

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

Архитектурно-строительный институт

Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

направление подготовки 08.04.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Техническая эксплуатация и реконструкция
зданий и сооружений»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: «Напряженное состояние сжатых стержней с прогибью одной из полок,
усиливаемых с применением сварки»

Студент	<u>Н.К. Степанов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>И.К. Родионов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент В.А. Ерышев
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)
« ____ » _____ 20 ____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н. Д.С. Тошин
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)
« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2017

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.1 Анализ аварий ферм покрытия производственных зданий	7
1.1.2 Некачественное выполнение монтажа конструкций.....	10
1.1.3 Ошибки, при эксплуатации конструкций	12
1.1.4 Классификация аварий стальных конструкций	14
1.1.5 Причины аварий металлических конструкций	16
1.2 Примеры аварий стальных ферм	28
1.2.1 Примеры аварий других стальных конструкций	43
1.2.2 Исследование аварий стальных конструкций	50
1.3 Анализ существующих методов усиления сжатых стержней ферм	53
1.3.1 Существующие методики определения напряжённо-деформированного состояния стержней ферм, подвергаемых усилению методом увеличения сечения.....	59
1.4 Исследования, выполненные в области усиления стержней стальных ферм	65
1.5 Сварочные напряжения и деформации при усилении стержней	66
1.6 Выводы по главе 1	68
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЖАТЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СТЕРЖНЕЙ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ.....	69
2.1 Данные об испытуемых образцах.....	69
2.2 Методики проведения эксперимента центральных и внецентренно – сжатых стержней	77
2.3 Результаты испытаний стержней.....	81
2.4 Выводы по главе 2.....	82
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	83

3.1 Определение несущей способности сжатого недеформированного стержня	83
3.2. Расчет несущей способности стержня со смалкованной полкой.....	87
3.3 Расчет предельно допустимой нагрузки деформированного стержня с учетом ослабления сечения при сварке	89
3.4 Выводы по главе 3	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
ОПУБЛИКОВАННЫЕ СТАТЬИ.....	94
Список использованной литературы.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ А	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ В	103
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	109

ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении развития промышленного производства страны с точки зрения экономики, можно отметить, что в ближайшем будущем основными направлениями станут такие направления как:

- модернизация технологий производства;
- замена и усовершенствование оборудования;
- техническое перевооружение производственных зданий.

Это позволит предприятиям, без увеличений строительных объемов зданий, выпускать более инновационную продукцию, что в разы дешевле, чем возведение новых зданий и сооружений.

Перечисленные факторы зависят от эксплуатации промышленных зданий и сооружений, в том числе, выполненных из металлического каркаса. Большое количество металлических конструкций производственных зданий на данный момент находятся в состоянии физического и морального износа. Исходя из этого, в скором времени потребуется усиление металлических конструкций, в частности стальных стропильных ферм покрытия, изготовленных из уголкового стального проката с фасонками из листовой стали.

Основное преимущество увеличения несущей способности таких ферм при усилении состоит в том, что для усиления не требуется большого количества элементов усиливающих основную конструкцию фермы. Один из основных методов повышения несущей способности, при деформации стержней стальных ферм на данный момент является метод увеличения сечений стержней, с помощью соединения на сварке дополнительных усиливающих элементов.

Из многочисленных обследований стальных ферм, можно сделать вывод, что большинство сжатых стержней стальных ферм имеют начальные деформации:

- общие

-местные (смалкование и размалкование)

В данной работе рассматривался вариант ослабления уголкового стержней местным смалкованием полков. Обусловлено это тем, что данный вопрос практически не был изучен ранее в научно-технических источниках.

Поэтому, актуальность работы заключается в том, чтобы получить начальную информацию о работе стержней, имеющих местные начальные деформации в виде смалкования (одной из полков уголка сжатых стержней стропильных ферм из парных уголков с прокладками из листовой стали), для того, чтобы в дальнейших более углубленных исследованиях существовали базовые разработки по данному вопросу.

Целью данной работы является обеспечение надежности стальных ферм покрытия производственных зданий, для достижения поставленной цели были разработаны следующие задачи:

1. Теоретическое исследование напряженного состояния сжатых стержней со смалкованием полков уголков, усиливаемых с применением сварки.

