными и антикоррозийными покрытиями. Ещё больше упрощается задача в случае устройства узлов без применения фасонного проката.

«Необходимо учитывать, что при проектировании ферм из одиночных уголков следует принимать во внимание, что они не имеют оси симметрии в плоскости фермы. Благодаря этому, с внутренней стороны поясных уголков крепится решетка, которая способствует уменьшению асимметрии. Тем не менее, это решение создает предпосылки для того, чтобы пояс был закручен и требует надежного закрепления пояса с помощью связей.»[2]

Также внимания заслуживают фермы, выполненные из цельных тавровых элементов (рисунок 10 и), которые получаются путем разрезания двутавровых широкополочных профилей (рисунок 10 з). Очевидным и единственным преимуществом такого решения является экономия во времени, затраченном на изготовление одного стержня, так как вместо двух уголков надо изготовить один тавр. Также пропадает потребность в установке прокладок (сухариков) между спаренными уголками.

«В случае если пояс ферм помимо осевого усилия, которое передается через центр тяжести, также работает на изгиб (в случае внеузловой передачи нагрузки), то оптимальным является сечение из двутавра или двух швеллеров.

Иногда для создания ферм используют различные виды профилей: пояса из двутавров, решетки с гнutoзамкнутыми или тавровыми элементами, а также пояса из парных и одиночных уголков. Этот вариант решения более рационален.

Для того, чтобы обеспечить соединение элементов в разных плоскостях в пространственных фермах (башня, мачта, стрелы кранов и т.п.), где пояс является общим для двух ферм, его сечение должно быть рассчитано так, чтобы оно могло обеспечить их взаимное расположение в различных плоскостях. Именно трубчатое сечение лучше всего подходит для данного требования.

С помощью небольшого количества усилий можно добиться простейшего типа сечения пояса в четырехгранных фермах. Это может быть одиночный уголок или же, когда площадь одного уголка недостаточна, крестовое сечение из двух уголков. Двутавры также используются при больших усилиях.»[2]

«При проектировании ферм, их сжатые части должны быть равноустойчивыми в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В случае, когда длина верхнего пояса стропильной фермы без фонаря и опорного раскоса равна l_x , а также если она имеет одинаковый расчетный размер (например, верхняя часть верхней части крыши без фонаря), то этому условию отвечают трубы и прямоугольные гнутозамкнутые профили, так как для них $i_x = i_y$, и, следовательно, $\lambda_x = l_x / i_x = \lambda_y$.»[5]

При устройстве стержней фермы из двух неравнополочных уголков, поставленных друг к другу длинными полками, их радиусы инерции становятся приблизительно одинаковыми ($i_x = i_y$).

Если в плоскости фермы расчётная длина стержней имеет большее значение, чем из плоскости, то в таком случае более оптимальным вариантом будет постановка уголков короткими сторонами вместе (рисунок 11 д). Отношение радиусов инерции в таком случае будет составлять $i_y = 2 i_x$. Такое решение применимо для раскосов и стоек при наличии шпренгеля, или для верхнего пояса, участок которого находится под светоаэрационным фонарем.

Постановка двух равнополочных уголков рациональная для равноустойчивых раскосов, имеющих пропорции радиусов инерции $i_x = 0,8 i_y$.

Такое разнообразие возможных решений и исполнений позволяет запроектировать и изготовить фермы практически под любые задачи и условия, отличия которых могут обуславливаться даже территориально, в случае, например, высокой дальности стройплощадки от цеха по производству стержней определенного профиля.

Основные преимущества фермы.

В случае сравнения с традиционными балками из цельного металла,

фермы имеют ряд преимуществ:

- Существенная длина при относительно малом весе;
- Длительный срок эксплуатации в условиях интенсивной нагрузки;
- Избегание прогибов.
- Повышенная устойчивость к внешним воздействиям.
- Возможность выдерживать динамические и статические нагрузки.
- Существует возможность изготовления конструкции на строительной площадке.

Также, при возведении большой фермы необходимо использовать тяжелые элементы, для того чтобы поднять их на нужную высоту, применяются подъемные приспособления и специальная техника. Эти системы плохо переносят повышенную температуру. В результате этого возникает риск того, что кровля может провиснуть и обрушиться в случае пожара. Благодаря своим преимуществам конструкция не будет стоить дешево.

1.3 Повреждения стальных строительных конструкций

Фермы, находящие продолжительное время в процессе эксплуатации имеют свойство постепенно изнашиваться и деформироваться. Вследствие этого факта, при реконструкции ферм, помимо изменения конструкции под новые задачи и условия (например, монтаж фонарей или других надстроек), также появляется потребность в усилении первоначального состояния конструкции.

Такие приобретенные изменения первоначального состояния конструкции (например, дефекты или отклонения фактических размеров стержней) могут отрицательно сказаться на реконструированной конструкции, так как эти детали не учитывались при разработке проекта реконструкции.

Помимо деформаций, постепенно возникавших с течением срока

эксплуатации, также имеют место прямые воздействия от действия человека или рабочей техники, которые также со временем будут только усугубляться.

«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 физ. воздействий;
- от хим. воздействий: коррозионные процессы металла, появляющиеся от влажности среды или от агрессивных жидкостей и газов.»[5]

«Существует два вида коррозии: локальная, при которой под влиянием местных агрессивных факторов разрушаются отдельные узлы и части конструкции на небольших участках, и равномерная, при которой разрушения конструкции одинаковы по всей площади на протяжении всей длины здания. Высокая степень воздействия газовых сред зависит от вида и концентрации газа, температуры и влажности воздуха, а также от скорости обмена агрессивной среды. Динамичность коррозии в воздушной среде с незначительной относительной влажностью сравнительно невелика и находится в пределах 0,05—0,07 мм ежегодно. Такая коррозия не представляет угрозы для стальных конструкций, так как их толщина к концу срока эксплуатации уменьшается незначительно. В случае неблагоприятных условий, коррозия в воздушной среде будет протекать быстро и достигать 0,1 мм за год. Это может привести к повреждению конструкций, так как она значительно уменьшает их размеры и площадь сечения, что приводит к быстрому выходу из строя. Для жидких сред характерно воздействие с помощью температуры и концентрации, а для растворов кислот, щелочей и солей – с помощью водородного показателя

(рН). Необходимо учитывать, что агрессивность твердых сред зависит от их вида и интенсивности воздействия агентов, а также от влажности воздуха.»[8]

«Анализ степени локальных повреждений производится по отклонениям на соответствующие дефекты, регламентированные нормами и находятся в допуске.»[8]

«Отличительные особенности металлических конструкций, учитываемые при усилении:

- высокая однородность материала, обуславливающая высокую степень соответствия работы элементов и узлов расчетными предпосылками и, соответственно малые запасы прочности, заложенные при проектировании; в результате, незначительное отклонение от расчетных положений, нарушение требуемой точности в изготовлении, монтаже, небольшие перегрузки могут привести к существенным перенапряжениям элементов металлических конструкций;

- высокая удельная прочность (отношение прочности к массе материала) обуславливает тонкостенность и гибкость несущих элементов, следовательно, подверженность под влиянием различных случайных воздействий при изготовлении, перевозке, монтаже, эксплуатации различного рода деформаций, что особо опасно для сжатых элементов;

- склонность к хрупкому и усталостному разрушению при наличии различных концентраторов напряжений, особенно, трещин в сочетании с низкими температурами и динамическими нагрузками;

- наличие сварных соединений, имеющие отличные от основного металла физико-механические свойства и характеризующихся значительным разбросом эксплуатационных свойств в зависимости от качества наложения сварных швов.»[4]

«Согласно классификации, можно выделить три основных группы аварий:

- аварии, возникшие природными явлениями;

- аварии, возникшие не совершенностью инженерно-технических приемов;

- аварии, вызванные социально-экономическими условиями.»

«Технические причины катастроф можно разделить также на три группы:

- потеря устойчивости;

- дефекты основания;

- некачественное производство работ.» [7]

Изучением обрушений и аварий занимался А.И. Мизюмский. Он классифицирует причины обрушения только металлических конструкций.

А.И. Мизюмский разделил аварии и крушения на следующие группы:

- «вызванные дефектами, которые связаны с ошибками проектирования;

- вызванные дефектами, которые возникли в процессе производства работ;

- вызванные дефектами, которые связаны с эксплуатацией;

- вызванные недостаточно изученными условиями работ и свойствами применяемых материалов.»[5]

«Надежность здания зависит от многих факторов таких как, марки материала, сечения, формы элементов, качества изготовления и монтажа, условия эксплуатации, своевременного ремонта.»[20]

«Основными способами усиления стальных конструкций являются:

- изменение конструктивной схемы всего каркаса или отдельных элементов;

- регулирование напряжений;

- увеличение площади поперечного сечения отдельных элементов конструкции;

- усиление соединений элементов;

- подведение конструкций разгрузки.»[1]

«На практике зачастую усиление строительных конструкций

производится не одним из перечисленных способом, а их сочетанием. Выбор наиболее эффективного решения целесообразно производить через сравнение проектных вариантов с учетом условий проведения работ.»[2]

«Необходимость усиления обуславливается факторами, препятствующими продолжению нормальной эксплуатации конструкций:

- наличием недопустимых дефектов и повреждений на стадии проектирования, изготовления, транспортировки и монтажа, в процессе эксплуатации, которое не позволяет обеспечить требования прочности, устойчивости, хладостойкости или выносливости;

- эксплуатационным износом, включая коррозионный износ;

- изменением условий эксплуатации.»[17]

«В последнее время по причине изменения экономического строя и длительного падения производства технический надзор за состоянием конструкций не проводился на многих предприятиях и сооружениях.»[8]

«Основными производственными причинами, из-за недостатков которых происходят аварии в большинстве случаев:

- строительство – 55%;

- проект – 29%;

- эксплуатации – 16%.»[4]

«Известно, что 55% всех аварий происходит в срок до одного года эксплуатации или во время строительства по причине отступлений от норм и проекта или плохого качества изготовления и монтажа.»[29]

1.4 Усиление металлических ферм производственных зданий при реконструкции

Выполнение работ по восстановлению или усовершенствованию существующего предприятия путем замены устаревшего оборудования, механизации и автоматизации процессов, а также строительства новых

объектов вспомогательного и сервисного значения называется реконструкцией.

С точки зрения экономики, необходимо проводить модернизацию производственных процессов и замену оборудования. Также следует производить техническое перевооружение промышленных зданий. Вместе с тем, это даст возможность предприятиям производить больше инновационной продукции без увеличения объемов строительства. Это позволит им получать гораздо более низкую стоимость на производимую ими продукцию, чем строительство новых зданий и сооружений.

Ключевые факторы, которые влияют на эксплуатацию промышленных зданий и сооружений, в том числе с использованием металлического каркаса, включают большое количество конструкций, которые находятся в состоянии физического и морального износа. По итогу, появится необходимость в усилении конструкции из металла, например ферм, которые были изготовлены из уголкового проката с профилями, сделанными из листовой стали. Для увеличения несущей способности ферм, которые используются при армировании, не требуется большого количества дополнительных усиливающих элементов основной конструкции.

Среди основных факторов, которые оказывают влияние на эксплуатацию промышленных зданий и сооружений с использованием металлического каркаса, можно отметить большое количество конструкций, которые имеют физический и моральный износ. Следовательно, будет возникать потребность в дополнительном укреплении конструкции из металла, например ферм с уголковым прокатом и профилями, которые были изготовлены из листовой стали. С целью увеличения несущей способности ферм, которые используются при армировании, не требуются дополнительные вспомогательные конструкции основного типа.

Вот следующие факторы необходимости реконструкции

производственных зданий.

Со временем оборудование изнашивается не только физически, но и морально. Увеличение затрат на обслуживание и ремонт может привести к снижению эффективности производства.

Уменьшение предложения продукции: в случае снижения спроса на продукцию, это может привести к необходимости изменения или даже смены профиля компании.

Условия для соблюдения экологического стандарта: предприятия должны соблюдать определенные экологические требования, что может потребовать изменения оборудования и технологических процессов.

Уровень безопасности: Регулярные проверки безопасности могут обнаружить необходимость в улучшении или замене устаревшего оборудования.

Технологические изменения: Внедрение новых технологий может привести к тому, что оборудование, которое уже существует, станет устаревшим и потребует замены.

Требования к инвесторам: Инвесторы могут выдвигать требования относительно технического прогресса и обновления оборудования, которые помогут им обеспечить максимальную окупаемость инвестиций.