1.1. Исследование влияния эксцентриситетов на несущую способность сжатых стержней.

1.2. Исследование степени влияния теплового ослабления на несущую способность сжатых стержней.

2. Экспериментальное исследование напряженного состояния сжатых стержней с местным смалкованием полков уголков, усиливаемых с применением сварки.

Объектом исследования является стальная стропильная ферма покрытия с опорными сжатыми раскосами.

Предмет исследования – сжатый раскос из парных уголков с местным смалкованием полков одного из уголков.

Научная новизна заключается в том, что данный вопрос не исследован в настоящее время, либо не уделялось внимание его практической части.

В связи с этим, теоретическое и практическое значение данной работы заключается в разработке методов расчета и испытания угловых стержней с местным смалкованием полки.

Апробация работы. Результаты исследований по проделанной работе были заслушаны на научных семинарах, проводимых на кафедре «Городское строительство и хозяйство», ТГУ, Тольятти, РФ.

Также результаты экспериментальных данных докладывались на «Днях науки в ТГУ».

Также стоит отметить, что данная работа может послужить отправной точкой для дальнейших исследований данного вопроса.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ

1.1 Анализ аварий ферм покрытия производственных зданий

Как указали Б.И. Беляев совместно с В.С. Корниенко в книге, «выход из строя или отказ строительной конструкции – событие, после которого становится невозможной нормальная эксплуатация здания или сооружения без проведения соответствующих ремонтных или восстановительных работ.

К таким относят:

- 1) расстройство соединений элементов конструкций друг с другом;
- 2) местные нарушения целостности элементов и их соединений (трещины);
- 3) местные и общие деформации конструкций, превышающие норму;
- 4) предельный случай отказа – полный выход конструкции из строя, ее частичное или полное разрушение (авария).

В случае выхода из строя строительной конструкции, уже законченной монтажом или находящейся в эксплуатации, всегда возникает вопрос о ее надежности. Надежность конструкции обычно определяют как совокупность свойств, которыми обеспечивается ее бесперебойная нормальная эксплуатация в данных условиях»[2].

Исходя из практики применения стальных стропильных ферм покрытия, их долговечность и несущая способность могут снижаться из-за следующих факторов:

- Ошибки, связанные с изготовлением стальных конструкций на заводах;
- Некачественное выполнение монтажа конструкций;
- Ошибки, при эксплуатации конструкций.

1.1.1 Ошибки, связанные с изготовлением стальных конструкций

«Искривление сжатых элементов – наиболее часто встречающийся дефект изготовления, представляющий большую опасность. Как показывают

исследования, на заводах металлоконструкций до пятнадцати процентов элементов ферм имеют искривления, которые превышают допустимые по нормам, уже во время стадии изготовления. К основным причинам искривления элементов ферм можно отнести недостаточную правку проката и влияние сварки во время несимметричного наложения швов. Чаще всего повреждению подвергаются средние гибкие элементы решетки. При увеличении гибкости величина искривлений тоже увеличивается. Число элементов, которые искривлены в плоскости и из плоскости фермы, во время изготовления приблизительно одинаково»[4].

Основные повреждения и дефекты стальных ферм.

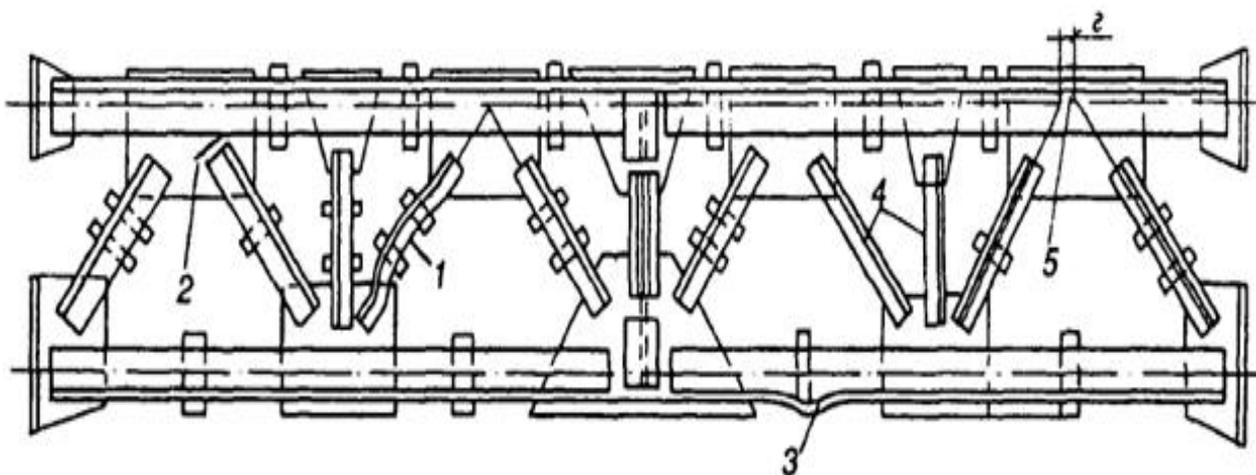


Рисунок 1 – Повреждения и дефекты стальных ферм.

1 –общая деформация; 2 - трещины; 3 –местная деформация; 4 - отсутствие листовых соединительных элементов; 5 –неправильное расположение элемента в конструкции.

По мнению Бамбурова А.В., «искривление элементов ферм, влечет за собой перераспределение дополнительных моментов, прогибы фермы начинают увеличиваться. Особенно опасным является искривление сжатых элементов. Как показывают исследования, уменьшение критических напряжений в искривленных стержнях достигает от пятнадцати до тридцати процентов. На практике были случаи аварий, которые вызывались искривлениями сжатых раскосов» [1].

«Совсем недавно сварные соединения элементов ферм делались ручной сваркой, из-за этого имело место большое число дефектов, наиболее существенными из которых являются подрезы и неполномерность шва (рис. 2). Количество дефектов стало значительно меньше после того, как при выполнении швов стала использоваться полуавтоматическая сварка» [1].

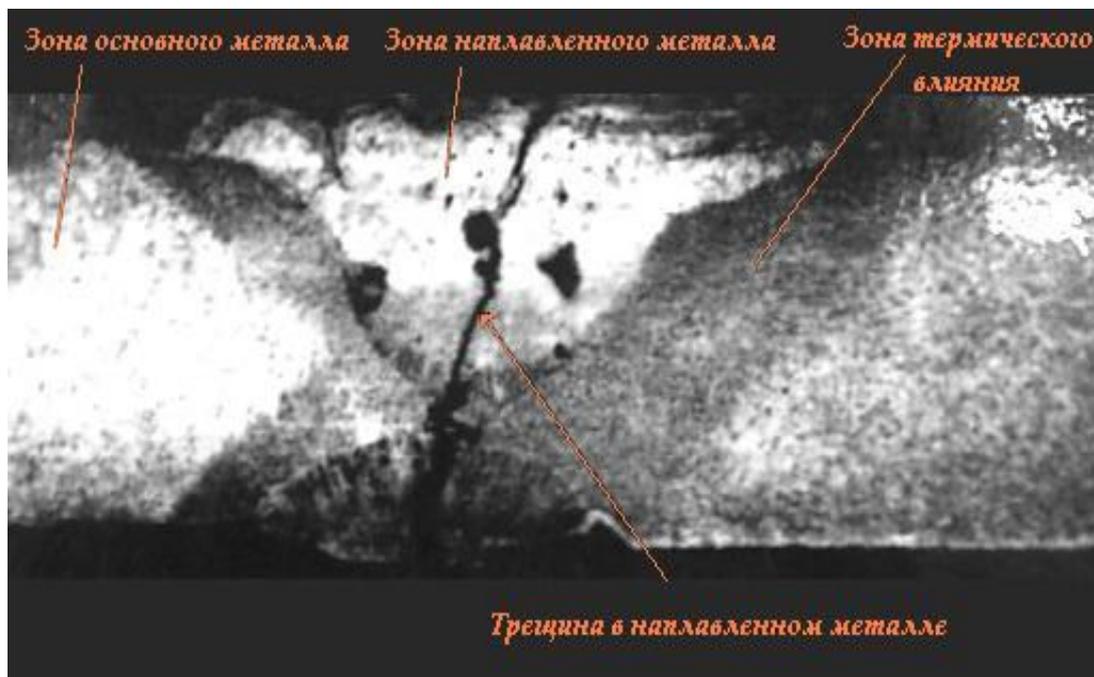


Рисунок - 2 Дефекты и повреждения, при сварке.