При этом, улучшение эргономики рабочих мест может привести к улучшению условий труда и повышению производительности работников.

Снижение расходов на электроэнергию. При использовании энергосберегающих технологий можно значительно снизить затраты на электроэнергию и улучшить экологическую ситуацию.

Увеличение конкурентоспособности: В случае необходимости предприятие может модернизировать производственные мощности, что позволит ему оставаться на рынке более конкурентоспособным.

В том случае, когда необходимо восстановить или повысить несущую способность металлических стропильных ферм, чаще всего прибегают к тем же методам, которые используются для укрепления

стальных балок.

«Обычно усиление металлических ферм осуществляется путем преобразования их в статически неопределимые системы путем:

- установки дополнительных опор;
- объединения концов ферм смежных пролетов и превращения их в многопролетные конструкции;
- установки подкосов или подвесок;
- добавления поддерживающих тросовых систем;
- размещения поддерживающих арочных конструкций;
- введения шпренгельных элементов;
- добавления дополнительных элементов решетки, изменения схемы конструкции и увеличения сечения отдельных элементов.»[30]

Ниже рассмотрены основные распространенные методы усиления стальных конструкций, включенные в нормативные документы (ГОСТы, СП.

1.5 Усиление металлических балок, ферм и прогонов

«Усиление — совокупность мероприятий, выполняемых с целью снижения уровня действующих напряжений в усиливаемых конструкциях.»[28]

«Оно бывает:

- временным, применяемое во время монтажа и для конструкций, которые должны эксплуатироваться до их капитального усиления;
- аварийным (неотложным), применяемое в экстренных случаях;
- постоянным (капитальным), применяемое при усилении конструкций под нагрузкой;
- и перспективным, применяемым для конструкций, нагрузку на которые по истечению какого-то промежутка времени можно увеличить.»[6]

«Усиление может выполняться:

- снижением действующих нагрузок (косвенное усиление или изменение условий эксплуатации);
- снижением действующих усилий (изменение конструктивной или расчётной схемы конструкции);
- повышением несущей способности существующих конструкций или их элементов:
 - увеличение площади сечения;
 - местное усиление;
 - усиление соединений.»[14]

«В современной практике строительства усиление стержневых элементов конструкций производится в основном тремя методами:

- увеличением поперечного сечения
- регулированием напряжений;
- уменьшением расчётной длины стержней.»[9]

«Усиление уменьшением расчётной длины сжатых элементов является одним из самых распространённых способов усиления металлических конструкций, увеличивающим их устойчивость и повышающим несущую способность сжатых стержней на 10–30% [2, п. 6.5].»[10]

«Этот метод усиления применяется:

- при усилении сжатых элементов решётчатых ригелей и сжатых стоек;
- когда непосредственное усиление усиливаемой конструкции не представляется возможным;
- если он экономически и конструктивно целесообразен в сравнении с другими методами усиления.»[12]

«Присоединение деталей усиления к усиливаемой конструкции выполняется с помощью:

- сварки;
- на болтах класса точности А, В или высокопрочных.»[26]

«Технология работ при усилении конструкций под нагрузкой должна

обеспечивать минимально-возможное ослабление сечений усиливаемых элементов, которое может быть вызвано нагревом при сварке или рассверловкой дополнительных отверстий. Если у усиливаемых конструкций отсутствуют данные о свариваемости стали, то для соединения элементов усиления сварку можно применять только после проведения оценки свариваемости. Кроме того, необходимо обратить внимание на правильный порядок сварки во избежание больших усадочных напряжений и разрыва усиливаемых или рядом расположенных элементов.»[3]

«При присоединении элементов усиления на болтах необходимо вести работы с минимально-возможным ослаблением усиливаемого элемента. Поэтому каждое последующее отверстие необходимо сверлить только после установки болта в предыдущее. Марку стали элементов усиления следует назначать с учётом качества стали усиливаемой конструкции. Применяемая для элементов усиления сталь не должна уступать по качеству металлу усиливаемых конструкций (по механическим свойствам,»[5]

вязкости и свариваемости).

«Уменьшение расчётной длины может быть необходимо:

- в плоскости усиливаемого конструктивного элемента;
- из плоскости.»[15]

«При усилении конструкций методом уменьшения расчётных длин следует учитывать:

- действующие напряжения в элементах конструкции от существующей нагрузки (включение в работу усиливающих элементов возможно только после увеличения на усиливаемый элемент);
- восприятие усиливающими элементами в статически-определимых системах части действующей нагрузки;
- изменение расчётной схемы с внутренне статически-определимой на внутренне статически-неопределимую: в статически-неопределимых системах усилия распределяются в соответствии с жёсткостями элементов конструкции, вследствие чего при увеличении нагрузки в результате

перераспределения усилий растянутые раскосы могут стать сжатыми.»[4]

«Усиление стропильных ферм покрытия может потребоваться:

- при увеличении нагрузок от покрытия;
- при возрастании снеговой нагрузки;
- в связи с креплением к фермам нового технологического оборудования;
- в результате ослабления сечений элементов;
- в следствии механических или коррозионных повреждений в процессе эксплуатации.»[18]

«Существует несколько основных приёмов уменьшения расчётной длины сжатых элементов в плоскости ферм.»[7]

1) Введение дополнительных элементов в конструкцию решётки фермы: раскосов и подвесок.

«Данный приём позволяет усилить сжатые верхние пояса и раскосы ферм за счёт:

- снижения изгибающих моментов в поясах при их работе на местный изгиб;
- уменьшения расчетные длины сжатых элементов (поясов, раскосов) повышая тем самым их несущую способность.»[1]

2) Монтаж дополнительных раскосов

«Установка дополнительных раскосов снижает расчётную длину сжатых раскосов, увеличивая тем самым их несущую способность.»[8]

3) Устройство дополнительных стоек

«Далее (на рисунках 11-14) представлены способы усиления металлических ферм путем установки дополнительных элементов:

Постановка дополнительных стоек позволяет усилить верхние сжатые пояса фермы за счёт:

- снижения изгибающих моментов, возникающих от действия внеузловой нагрузки;
- уменьшения расчетных длины сжатых поясов и, следовательно,

повышения несущей способности.»[11]

4) Установка дополнительных решёток: второй (а) или перекрёстных

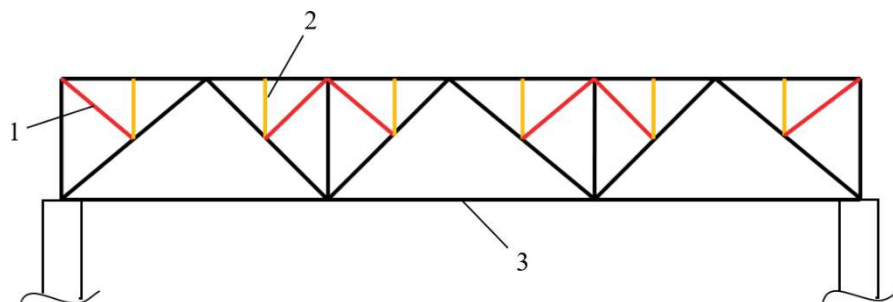


Рисунок 11 усиление сжатых поясов и раскосов: 1 — дополнительные раскосы, 2 — подвески, 3 — усиливаемая ферма

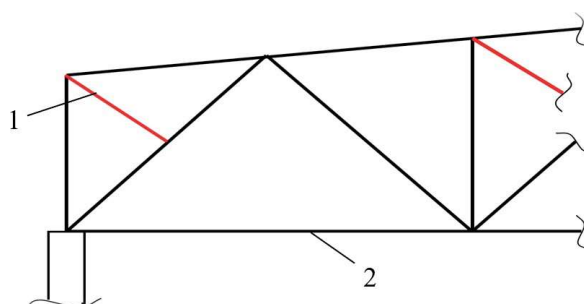


Рисунок 12 усиление сжатых раскосов: 1 — дополнительные раскосы, 2 — усиливаемая ферма

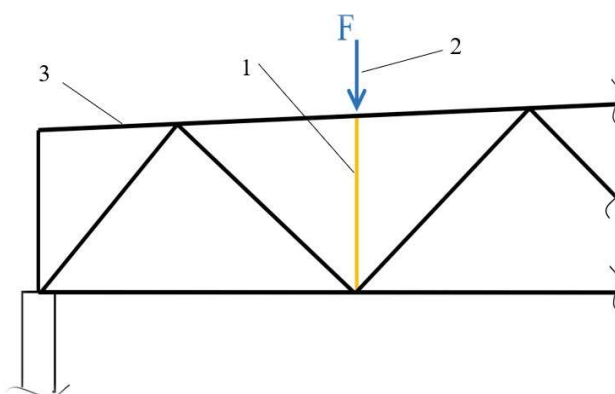


Рисунок 13 усиление сжатых верхних поясов: 1 — дополнительные раскосы, 2 — внеузловая нагрузка, 3 — усиливаемая ферма

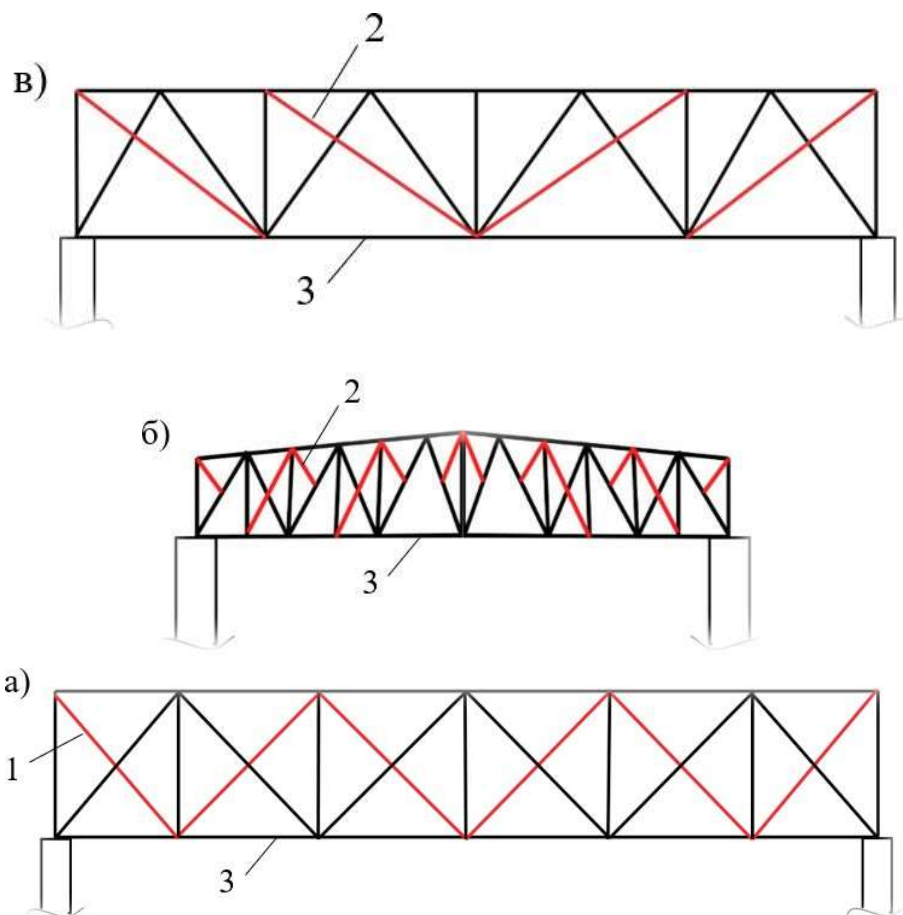


Рисунок 14 а) ферма с дополнительной решёткой; б, в) фермы с перекрёстной решёткой; 1 — вторая решётка, 2 — перекрёстная решётка, 3 — усиливаемая ферма

Усиление конструкции происходит главным образом за счёт увеличения площади поперечного сечения стержней путём приваривания к ним других профилей. Приваривать могут любые профили (уголки, трубы) и даже листовой прокат. Вместе с тем, помимо площади поперечного сечения, изменятся также другие геометрические характеристики сечения (например, радиус инерции). Усиление можно производить как на все стержни фермы, так и на отдельные пояса или раскосы, что позволяет оптимально расходовать материал.

Варианты увеличения сечения элементов стальных ферм, которые используются для повышения их прочности показаны на рисунке 15. Благодаря этому методу важно сохранить равновесие центра тяжести, который находится в сечении усиливаемого элемента фермы.