Рассматривая различные сварочные дефекты, можно отметить, что основной причиной их появления является отступление от проектной документации. Опасность этих дефектов заключается в том, что создают дополнительные напряжения в элементах конструкций. Больше всего это сказывается, во время эксплуатации конструкций, при отрицательных температурах, а также при воздействии различных технологических процессов производственных зданий (работа оборудования с высокой частотой колебаний, работа кранов).

Очень распространенным фактором появления различных дефектов при сварке в стальных стропильных фермах является несоблюдение минимального размера между сварными швами -4 см.

В конструкциях таких ферм могут появляться трещины в опорных узлах, вызванные растягивающим перенапряжением от сварки. Важно

отметить, что данный дефект может стать основной причиной обрушения конструкции, причем обрушение, скорее всего, будет скоротечным, что может послужить неблагоприятным фактором при эвакуации людей.

Еще одним фактором, неблагоприятно сказывающемся на работе стальной фермы, является несовпадение линии действия нагрузки и установленных стержней ферм, изготовленных в заводских или монтажных условиях. При данном дефекте происходит внецентренное давление на элементы конструкции фермы, что приводит к появлению дополнительных изгибающих моментов, а затем к деформации стержня и полному выключению его из работы.

Стоит отметить такой фактор появления аварийных ситуаций как отсутствие элементов в стропильных фермах из парных уголков, соединяющих уголки стержня между собой (сухари, прокладки). Данный фактор имеет большое влияние при нагрузках на сжатие, так как при отсутствии соединительных элементов или недостаточном их количестве элементы стержня не работают совместно, что приводит к быстрым появлениям деформаций и аварийному состоянию в дальнейшем.

1.1.2 Некачественное выполнение монтажа конструкций

К основным факторам, приводящим к деформации элементов стальных конструкций, при монтаже относятся:

- нарушение последовательности монтажа конструкций;
- некачественное или неточное выполнение монтажных узлов;
- отклонение от проектных осей или высотных отметок;
- повреждения, произошедшие непосредственно на строительной площадке.

На рисунке 3 представлено некачественное выполнение монтажного сварного стыкового соединения.



Рисунок 3 –Некачественно выполненный сварной стык стальных конструкций.

При монтаже стальных ферм покрытия важное значение имеет установка конструкции без смещения от проектных осей. При смещении изменяются расчетные значения моментов в узлах опирания фермы к колоннам и влекут за собой дальнейшее перераспределение моментов всей конструкции.

При примыкании стальных ферм к колоннам дефекты образуются из-за следующих факторов:

- недостаточное опирание конструкции фермы на опорный столик;
- несоосное соединение фланцев, что приводит к появлению эксцентриситета от передачи нагрузки на узел опирания.

Вышеуказанные факторы возникновения дефектов приводят к перегрузке элементов конструкции опорного узла и, следовательно

увеличивают нагрузку, передаваемую на колонны. Особую опасность это представляет для стропильных ферм с растянутым опорным раскосом. Например, из-за этого произошло обрушение стальной фермы и вышележащих конструкций металлургического цеха.

1.1.3 Ошибки, при эксплуатации конструкций

Конструкции стальных стропильных ферм покрытия, находящиеся в эксплуатации, нужно время от времени обследовать, чтобы определить неправильность работы конструкции до того как станет аварийной.

Также следует проводить работы предупреждающие появления различных вредных факторов (коррозия металла, сезонная перегрузка конструкции и др.). При недостаточном контроле за стальными конструкциями могут появиться деформации и в конструкциях, которые были изготовлены и смонтированы без ошибок.

Из всех видов повреждений стропильных ферм покрытия наиболее часто встречающиеся – общие и местные деформации. Основными источниками этих деформаций являются следующие факторы:

- перегрузка стропильных ферм (снеговые нагрузки, скопление пыли);
- увеличение нагрузок при реконструкции, ремонте или техническом перевооружении здания;
- влияние теплового и влажностного режима в производственных цехах;
- протечка кровли и последующее попадание влаги на стальные элементы фермы;
- влияние технологических процессов на работу ферм (например, вибрационные колебания от оборудования).

При деформации элементов стальных ферм от действующих нагрузок, обычно, прогибы сначала появляются в элементах, работающих на сжатие, а уже потом в элементах, работающих на растяжение. Если при обследовании конструкции выяснено, что число сжатых элементов с прогибами равно

числу растянутых элементов с деформациями того же рода, то можно считать, что главный фактор деформаций фермы является сборка конструкции в цехах или на строительной площадке.

Особое внимание, при эксплуатации стропильных ферм, стоит отнести к появляющимся местным и общим деформациям элементов фермы. Важно определить причину деформаций и принять меры по их устранению. Своевременно выполненные работы по обследованию элементов ферм могут позволить избежать аварий.

При эксплуатации зданий не всегда уделяется внимание скоплению снега на покрытии или технической пыли непосредственно на ферме, но эти факторы могут оказаться фатальными для работы конструкции, например в одном из цехов производству цемента скопление пыли на решетке фермы привело к ее обрушению и опиравшегося на нее покрытия. Это связано, прежде всего, со значительной перегрузкой конструкций ферм. Во избежание деформаций и аварий конструкции ферм, при перегрузке снеговыми нагрузками или скоплением пыли необходимо периодически осматривать и очищать конструкции.

В процессе эксплуатации здания, при установке дополнительного оборудования не всегда производят перерасчет конструкций с учетом возникающих дополнительных нагрузок, что может привести к деформациям элементов ферм и нарастанию в них последующих напряжений.

Также особое внимание стоит уделить работам по ремонту кровли. При некачественном выполнении работ по гидроизоляции внутрь кровельного пирога будет поступать влага, что произошло в бассейне г. Чусовой. Попадающая на конструкцию влага вызывает попеременное замораживание и оттаивание элементов решетки фермы во время смены сезонных изменений погоды. Затем происходит коррозия металла и нарастание напряжений в узлах ферм, что в конечном итоге может привести к аварии покрытия здания.

Решетчатые конструкции ферм имеют затрудненный доступ к элементам, что осложняет работы по восстановлению антикоррозионного слоя в процессе эксплуатации. По истечению 3-4 лет с момента ремонта антикоррозионное покрытие начинает разрушаться и происходит нарастание коррозии в металле конструкции.

В производственных цехах, основные технологические процессы которых вызывают нагрев стальных ферм покрытия в диапазоне 200-500 градусов Цельсия, происходит ограничение температурных перемещений поясов ферм. Возникают дополнительные сжимающие нагрузки на пояса ферм, вследствие чего возникают прогибы, превышающие допустимы и происходит общая потеря устойчивости.

На эксплуатацию ферм оказывают большое влияние динамические воздействия от технологических процессов предприятия (движение крана, воздействия вибрации от оборудования). Эти воздействия являются одной из причин усталостных деформаций металла.

1.1.4 Классификация аварий стальных конструкций

По заключения автора, Ф. Д. Дмитриева[6], «причины крушений можно разделить на три основные группы:

- крушения, которые вызваны ураганом, наводнением, землетрясением и т. п.;
- крушения, которые вызваны не идеальностью инженерно-технических приемов (наиболее крупная группа);
- крушения, вызванные социально-экономическими условиями, которые присущи капиталистическому миру.

Технические причины катастроф также разделяются на три группы:

- дефекты основания;
- потеря устойчивости;
- неудовлетворительное производство работ».

По мнению автора А. И. Мизюмского, представляется классификация аварий и крушений [7], где рассмотрены исключительно металлические конструкции, причем тех аварий, которые вызваны исключительно «инженерно-техническими причинами:

- вызванные дефектами, которые связаны с ошибками проектирования;
- вызванные дефектами, которые возникли в процессе производства работ;
- вызванные дефектами, которые связаны с эксплуатацией;
- вызванные недостаточной изученностью условий работы и свойств применяемых материалов» [7].