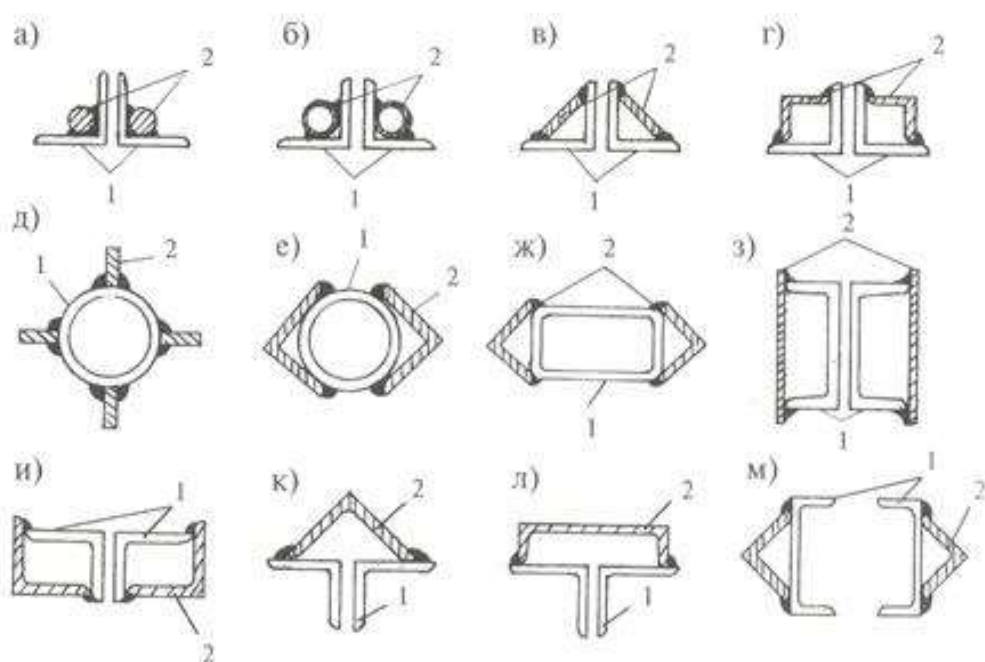


Рисунок 15 схемы усиления центрально-растянутых и центрально-сжатых элементов металлических ферм увеличением их сечения, где 1- усиливаемый элемент; 2- элемент усиления

1.6 Основные требования при работе по усилению металлических конструкций

Потеря устойчивости происходит в основном в стержнях, нагрузка на которые воздействует перпендикулярно их длинной стороне. Вследствие такого неучтенного воздействия происходит деформация стержня, которая может привести к потере требуемых эксплуатационных качеств или вовсе к обрушению фермы. Наиболее опасными в этом процессе являются краевые напряжения.

Необходимо соблюдать определённые правила при восстановлении или усилении металлических конструкций:

- Этот проект должен быть реализован в организации, специализирующейся на конструировании и изготовлении металлических конструкций, а также раздел, посвященный технологическим процессам, которые используются для производства работ;

– Чтобы разработать проект укрепления металлоконструкции, необходимы материалы для натуральных обследований, включающие дефектную ведомость с перечнем повреждений и первоначальные оценки состояния основных элементов конструкции;

– Процесс проверки и обследования конструкции начинается с изучения проектной документации и материалов, которые в ней содержатся.

Процесс испытания на натуре реконструированной фермы является очень ответственным, поэтому проверка ответственных узлов производится с применением увеличительных зрительных приборов. Для более достоверной картинки, поверхность, находящуюся в ответственной зоне, очищают от загрязнений, декоративных и антикоррозионных покрытий, доводя поверхность до состояния металлического блеска. Установка высоты сварного шва производится с помощью специального шаблона (калибра).

В процессе сварных работ по реконструкции следует выдерживать определенный температурный режим окружающей среды, который зависит от порога холоднотемпературности каждой стали, согласно нормативным документам.

В усиливающем элементе наплавкой напряжение не должно превышать 0.8 расчетного сопротивления стали, при этом с поверхности шва должны быть удалены все дефекты. Существует запрет на использование комбинированных соединений, при котором часть усилий передается посредством заклепок и болтов, а другая часть - с помощью сварных швов.

«К рабочим чертежам конструкций, которые собираются заново или ремонтируются, должны быть приложены схемы расположения новых и усиливаемых элементов в соответствии с видами конструкции (прогоны, балки, фермы и т.д.). Содержит в себе рабочие чертежи элементов и узлов, спецификацию стали и требования к технологическому порядку выполнения работ по усилению конструкции, которые определяют эффективность принимаемого решения.»[23]

Для того чтобы проектировать восстановление стальных конструкций, которые будут восстановлены в одну стадию рабочих чертежей КМД,

наиболее предпочтительным является вариант их проектирования в одной стадии с рабочими чертежами. В конструкциях необходимо указывать дефекты, являющиеся частью дефектных ведомостей. По каждому из элементов конструкции составляются их характеристики на основе анализа данных, которые были получены в ходе обследования и технического осмотра. Если вы хотите отремонтировать конструкцию, вам необходимо провести проверку состояния всех соединительных элементов конструкции, которые ранее не были доступны для осмотра. Затем следует внести их в список тех дефектов, которые будут исправлены в процессе восстановления.

Выводы по первой главе:

1. Техническое перевооружение производства является ключевым фактором развития промышленного сектора страны, позволяющим предприятиям модернизировать технологии, заменять и совершенствовать оборудование, а также строить новые вспомогательные объекты. Это приводит к производству более инновационной продукции без увеличения объемов строительства, что снижает затраты и воздействие на окружающую среду.

2. Эксплуатация промышленных зданий и сооружений, включая металлические каркасы, требует периодического усиления и ремонта из-за физического и морального износа. Армирование металлических конструкций, таких как стальные фермы, является важным процессом, который может продлить срок службы зданий и повысить их эффективность.

3. При разработке проекта реконструкции необходимо учитывать что могут быть ограничены возможности для изменения планировки или добавления новых функций, таких как увеличение высоты или пролета здания, изменение шага колонн и т.д. Часто имеющиеся площади ограничены, что затрудняет расширение или модернизацию производства в требуемом масштабе.

Глава 2. Разработка проекта усиления фермы здания

2.1 Описание объёмно-планировочных данных здания

Реконструируемое здание изначально было запроектировано под складирование малогабаритной продукции, каким образом оно и использовалось. Для изменения назначения здания в связи с развитием производства было принято решение по изменению назначения данного помещения, как производственное. Для этого планируется установка кран-балки к ферме в районе оси А.

Складское здание имеет один пролет. Продольное сечение здания в осях 1-16 составляет 90 м, а его ширина – 24 м. На осях А и Б находятся все колонны, кроме колонн в торцах здания, которые смещены с осей 1 и 16 внутрь здания на 420 мм. В торцах здания по осям 1 и 16 располагаются фахверковые колонны, их шаг равен 6 м. Полезная высота здания составляет 12 м.

Рисунок 16 показывает, что здание имеет прямоугольную форму в плане.

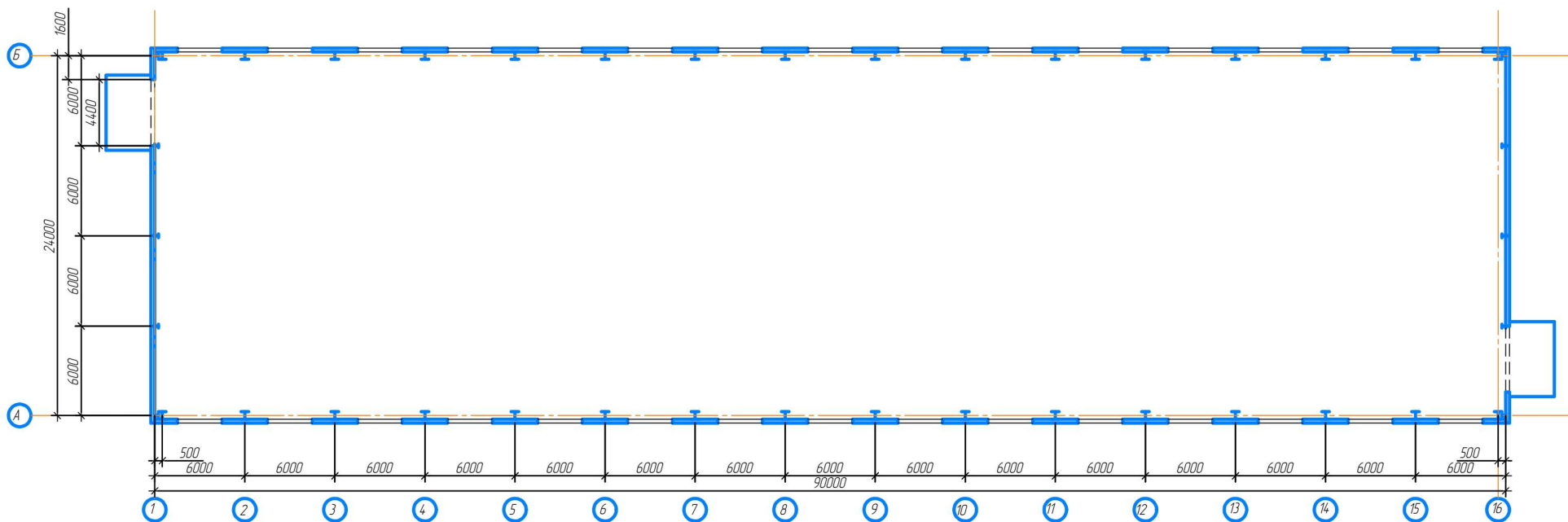


Рисунок 16 план

2.2 Конструктивное решение здания

В конструктивном отношении здание является каркасным, рамно-связевой системы.

Ферма имеет пролет 24 метра, является плоской, фермы объединены между собой связями покрытия. Высота фермы по осям 3.1 метра. Фермы рам имеют два параллельных пояса и уклон 1,5% в две стороны от центра к краям, что образует двускатную кровлю. В конструкции решётки используется два вида: треугольная, раскосно-стоечная.

Стержни фермы являются составными из уголков, объединенных между собой «сухариками».

Фермы стыкованы к колоннам. Установка ферм и колонн осуществляется при помощи монтажных болтов.

Тавровые и крестообразные стержни изготовлены из парных уголков, которые соединены с узлами при помощи листовых пластинок. Для того чтобы обеспечить совместную работу конструкции, используются соединительные элементы, которые состоят из полосовой стали и уголкового профиля. Для обеспечения геометрической неизменяемости, жесткости каркаса в проекте предусмотрена связевая система (рисунок 17), включающая две рамы по осям 8 и 9, связи по колоннам и связи по фермам в осях 8–9 образуют жесткий рамный связевой блок.

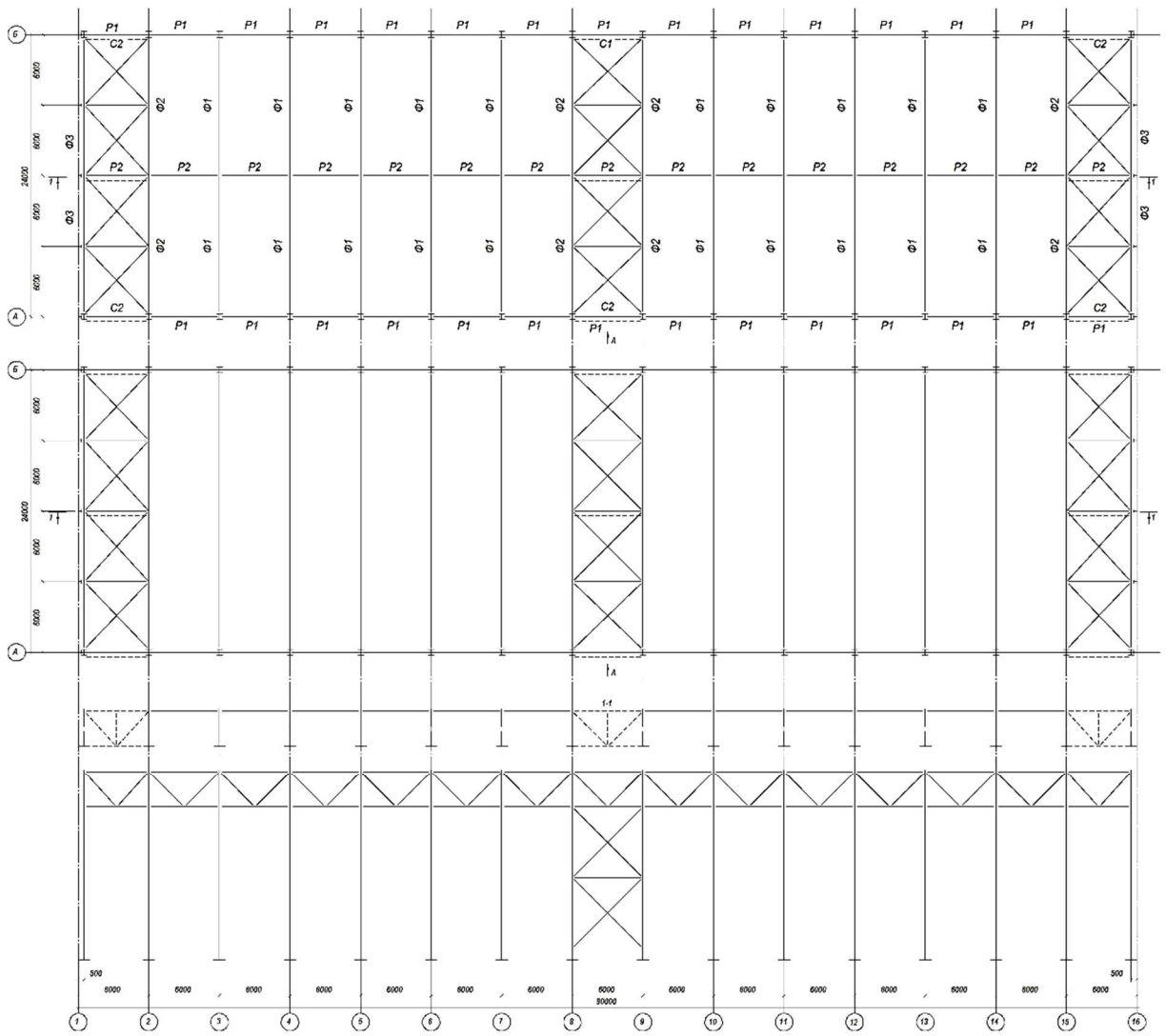


Рисунок 17 – Связевая система.

2.3 Поверочный расчёт существующей фермы

Расчет постоянных узловых нагрузок на 1 м² представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативные и расчетные нагрузки на 1 м² покрытия

Вид нагрузки	Значение, кН/м ²	
	Нормативная	Расчетная
Постоянная (собственный вес конструкций, вес покрытия)	1,786	2,133
Временная (снеговая нагрузка) (4-ый снеговой район)	1,85	2,4

Узловая нагрузка на ферму определяется грузовой площадью.
Расчетная нагрузка:

$$F_l = B \times L \times Q_p \quad (1)$$

где В- шаг между фермами, м;

L- расстояние между прогонами, м;

Q_p- суммарная нагрузка, кн.

Нагрузки приняты согласно расчету в программном комплексе Лира-САПР. Схема загрузки фермы постоянной нагрузкой представлена на Рисунок 18.

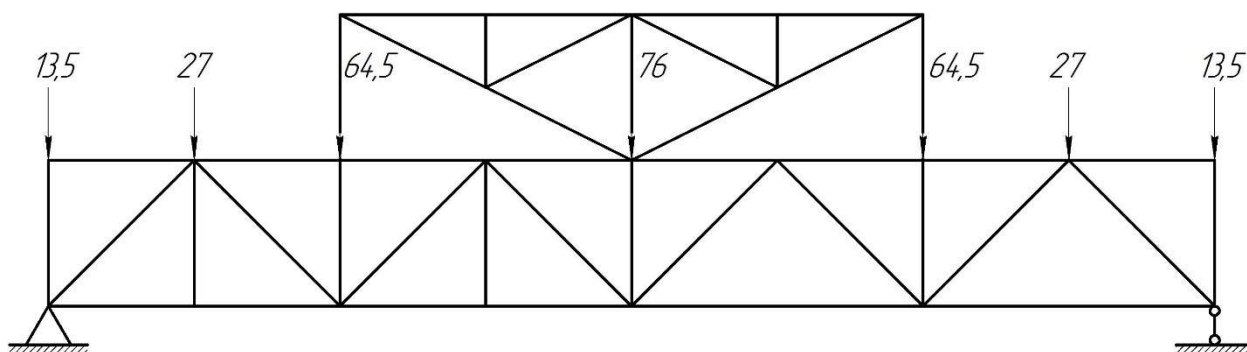


Рисунок 18 – Схема загрузки фермы постоянной нагрузкой.

Расчетная схема фермы представлена на рисунке 19.

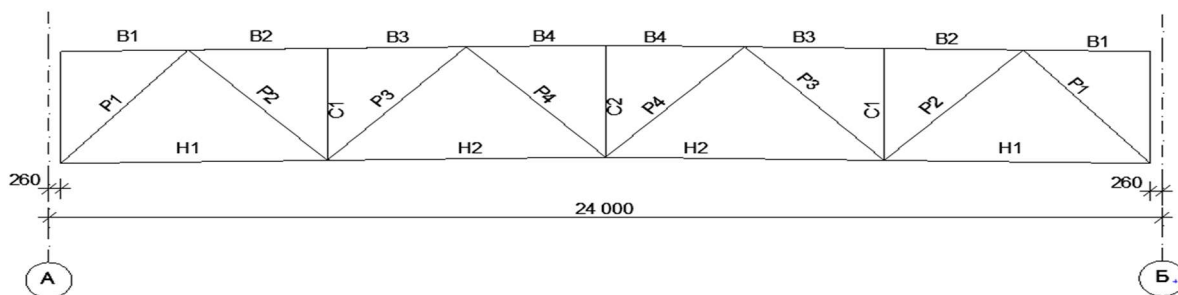


Рисунок 19 – Расчетная схема фермы.

Расчет узловых нагрузок от снега представлен на рисунке 20.

Нагрузки приняты согласно расчету в программном комплексе Лира-САПР.

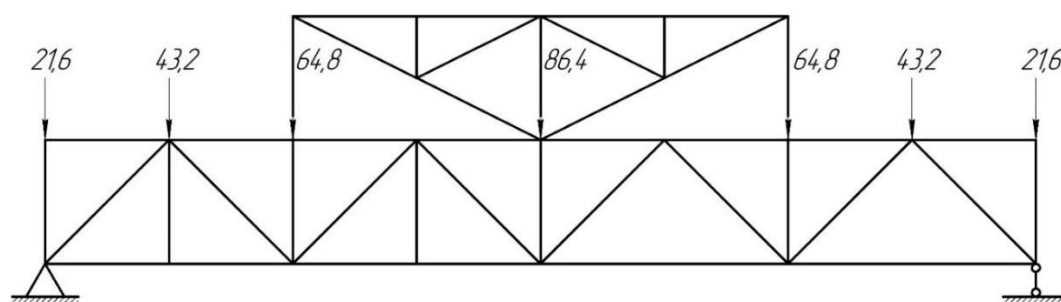


Рисунок 20 – Схема загрузки фермы снеговой.

Загрузка фермы постоянной и снеговой нагрузками представлено на рисунке 21. Нагрузки приняты согласно расчету в программном комплексе Лира-САПР.

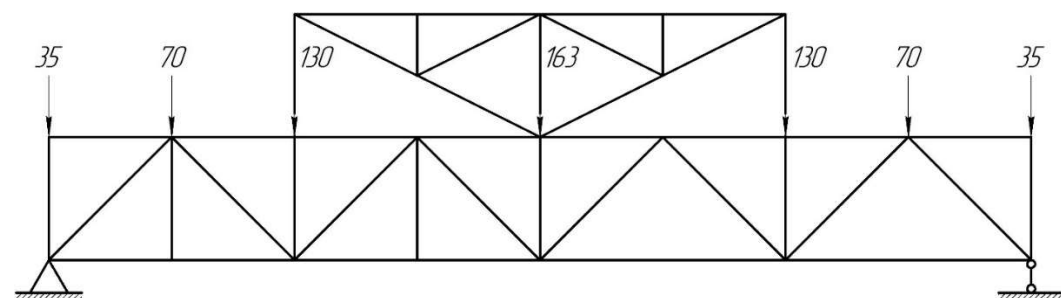


Рисунок 21 – Загрузка фермы постоянной и снеговой нагрузками.

Расчетные усилия в стержнях фермы рассчитывались с помощью программы «Лира-САПР», которая использует взаимодействие постоянной и снеговой нагрузок. Усилия представлены наглядно на рисунке 22.

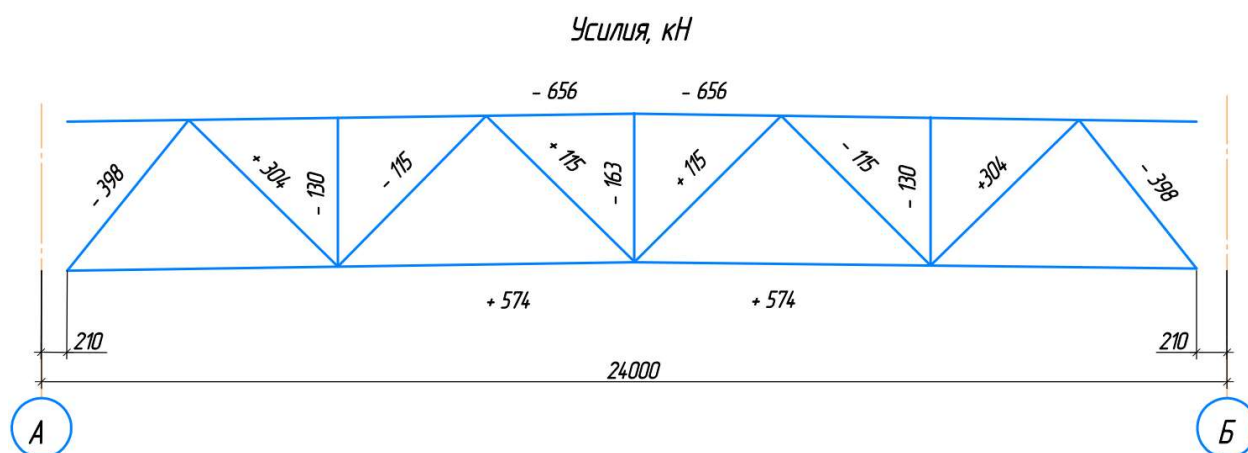


Рисунок 22 – Расчетные усилия в стержнях фермы.

Таблица 2 – Исходные данные и ведомость расчетных усилий

Элемент фермы	Стержень	Усилие, кН	Профиль стержня	Площадь сечения, см ²
Верхний пояс	В1	0	2L 160x100x9	45,74
	В2,В3	- 493	2L 160x100x9	45,74
	В4	- 656	2L 160x100x9	45,74
Нижний пояс	Н1	+ 282	2L 90x8	27,86
	Н2	+ 574	2L 90x8	27,86
Раскосы	Р1	- 398	2L 140x90x10	44,48
	Р2	+ 304	2L 70x5	13,72
	Р3	- 115	2L 80x6	18,76
	Р4	+ 115	2L 50x5	9,6
Стойки	С1	- 130	2L 75x5	14,78
	С2	- 163	2L 75x6	17,56

Проверка устойчивости стержней, согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [22] определяется по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_{min}A} \leq R_y \gamma_c, \quad (2)$$

где φ_{min} – продольного изгиба по таблице 72 [22], определяющийся по зависимости от гибкости и расчетного сопротивления стали R_y . В рассматриваемом проекте усиления класс стали (С245) принят как один из самых распространённых в стране к приобретению, его расчетное сопротивление на сжатие, растяжение и изгиб по пределу текучести равен 24 кН/см².

Максимальная гибкость определяется как большая из двух гибкостей

$$\lambda_{x(y)} = \frac{l_{x(y)}}{i_{x(y)}} \quad (3)$$

где $\lambda_{x(y)}$ максимальная гибкость;

$l_{x(y)}$ расчетная длина стержня в плоскости фермы;

$i_{x(y)}$ радиус инерции сечения относительно оси.