Главным показателем качества стальных конструкций зданий является надежность, которая зависит от большого числа факторов, таких как:

- сортамент элемента;
- марка, из которой выполнены стальные конструкции;
- качество сборки на заводах-изготовителях и на монтажных площадках;
- вовремя выполненные работы по ремонту конструкций;
- выполнение работ по усилению, при необходимости.

Вышеуказанные факторы непосредственно воздействуют на несущую способность здания и его отдельных элементов.

Каждое аварийное состояние конструкции или вовсе ее обрушение является суммарной составляющей нескольких причин, а не какой-либо одной.

Рассматривая большое количество аварий, при которых происходило обрушение целых конструкций, довольно проблематично выявить основной фактор, приведший к крушению. Зачастую это связано с тем, что при обрушении и последующем падении деформируются практически все элементы конструкции.

Главным вопросом, после того как конструкция оказалась в аварийном состоянии или вовсе обрушилась, становится определение истинной причины, которая привела к данной ситуации.

На практике немало примеров, когда неверное определение главного фактора, приведшего к аварийной ситуации, являлось причиной повторного появления аварийной ситуации или обрушения конструкции.

1.1.5 Причины аварий металлических конструкций

Не смотря на такие качества стальных конструкций как способность воспринимать большие нагрузки, небольшая масса и др., они имеют один серьезный недостаток – при выходе из работы одного элемента конструкции вся конструкция становится аварийной или даже происходит обрушение. На практике также существуют примеры, когда в зданиях, состоящих из конструкций различных материалов, основным фактором обрушения или аварийного состояния были деформации элементов стальных конструкций, которые являлись одной из частей каркаса.

Среди различных причин аварий наиболее часто встречающиеся следующие:

1. Повышение нагрузок или ослабление основного сечения, вследствие чего происходит перегрузка.
2. Общая и местная потеря устойчивости конструкции.
3. Ошибки, при проектировании.
4. Неправильность монтажа или изготовления стальных конструкций.
5. Неправильность методов и решений во время эксплуатации конструкции.
6. Усталостное разрушение стальных конструкций.
7. Низкие технические характеристики грунтов основания, на которые устанавливаются конструкции.
8. Непредвиденные причины аварий.

Перегрузка стальных конструкций

После исследования причин аварий стальных конструкций из-за перегрузки, можно отметить, что большая часть обрушений происходит ввиду скопления огромного количества снега и отсутствия уборочных работ покрытий от него.

В проектах рассчитывают средние значения нагрузок, которые должны поддерживаться при эксплуатации зданий, но этого иногда не происходит и в итоге возникают дополнительные напряжения в узлах конструкций, что может привести к аварии.

Еще одной причиной перегрузки конструкций промышленных зданий является накопление выбросов технических отходов, которые впоследствии оседают на кровле зданий. Данный вид перегрузки опасен тем, что его сложно определить во время осмотра конструкций ферм, но возможно избежать его при надлежащем осмотре и уборке кровли здания.

Необходимо учитывать действительные погодные условия того или иного района строительства во время проектирования здания, а особенно во время проведения эксплуатационных работ.

Как отмечалось выше – наиболее частые перегрузки происходят из-за воздействия снеговой нагрузки. Поэтому необходимо тщательно, а главное своевременно очищать конструкцию кровли от снега. Также не стоит забывать осматривать водостоки зданий для быстрого удаления воды с кровель во время обильных дождей.

Потеря устойчивости

Практически все аварии или обрушения связаны потерей устойчивости отдельных элементов или сразу всей конструкции или группы конструкций. Устойчивость элемент может потерять при местных деформациях или при общих.

Угроза обрушений, связанных с потерей устойчивости приобретает важное значение потому что может произойти совершенно случайно.

Если элемент конструкции находится под нагрузкой равной максимальной, то для того, чтобы он обрушился нужно нагрузить его в любом направлении. При этом данный элемент моментально потеряет устойчивость, начнет изгибаться, а затем произойдет авария.

В этой связи стальные конструкции больше всех зависят от устойчивости, потому что, как правило, соотношение длины к площади поперечного сечения данные конструкции наибольшее из всех известных строительных материалов.