Расчет стержня по нормальным напряжениям определяется по формуле 4:

$$\sigma = \frac{N}{A \gamma_c} \quad (4)$$

где A – площадь сечения элементов;

N прилагаемая нагрузка;

γ_c – коэффициент условий работы (0.95 – для растянутых элементов)

В таблице 3 приведена ведомость проверки несущей способности элементов фермы до реконструкции по формулам 2-4

Таблица 3 – проверка несущей способности стержней фермы до реконструкции

Марка стержня	Хар-ка	Геометрическая длина, мм	Расчетное усилие, кН	Площадь сечения, см ²	Радиусы инерции		Гибкость		Проверка, %
					i_x , см	i_y , см	Расчетная, λ_{max}	Предельно допустимая λ_y	
Раскос Р1	2L 140x90x10	425	-403	44,48	4,47	3,67	111,3	120	16
Раскос Р2	2L 70x5	425	282	13,72	2,16	2,16	-	-	4
Раскос Р3	2L 80x6	425	-115	18,76	2,47	2,47	172,1	180	3
Раскос Р4	2L 50x5	425	115	9,6	1,53	1,53	-	-	47
Стойка С1	2L 75x5	315	-130	14,78	2,31	2,31	136,4	150	3
Стойка С2	2L 75x6	315	-163	17,56	2,9	2,9	108,6	150	4

2.4.1 Расчет фермы с учетом реконструкции

В целях дальнейшего использования существующего складского здания, как производственного, необходимо обеспечить его крепление к фермам с помощью кран-балки пролетом 6,0 м, которая имеет грузоподъемность 5 тонн (ГОСТ 7890-93). На рисунке 23 представлен общий вид крана.

Кран однобалочный подвесной грузоподъемностью 5 тонн.

Пролет 6 м. ГОСТ 7890-93.

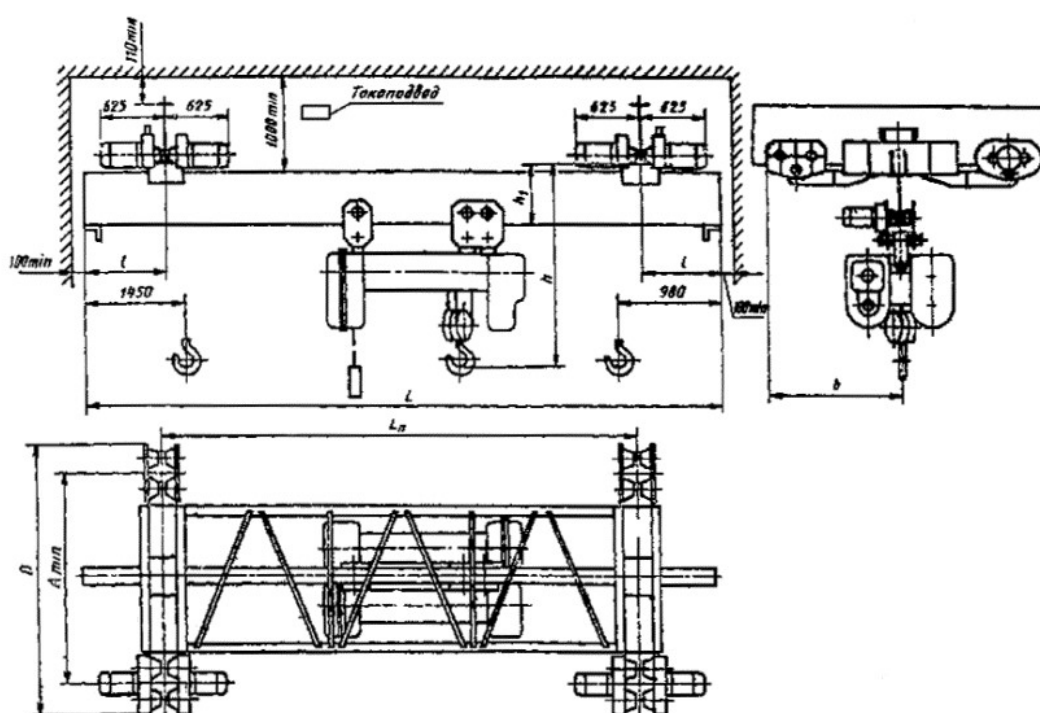


Рисунок 23 – Общий вид крана

2.4.2 Узловые нагрузки от кран-балки

На рисунке 24 показана конструктивная схема реконструированной рамы. Для осуществления подвески кран-балки, необходимы две стойки в каждой ферме, к которым ниже нижнего пояса будут прикреплены направляющие двутавры. К двум направляющим двутаврам прикрепляется непосредственно сам мост кран-балки.

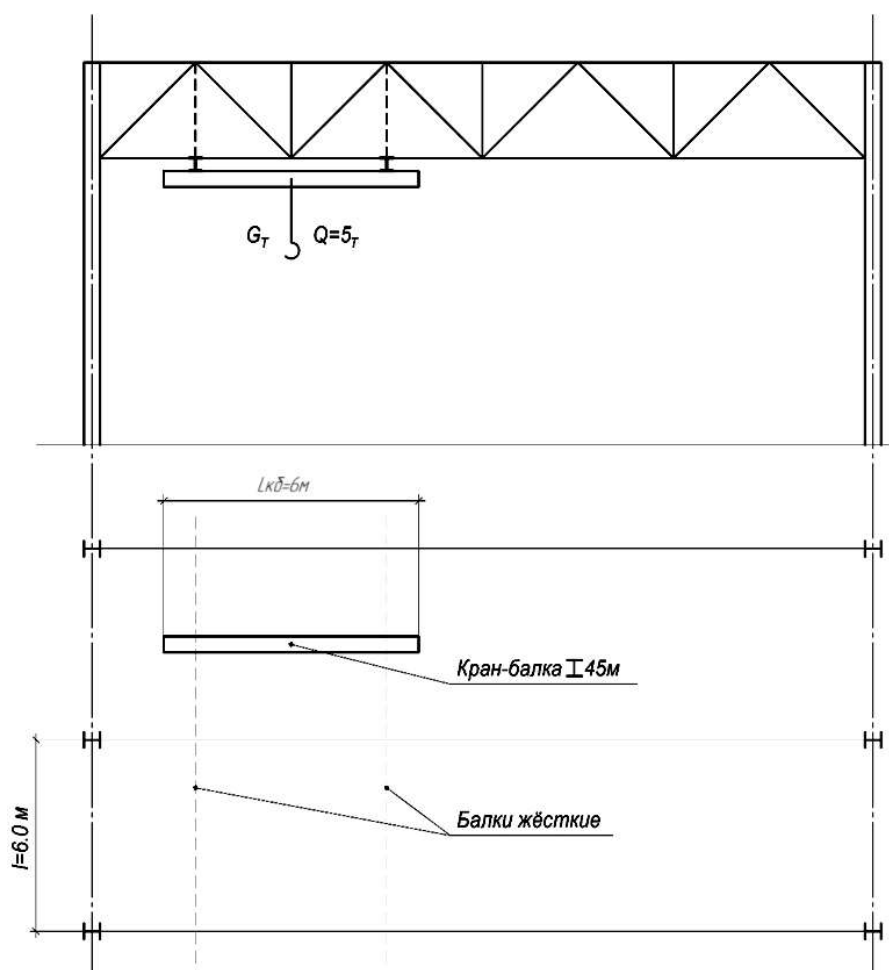


Рисунок 24 – Схема реконструированной рамы

Мост крана перемещается в продольном направлении. Груз перемещается с помощью тельфера в поперечном направлении. Варианты перемещения груза представлены на рисунке 25.

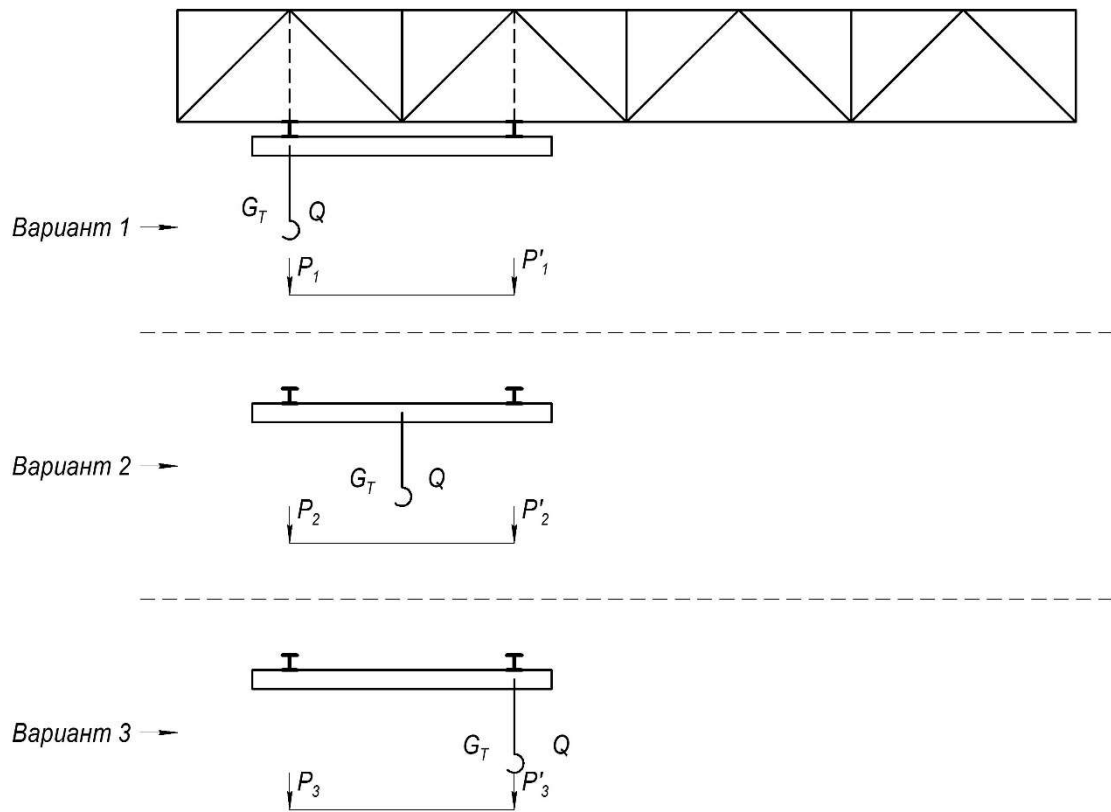


Рисунок 25 – Схемы перемещения крюка кран-балки

Определение узловых нагрузок осуществляется по формуле:

$$P = \gamma k \left(Q + Q_t + P_{к.б.} \frac{b}{2} \right) + \gamma g \cdot g_{б.ж.} \cdot l, \quad (5)$$

где: $Q = 5$ т – грузоподъемность крана;

$P_{к.б.} = 1,8$ т – масса крана без тали;

Q_t – масса тали;

$g_{б.ж.} = 77,6$ кт/м – линейная плотность жёсткой балки;

$l = 6$ м – длина жёсткой балки, приходящейся на 1 ферму;

$\gamma_k = 1,2$ – коэффициент надёжности для крановой нагрузки;

$\gamma_g = 1,1$ коэффициент надёжности для постоянной нагрузки.

Определение узловых нагрузок 1-го варианта:

$$P_1 = 1,2(5000 + 300 + 1800/2) + 1,1 \cdot 77,6 \cdot 6 = 5552,2 \text{ кг} = 55,5 \text{ кН}$$

$$P_1' = 1,2 \cdot \frac{1800}{2} + 1,1 \cdot 77,6 \cdot 6 = 1592,2 \text{ кг} = 16,2 \text{ кН},$$

Определение узловых нагрузок 2-го варианта:

$$P_2 = 1,2(5000 + 300 + 1800)0,5 + 1,1 \cdot 77,6 \cdot 6 = 3572,2 \text{ кг} = 35,7 \text{ кН},$$

Определение узловых нагрузок 3-го варианта:

$$P_3' = P_1 = 5552,2 \text{ кг} = 55,5 \text{ кН},$$

$$P_3 = P_1' = 1592,2 \text{ кг} = 16 \text{ кН}$$

2.4.3 Расчетные усилия в стержнях реконструируемой фермы

Усилия в стержнях от различного вида нагрузок (постоянная, снеговая, крановая) определялись с помощью программы Лира-Сапр. Маркировка стержней представлена на рисунке 26.

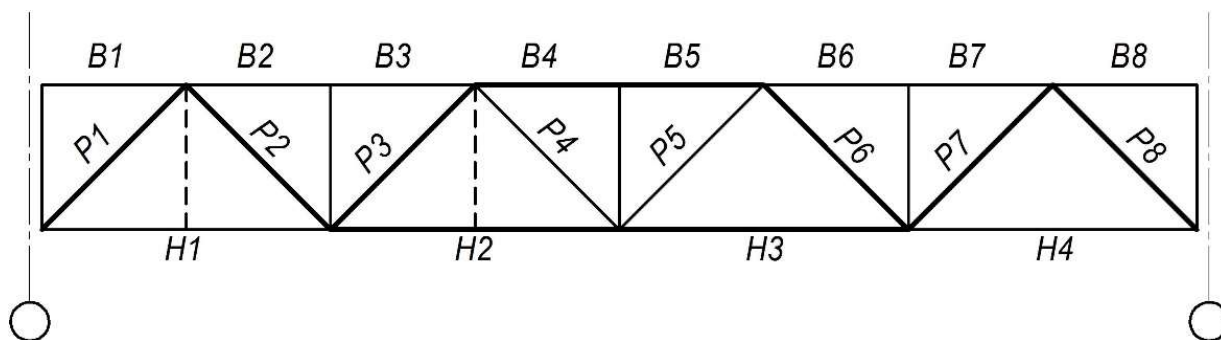


Рисунок 26 – маркировка стержней

2.4.4 Проверка несущей способности стержней фермы с учетом нагрузки от кран-балки

Верхний пояс проверяем по наиболее нагруженным панелям В4 и В5.

Новое полученное расчетное усилие после установки кран-балки составит – 704,5 кН, следовательно недонапряжение по формуле 2 составляет около 0,13%, устойчивость обеспечена на пределе.

Нижний пояс проверяем по наиболее нагруженной панели Н2.

Новое расчетное усилие $N = +646,3$ кН, имеет место небольшое перенапряжение.

Проверка раскоса Р1.

Новое расчетное усилие $N = -456,2$ кН. Устойчивость обеспечена, следовательно: недонапряжение составляет 4,2%.

Проверка раскоса Р2.

Новое расчетное усилие – $N = +329,18$ кН. Вывод: несущая способность не обеспечена.

Проверка раскоса Р3.

Новое расчетное усилие $N = -149,4$ кН. Устойчивость не обеспечена.

Проверка раскоса Р4 не требуется: расчетное усилие в стержне не изменилось.

Проверка раскоса Р5.

Новое усилие $N = + 138$ кН. Прочность раскоса Р5 обеспечена с большим запасом: недонапряжение составляет 36%.

Проверка раскоса Р6.

Новое расчетное усилие $N = - 138$ кН. Устойчивость не обеспечена.

Проверка раскоса Р7.

Новое расчетное усилие $N = +329$ кН. Имеет место крайне незначительное перенапряжения. Несущая способность практически обеспечена.

Проверка раскоса Р8.

Новое расчетное усилие $N = - 406$ кН. Устойчивость обеспечена, следовательно недонапряжение составляет 14,7%.

Далее в таблице 4 приведена ведомость проверки несущей способности элементов фермы после передачи дополнительной нагрузки от кран-балки.

Таблица 4 – Данные по проверке несущей способности фермы после передачи нагрузки от кран-балки

Марка стержня	Хар-ка	Геометр. Длина, мм	Расчетное усилие, кН	Площадь сечения, см ²	Радиусы инерции		φ_{min}	Коеф. условия работы	Гибкость		Проверка*, %
					i_x , см	i_y , см			Расчетная, λ_{max}	Предел. допуст. λ_y	
B4	2L 160x100x9	300	-704	45,8	-	-	0,675	0,95	73,4	-	0,1
B5	2L 160x100x9	300	-704	45,8	-	-	0,675	0,95	73,4	-	0,1
H2	2L 90x8	589	646	27,86	-	-	-	-	-	-	Не обеспечена на 4,3
P1	2L 140x90x10	425	-456	44,48	4,47	3,67	0,47	0,95	111,3	120	4,2
P2	2L 70x5	425	329	13,72	2,16	2,16	-	0,95	-	-	Не обеспечена на 5,1
P3	2L 80x6	425	-149	18,76	2,47	2,47	0,326	0,8	172,1	180	Не обеспечена на 26,8
P4	2L 50x5	425	115	9,6	1,53	1,53	-	0,95	-	-	47
P5	2L 50x5	425	138	9,6	1,53	1,53	-	0,95	-	-	36
P6	2L 80x6	425	-138	18,76	2,47	2,47	-	0,8	-	-	Не обеспечена на 17,5
P7	2L 70x5	425	329	13,72	2,16	2,16	-	0,95	-	-	Не обеспечена на 0,4
P8	2L 140x90x10	425	-406	44,48	4,47	3,67	0,47	0,95	111,3	120	15
C1	2L 75x5	315	-130	14,78	2,31	2,31	-	0,8	136,4	150	3,1
C2	2L 75x6	315	-163	17,56	2,9	2,9	-	0,8	108,6	150	3,5

*в столбце «проверка» приведены сведения о запасе элементов по устойчивости и прочности, а также сведения, в каких стержнях устойчивость не обеспечивается и требуется усиление с помощью увеличения площади поперечного сечения.

Выводы по разделу 2.4.3.

1. В случае, если будет действовать нагрузка от кран-балки, будут перенапряжены и потребуют дополнительного усиления в основном раскосы Р2, Р3, Р6.

2. В средних панелях нижнего пояса Н2 будет присутствовать небольшое перенапряжение.

3. В соответствии с расчетами, после реконструкции будут приложены значительные усилия во всех стержнях, за исключением стоек и раскоса Р8.

2.5 Подбор элементов усиления фермы

По данным, представленным в таблице 4 были подобраны сечения элементов в двух вариантах, которые удовлетворяют требованиям предельных состояний 1 и 2 группы. Обеспечена прочность, устойчивость и жесткость фермы.

В Таблицах 5, 6 приведены характеристики подобранных сечений в сочетании с имеющимися элементами фермы и рассчитан запас прочности в процентном соотношении несущей способности и расчетного усилия.

Таблица 5 – Ведомость подобранных дополнительных элементов (вариант 1)

Марка стержня	Хар-ка	Геометр. длина, мм	Расчетное усилие, кН	Площадь сечения, см ²	Запас прочности, %
Н1, Н2	2L 90x8+Ø20	11480	646	34,1	18
Р2	2L 70x5+Ø20	425	329	20	40
Р3	2L 80x6+ 2L 45x5	425	-149	27,3	18,7
Р6	2L 80x6+ 2L 45x5	425	-138	27,3	28
Р7	2L 70x5+Ø20	425	329	20	45,4

Таблица 6 – Ведомость подобранных дополнительных элементов
(вариант 2)

Марка стержня	Хар-ка	Геометр. длина, мм	Расчетное усилие, кН	Площадь сечения, см ²	Запас прочности, %
H1, H2	2L 90x8+Ø16	11480	646	31,82	9,9
P2	2L 70x5 + Ø40x3	425	329	20,7	45,8
P3	2L 80x6 + Ø40x4	425	-149	27,8	21,4
P6	2L 80x6 + Ø40x4	425	-138	27,8	30,7
P7	2L 70x5 + Ø40x3	425	329	20,7	50,5

С учетом полученных результатов произведенных расчетов были разработаны схемы усиления в двух вариантах, схемы реконструкции представлены на рисунках 27, 28, спецификации материалов представлены в таблицах 7, 8.

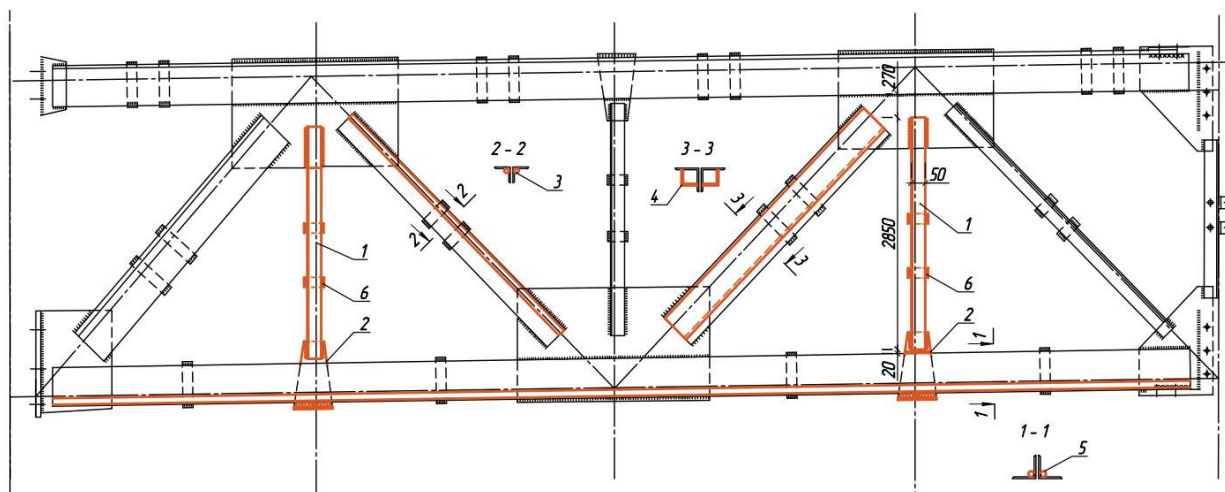


Рисунок 27 – Конструкция фермы после усиления, где цветом выделены дополнительные элементы (1 вариант реконструкции)

Таблица 7 Спецификация на элементы усиления (вариант 1)

Марка	№ поз.	Кол-во		Сечение, мм	Длина, мм	Масса, кг		
		т	н			шт.	всех	на марку
Ферма Ф1	1	4	-	└ 50x5	2850	11,1	45	167
	2	2	-	10x170	685	9,2	18	
	3	2	-	Ø20	3625	8,9	18	
	4	2	-	└ 45x5	3610	12,2	24	
	5	2	-	Ø20	11480	28,3	57	
	6	4	-	10x50	100	0,4	2	

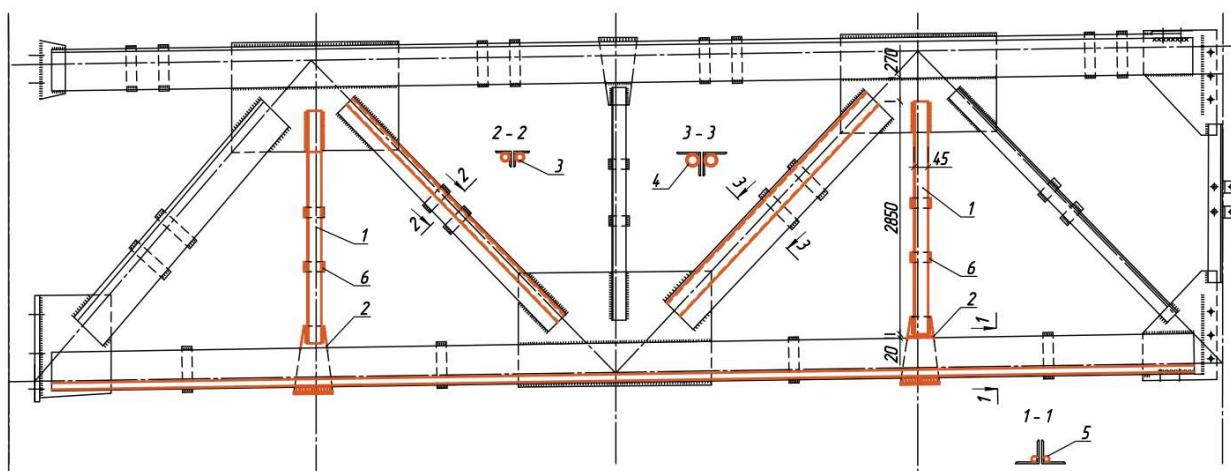


Рисунок 28 – Конструкция фермы после усиления, где цветом выделены дополнительные элементы (2 вариант реконструкции)

Таблица 8 Спецификация на элементы усиления (вариант 1)

Марка	№ поз.	Кол-во		Сечение, мм	Длина, мм	Масса, кг		
		т	н			шт.	всех	на марку
Ферма Ф1	1	4	-	└ 45x5	2850	9,6	38	152
	2	2	-	10x170	685	9,2	18	
	3	2	-	Ø40x3	3625	12,1	24	
	4	2	-	Ø40x4	3610	15,7	31	
	5	2	-	Ø16	11480	18,1	36	
	6	4	-	10x50	100	0,4	2	

Выводы по главе 2.

На примере складского помещения и применении в дальнейшем как производственное после его реконструкции, было показано, что усиление металлических ферм для установки грузоподъемных сооружений может быть широко использовано в строительной отрасли в целях экономии трудозатрат и денежных средств взамен необходимости возводить новое производственное здание.

В ходе реконструкции здания было проведено усиление металлической фермы, что позволило значительно повысить её несущую способность и обеспечить безопасность эксплуатации. Это стало возможным благодаря использованию современных методов усиления и высококачественных материалов.

Усиление металлической фермы было выполнено в соответствии с требованиями строительных норм и правил, а также с учётом особенностей конструкции здания. В результате проведённых работ удалось увеличить грузоподъёмность фермы и расширить возможности использования здания в качестве производственного.

Применение кран-балки в реконструированном здании позволяет эффективно использовать его для выполнения различных производственных задач. Благодаря усиленной металлической ферме, кран-балка может безопасно поднимать и перемещать тяжёлые грузы, обеспечивая тем самым высокую производительность и эффективность работы.

Таким образом, усиление металлической фермы при реконструкции здания позволило создать надёжную и безопасную конструкцию, которая может быть использована в качестве производственной площадки. Применение кран-балки обеспечивает эффективное использование пространства и позволяет выполнять различные производственные задачи.

Глава 3. Экономический расчет реконструкции здания при усилении

3.1 Подбор экономически эффективного метода усиления

С помощью проведения исследований, которые были выполнены в разделах, представленных выше, удалось разработать рациональные технологии для увеличения площади поперечного сечения стержней ферм, выполненных из спаренных уголков.

Такая технология становится возможной благодаря особому подходу к сварке, который подразумевает изменение и контроль её параметров. Такой подход позволяет эффективно повысить несущую способность стержней ферм. Подход эффективен как в процессе укрепления, так и для уже усиленных конструкций.

Какова экономическая и, что не менее важно в нынешних условиях, экологическая значимость, эффективность предлагаемых технологий?

Ответом на поставленный вопрос может послужить методика оценки экономической целесообразности проведения усиления Н.С. Стрелецкого.

«Любые усиления требуют затраты металла ΔG . Срок эксплуатации здания и сооружения увеличивается с увеличением на величину $t_2 - t_1 = \Delta t$, пока не будет достигнуто значение его предельной продолжительности. Последняя будет зависеть от состояния конструкции, а также от экономических требований в целом.»[13]

«Количество и величину усиления можно получить из сравнения затрат:

$$C_y = \sum c_i \Delta G_i \psi_i, \quad (6)$$

где C_y – затраты на усиление;

c_i – единичная стоимость работ и материалов при усилении;

ΔG_i – количество металла, необходимого для усиления;

ψ_i – коэффициент одновременности затрат (поскольку они производятся в разные сроки).»[19]

«Если имеются убытки U_i , которые несёт предприятие от стеснённых (в результате производимого усиления) условий, частичной или полной остановки производства, то суммарные затраты на усиление в этом случае составят:»[17]

$$C_y = \sum (c_i \Delta G_i + U_i) \psi_i \quad (7)$$

«Эти затраты должны погашаться стоимостью количества продукции Π_d , получаемой в результате продления срока эксплуатации, что выражается математически следующим неравенством:

$$C_y = \sum (c_i \Delta G_i + U_i) \psi_i \leq \Pi_d C_{\Pi}, \quad (8)$$

где $\Pi_d C_{\Pi}$ – единичная стоимость продукции предприятия.»[19]

«Следовательно, предельная стоимость усиления $C_y^{\text{пред}}$ будет выражаться следующим образом:»[20]

$$C_y^{\text{пред}} = \sum c_i \Delta G_i \psi_i \leq \sum \Pi_d C_{\Pi} - \sum U_i \psi_i. \quad (9)$$

«Из формулы (9) видно, что если второй член правой части неравенства $\sum U_i \psi_i$ приближается к нулю, усиление в подавляющем большинстве случаев будет экономически целесообразно, т.е. $\sum c_i \Delta G_i \psi_i$ чаще всего меньше $\Delta \Pi_d C_{\Pi}$.»[24]

«В этой связи делается чёткий вывод о том, что «из способов усиления, технологий их проведения, более экономичны оказываются те, применение которых предусматривает наименьшие потери в стоимости продукции

предприятия из-за нарушения технологии, частичной или полной остановки производства во время строительного-монтажных работ по усилению.»[9]

«Переходя от общих позиций, к конкретной проблеме усиления ферм покрытий промышленных зданий, следует прежде всего отметить, что эксплуатация стропильных ферм имеет одну существенную отличительную особенность. Эта особенность заключается в том, что данные фермы работают в условиях значительной постоянной нагрузки (от ограждающих элементов), достигающей при тяжёлом покрытии до 80% от полной, расчётной для ферм, величины.»[27]

«Как было изложено во введении, ряд рекомендаций, требуют порой до 50-ти процентов разгрузки усиливаемых ферм. Таким образом, для усиления становится необходимой разборка довольно значительной части ограждения: слоёв гидро-, тепло- и пароизоляции и железобетонных плит.»[19]

«В этой связи неравенство (9), отражающее степень экономической эффективности проводимого усиления, в общем, для любой строительной конструкции, в данном конкретном случае усиления стальных ферм покрытия требует корректировки и может быть записано в виде:

$$\sum (C_i \Delta G_i + U_i + C_p + C_{\text{эк}}) \psi_i \leq P_d C_{\Pi} \quad (10)$$

где C_p – стоимость работ, вызываемых возможной разгрузкой усиливаемых конструкций (разборкой и обратным устройством ограждения, вывозкой утилизационных отходов и т.п.);

$C_{\text{эк}}$ – стоимость работ по восстановлению экологически чистой среды обитания, нарушенной при разгрузке конструкций, требовавших усиления (восстановление нормального состояния почвенного слоя земли в зоне работы грузоподъёмных и транспортных средств, восстановление зелёных насаждений, газонов, утилизация разобранных слоёв покрытия и т.п.)»[18]

Суммарная стоимость всех работ, направленных на усиление,

выполненное по традиционным технологиям, определяется по формуле:

Таким образом, общая стоимость работ, связанных непосредственно с усилением, выполняемым по традиционным технологиям, определится, как

$$C_{\text{пр}} = \sum (C_i \Delta G_i + C_p + C_{\text{эк}}) \psi_i \leq P_d C_{\text{п}} - \sum U_i \psi_i \quad (11)$$

«Проанализируем, как изменится это неравенство в случае применения при усилении технологий, разработанных по результатам, представленным в данной работе.»[21]

«Применение технологий даёт следующее (рис 29):

– во-первых, уменьшается расход металла на 10...15%; таким образом, имеет место, соответствующее уменьшение стоимости и самого усиления, т.е. уменьшение величины $\sum c_i \Delta G$;

– во-вторых, исключается разгрузка усиливаемых конструкций; таким образом становятся нулевыми затраты на демонтаж покрытия, обратное его устройство и т.п., т.е. $C_p = 0$;

– в-третьих, исключаются связанные с разгрузкой нарушения экологии; соответственно исключаются и расходы на восстановление среды обитания, т.е. $C_{\text{эк}} = 0$;

– в-четвёртых, исключается вызываемая разгрузкой ферм стеснённая производствa, частичная или, тем более, полная его остановка, т.е. $\sum U_i \psi_i = 0$ »[21]

в-третьих, исключаются связанные с разгрузкой нарушения экологии; соответственно исключаются и расходы на восстановление среды обитания, т.е. $C_{\text{эк}} = 0$;

– в-четвёртых, исключается вызываемая разгрузкой ферм стеснённая производствa, частичная или, тем более, полная его остановка, т.е. $\sum U_i \psi_i = 0$.



Рисунок 29 Экономический эффект при реконструкции

Неравенство (12) примет в этой связи следующий вид:

$$\sum C_i G_i \psi_i < P_d C_{II} \quad (12)$$

т.е. очевиден значительный экономический эффект.

«Проиллюстрируем изложенное выше на конкретном примере: требуется усиление стальных сварных уголковых ферм покрытия промздания; размеры здания в плане 96×24 м; несущие конструкции ограждения – железобетонные, ребристые плиты 3×6 м; теплоизоляция – керамзитобетон толщиной 180 мм; кровля – трёхслойный, армированный гравием гидроизоляционный рулонный ковёр.»[19]

«Для проведения усиления по традиционным технологиям необходима

разгрузка ферм: в частности, разборка покрытия на площади порядка 1080 м².»[20]

Согласно вышеизложенным пунктам, возникает необходимость в выполнении следующих видов работ:

– Разборка кровельного пирога, который включает в себя покрытие из наплавляемых рулонных материалов, теплоизоляционного слоя из минераловатных плит, а также пароизоляционного слоя;

– Демонтаж основания кровельного пирога, выполненного из профилированного листа;

– Повторное устройство слоёв пароизоляции и теплоизоляции.

– Повторное устройство выравнивающей стяжки из ц/п материалов;

– Повторное устройство гидроизоляции из рулонной кровли.

– Работы по складированию, погрузке и перевозке образовавшегося строительного мусора;

– Повторное озеленение испорченных территорий в виде зеленых насаждений, газона и т.п.

По самым скромным подсчётам, стоимость в локальной смете по данным видам работ может составлять около 5 млн. рублей. Такая сумма получится за работы на относительно незначительному по объемам объекту.

Избежать демонтажа покрытия можно благодаря применению разработанных технологий усиления, которые подразумевают работы на уже смонтированных конструкциях. Такая технология исключит затраты на демонтаж.

Вместе с тем, суммарный экономический эффект достигается не только за счёт экономии на демонтаже, но также за счёт следующих факторов:

– уменьшение расхода материалов на усиление за счёт изложенных технологий;

– сокращение времени на работы за счёт непрерывности производства;

– добавочных выпуск конструкций промышленного здания;

– отсутствие затрат на экологические потери, вызванные демонтажом и

последующим устройством кровли.

Таким образом, экономический эффект возрастает десятикратно.

Для определения наиболее выгодного с экономической точки зрения разработанного варианта усиления был проведен анализ предложений на рынке поставщиков строительных материалов, включенных в спецификацию чертежей обоих вариантов, представленных в главе 2. Подобран средний показатель стоимости с учетом доставки и выполнен расчет затрат на материалы. Так как в большинстве случаев подрядные организации, предлагающие свои услуги по выполнению строительно-монтажных работ направляют коммерческие предложения заказчику с указанием стоимости своих работ за объем (тоннаж или метраж) монтируемых конструкций, то по этому критерию можно определить наиболее выгодный вариант.

В таблице 9 представлены затраты на материалы, применяемые для реконструкции складского здания и установки кран-балки по варианту 1.

Таблица 9 – затрат материалы для на усиления по варианту 1.

Марка элемента	Кол-во материала на одну ферму, кг	Кол-во материала на реконструируемое здание, кг	Стоимость материала за 1 кг с учетом доставки, руб.	Стоимость материалов на все здание, руб.
Л50х5	45	720	79,26	50707,2
Лист 10	20	320	67,7	21653,1
Круг Ø20	75	1200	67,1	80409
Л45х5	24	384	77,9	29919,7
Итого:				182689

В таблице 10 представлены затраты на материалы, применяемые для реконструкции складского здания и установки кран-балки по варианту 2.

Таблица 10 – затрат материалы для на усиления по варианту 10.

Марка элемента	Кол-во материала на одну ферму, кг	Кол-во материала на реконструируемое здание, кг	Стоимость материала за 1 кг с учетом доставки, руб.	Стоимость материалов на все здание, руб.
Л45х5	38	608	259	47241,6
Лист 10	20	320	67,7	21653,1
Круг Ø16	36	576	113,1	41548,4
Труба Ø40х3	24	384	257	29812
Труба Ø40х4	31	496	254,8	29434,5
Итого:				169689,6

На рисунке 30 представлена диаграмма сравнения затрат на материалы при реконструкции ферм по двум вариантам, разработанным в главе 2.

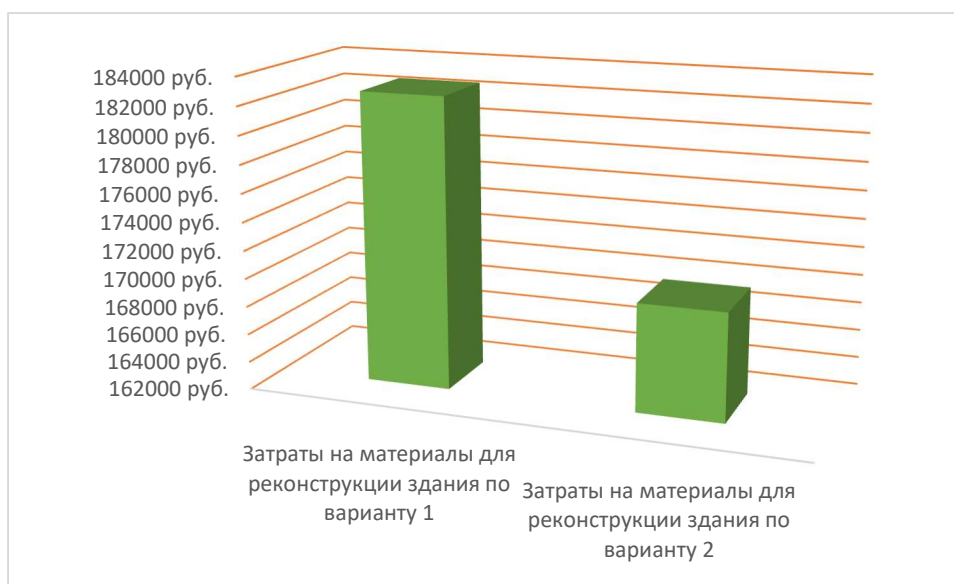


Рисунок 30 – Затраты на реконструкцию здания

Таким образом, можно сделать вывод, что для усиления металлических ферм наиболее выгодно использовать при их усилении (путем увеличения сечения поперечного сечения стержней) дополнительные элементы из труб круглого сечения. Экономия при использовании более предпочтительного

варианта составила 8%.

3.2 Экологическая значимость применяемого метода реконструкции

На вышеприведённом примере реконструкции пром. здания рассмотрим и экологическую значимость применения разработанных технологий усиления. В случае усиления по традиционным технологическим схемам необходима была бы разгрузка ферм от части покрытия и следовательно отчуждение полосы земли вдоль здания шириной до 50...60 м. Полоса включает зону движения крана, зону складирования плит, зону движения грузового автотранспорта. Фактически, это есть не что иное, как полоса прямых экологических нарушений: уничтожения биомассы, заражения почвенного слоя земли, грунтовых и подземных вод. С учётом временных дорог общая площадь прямых нарушений среды составит около 1,5 га.

«Далее, только в зоне демонтажа в результате работы крана, бульдозера, грузового транспорта будет иметь место загрязнение окружающего воздуха выхлопными газами в объёме более 200 тысяч кубометров: окисью и двуокисью углерода, окисью азота, углеводородами, альдегидами, сернистым газом, сажей, канцерогенами типа бензпирен, свинцом и его соединениями, фотохимическим смогом. Для затребованных машин по самым скромным подсчётам потребуется сжигание более 9 млн. литров кислорода.»[31]

На основе этого примера с реконструкцией небольшого предприятия можно сделать вывод, что применение новых технологий позволяет существенно сократить стоимость работ и избежать затрат на экологические нарушения. Учитывая, что на территории Российской Федерации находится более тысячи объектов, требующих реконструкции, такие технологии становятся всё более актуальными

«Мы не можем обойти стороной одну из самых важных сторон результатов исследования, которая заключается в экономическом значении этих исследований. Существует опасность глобальной экологической

катастрофы, которая угрожает всему миру. Данная угроза ставит перед человечеством жизненно важную задачу поиска способов, средств и методов, которые помогут защитить и сберечь окружающую среду. При рассмотрении всех процессов жизнедеятельности с разных ракурсов, можно увидеть множество негативных моментов в том, что казалось абсолютно позитивным.»[16]

«В частности, огромные объёмы нового строительства, вчера ещё казавшиеся прорывом в будущее, при внимательном рассмотрении с позиции экологии открывают качественно новую картину, а именно (рисунок 31): неизбежные при новом строительстве земляные работы, временные дороги, отвалы грунта, склады конструкций, стоки нефтепродуктов, выхлопные газы, токсичные вещества – являются в действительности нарушением природного ландшафта, отравлением атмосферы, земли, грунтовых и подземных вод, уничтожением биомассы, то есть оказываются ни чем иным, как самым настоящим разрушением среды обитания человека.»[19]

«На первый взгляд, очевидная с точки зрения экологии необходимость уменьшения нового строительства сталкивается с тем же самым, но, с другой стороны, она также является очевидной необходимостью увеличения производства.»[20]



Рисунок 31 Экологический эффект при реконструкции

Решением данной проблемы может служить более интенсивная эксплуатация уже существующих зданий и сооружений. Но препятствием в таком подходе могут служить факторы, связанные с текущим состоянием конструкций объектов, такие как моральный или физический износ. Таким образом, реконструкции зданий под новые производственные потребности может препятствовать неудовлетворительная несущая способность здания, или же вовсе аварийное состояние. Положение усугубляет ещё тот факт, что физический износ со временем имеет свойство прогрессировать, а вместе с ним прогрессирует и вероятность аварий.

Все вышеперечисленные факторы требуют серьезного внимания к вопросу реконструкции промышленных зданий, которое включает в себя разработку методик расчёта и разработку технологии усиления несущих конструкций промышленных зданий.

Выводы по разделу 3.

1. Результаты представленных в диссертации исследований имеют важное народно-хозяйственное значение. Внедрение разработанных на их основе рациональных технологий усиления стержней стальных уголкового ферм покрытий даёт значительный экономический и экологический эффект.

2. Экономическая эффективность внедрения разработанных технологий по сравнению с традиционными технологиями определяется следующим:

а) на 10...15% уменьшается расход металлопроката непосредственно на усиление;

б) на 70...80% сокращается масса наплавленного металла;

в) не требуется разгрузка ферм от части постоянной нагрузки и, таким образом, исключаются расходы на разборку и обратное устройство покрытия, вывозку строительного мусора, его утилизацию;

г) полностью исключаются производственные потери предприятия, объективно неизбежные в случае разгрузки усиливаемых ферм от части покрытия;

д) полностью исключаются расходы на восстановление экологически нормальной среды, нарушения которой будут неизбежны в случае разгрузки усиливаемых конструкций.

3. Экологическая эффективность внедрения разработанных технологий усиления определяется следующим:

а) исключаются нарушения экологии среды обитания непосредственно вдоль реконструируемого здания (в полосе, шириной 40...50 м), неизбежные в случае проведения усиления с разгрузкой ферм от части постоянной нагрузки;

б) не требуется утилизация материала разобранной части покрытия.

4. Применение разработанных технологий усиления стропильных ферм перспективно направлено на увеличение надёжности стальных каркасов промышленных зданий, предотвращение аварий и, таким образом, связанных с ними потерь экономического и экологического характера.

Список используемой литературы

1. Абашева, Л. П. Проектирование и расчет стальных ферм покрытий из парных уголков: метод. указания / Л.П.Абашева, И.И.Зуева; Перм. гос. техн. ун-т. — Пермь, 2008. — 46 с. — Текст: непосредственный.
2. Беляева З.В. Расчет и проектирование элементов металлических конструкций: учебно-методическое пособие / З.В. Беляева, С.В. Кудрявцев: Мин-во науки и высшего образования РФ ; Урал. федерал. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019.— 136 с. — Текст: непосредственный.
3. ГОСТ Р 57837-2017 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.
4. Долинский В.В. Стальные двутавровые ригели с гофрированной стенкой в сейсмостойких многоэтажных рамных каркасах. / В.В. Долинский Автореф. дисс. канд. тех. наук. Спец. 05.23.01. — Новосибирск, 1985. С. 22. — Текст: непосредственный.
5. Заборова Д.Д. Преимущества и особенности применения гофробалки в строительстве / Д.Д. Заборова, Ю.П. Дунаевская. — Текст: непосредственный // Журнал Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — № 22. — С. 36–53.
6. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт / Учебное пособие. — М.: Издательство АСВ, 2013. — 312 с.
7. Колотов О.В. Металлические конструкции: учебное пособие. / О.В. Колотов.— Н. Новгород: ННГАСУ, 2010. — 100 с
8. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций [Электронный ресурс] : учеб. пособие – Электрон. дан. – Санкт-Петербург :Лань, 2022. – 432 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/211232> (дата обращения: 20.01.23).

9. Мамченко В.О. Расчет балок на прочность и жесткость при прямом плоском изгибе: Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014.48 с.

10. Металлические конструкции: Учебник/ Ю. И. Кудишин [и др.] ; ред., Ю. И. Кудишин. 11-е изд., стер. Москва : Академия, 2008. 688 с.

11. Колесников, В. Д. Методы усиления металлических конструкций уменьшением расчетной длины сжатых элементов / В. Д. Колесников. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 21 (311). — С. 503-510. — URL: <https://moluch.ru/archive/311/70417/> (дата обращения: 22.01.2023).

12. Металлические конструкции каркасных зданий [Текст] : учебное пособие для подготовки бакалавров и магистров по направлению 270800 (08.03.01) "Строительство" и специалистов по специальности 271101 (08.05.01) "Строительство уникальных зданий и сооружений" / М. М. Копытов. Москва; Изд-во ТГАСУ : Изд-во АСВ, 2016. 399 с.: ил., таблица; 28 см.; ISBN 978-5-4323-0139-0.

13. Металлические конструкции Стрелецкий Н.С. (ред.), Гениев А.Н., Беленя Е.И., Балдин В.А., Лессиг Е.Н. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. Москва. 1962. 776 страниц.

14. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественного и обыкновенного качества общего назначения: ГОСТ 16523-97 : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 04.04.1999 № 113 : дата введения 2000-01-01. – Текст : электронный // Кодекс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005334/> (Дата обращения: 18.01.2023).

15. Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества: ГОСТ 14637-89 : утверждён и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 22.12.89 № 4023 : дата введения 1991-01-01. – Текст :

электронный // Кодекс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000119/> (Дата обращения: 15.01.2023).

16. Покрытия пролетами 24, 30 и 36 м. для зданий возводимых в сейсмических районах с расчетными температурами минут 40 °С и выше: Серия 1.460.3-15: утвержден и введен в действие постановлением Госстроя СССР от 20.09.82.

17. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства: ГОСТ 24045-2016: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 ноября 2016 г. N 1569-ст: дата введения 2017-04-01. – Текст : электронный // Кодекс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141111/> (Дата обращения: 20.01.2023).

18. РТМ 1652-9-89 Руководство по инженерно-техническому обследованию, оценке качества и надежности строительных конструкций зданий и сооружений / А.Д. Правенький [и др.]. Текст непосредственный / 1989. 125 с.

19. Родионов И.К., Родионов И.И. Технологические параметры сварки при усилении стальных ферм покрытия промышленных зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С. 10-15. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.2.

20. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм производственных зданий. «Сварочное производство» №4, 2009, с. 25-29.

21. Руководство по применению узлового метода проектирования, подготовки, организации и управления строительством сложных объектов и крупных промышленных комплексов. М., Стройиздат, 1982.

22. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. СВОД ПРАВИЛ НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ. Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2016. - 104 с.

23. Стальные конструкции: СП 16.13330.2017: утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального

хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. N 126/пр: дата введения 2017-08-28 – Текст : электронный // Кодекс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588/> (Дата обращения 22.01.2023).

24. Строительная климатология: СП 131.13330.2020: утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. N 859/пр : дата введения 2021-06-25 – Текст : электронный // Кодекс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358/> (Дата обращения 22.01.2023).

25. Уголки стальные горячекатаные равнополочные: ГОСТ 8509-93: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 5 апреля -ст : дата введения 1997-01-01 – Текст : электронный // Кодекс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001025/> (Дата обращения: 21.01.2023).

26. Файнштейн А.С. Стальные балки минимального веса: справочное и учебное пособие для инженеров, преподавателей, студентов и аспирантов / А. Файнштейн. - Москва: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. – 95 с.: ISBN 5- 7422-1321-2 – Текст: непосредственный.

27. Al-Sulaimani, G.J., M. Kaleemullah, I.A. Basunbul, I.A. Rasheeduzzafar, 1990. Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members. Struct. J., 87(2): 220-231

28. Andrade, C., C. Alonso and F.J. Molina, 1993. Cover cracking as a function of rebar corrosion: Part I- experimental test. Mater. Struct., 26: 453-464.

29. Bazant, Z.P., 1979. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures-theory. J. Struct. Div., 105(6): 1137-1153.

30. Bhargava, K., A.K. Ghosh, Y. Mori and S. Ramanujam, 2006. Model for cover cracking due to rebar corrosion in RC structures. Eng. Struct., 28: 1093-1109.

31. Cabrera, J.G. and P. Ghoddoussi, 1992. The effect of reinforcement corrosion on the strength of the steel-concrete bond. Proceedings of an International Conference on Bond in Concrete. CEB, Riga, Latvia.