Многие факторы могут способствовать потере устойчивости стальных конструкций, некоторые из них представлены ниже:

- неправильное проектное решение по устройству неразрезных систем по верхним поясам ферм, вследствие чего происходит потеря устойчивости нижних поясов;

- невыполнение установки соединительных элементов двух конструкций на строительной площадке во время возведения здания или при проведении ремонтных работ во время эксплуатации здания;

- отклонение от проектной документации, в частности может быть замена сечения основных элементов конструкции фермы, не обоснованная расчетными данными.

- ошибки, допущенные при сборке конструкции заводом-изготовителем или на монтаже.

Также, потеря устойчивости возможна от недоучета возможных изменений знака нагрузки во время работы конструкции, что может привести к деформации и выходу из работы одного элемента фермы, увеличению напряжений в других элементах, а в конечном результате и вовсе обрушения конструкции или здания.

Возможной причиной аварии также могут стать факторы, приведенные ниже:

-Аварии, причиной которых стало неправильное или недостаточное закрепление связями.

-Обрушения каркасов зданий, связанных с потерей местной устойчивости элементов конструкций.

-Влияние возникающих усилий в элементах с разными знаками.

Ошибки при проектировании

Большое число обрушений произошло также и в результате неудачных проектных решений или вовсе ошибок или просчетов. Всё их многообразие тяжело отобразить или даже классифицировать ввиду индивидуальности стальных конструкций зданий.

Некоторые, более часто встретившиеся на практике за последние десятилетия представлены ниже:

1. Игнорирование или не рассмотрение работы стальных конструкций в конкретных условиях, а именно недоучет суммарного воздействия различных силовых факторов на элементы конструкций, что приводит к неверно поставленному расчету конструкции в целом.
2. Неправильное расположение, соединяющих элементы каркаса между собой, элементов. Особенно проявляется в стальных конструкциях, участвующих в работе покрытия.
3. Халатность, при необходимости проведении расчетов, когда необходимо произвести усиление конструкции, а также запроектированные трудно ремонтируемые элементы конструкций и зданий;
4. Необоснованное применение более низких марок стали в расчетах, особенно при возведении зданий, в климатической зоне которых, имеют большое влияние воздействия отрицательных температур;
5. Неверно выбранная толщина элемента стальных профилей, при правильно подобранном размере сортамента.

б. Безосновательные внесения новых разработок в стандартные конструкции, которые применялись многократно и показывали свои, отвечающие нормам, технические характеристики.

В результате всех вышеперечисленных факторов возможны ослабления основных технических показателей конструкций и появление аварийного их состояния.

Работа подкрановых балок до сих пор не в полной мере исследована, поэтому ниже представлены возможные причины аварий таких конструкций:

-во время разработки проекта не берется во внимание влияние действия работы мостового крана на нормальную эксплуатацию;

-усталостные дополнительные деформации, вызванные непосредственной работой крана и других механизмов, способствующих появлению вибрации. Зачастую является образованием различных трещин в металле;

-неправильный способ соединения балочных конструкций в опорной зоне, который изменяют расчетную схему, а соответственно и работу всей конструкции.

Разрушение по хрупкому сценарию

По количеству аварий, аварии при хрупком разрушении идут после аварий, связанных с потерей устойчивости. Хрупкое разрушение зачастую возникает при ошибках тех конструкциях, в расчете которых были допущены существенные ошибки при проектировании, либо при отклонении от проектной документации, в частности может быть замена размера поперечного сечения без расчетного обоснования.

Хрупкое разрушение в стальных конструкциях может возникать при следующих факторах:

-при эксплуатации стальных конструкций в кондициях отрицательных температур, что является наиболее частой причиной.

-при применении строительных материалов, которые заведомо предрасположены к хрупкому разрушению, например специальных сталей, которые используются только в конкретных условиях работы;

-имеющиеся в элементах стальных конструкций дефекты, деформации и прочие факторы, снижающие несущую способность.

-при возникновении различных сочетаний нагрузок, которые могут привести к образованию дополнительных напряжений;

-при влиянии различных видов вибрационных воздействий и воздействий, связанных с динамикой технологических процессов того или иного здания.

Особенно уязвимы стальные конструкции к воздействию холода, поэтому в условиях отрицательных температур применяют специальные марки стали. Холод, как отмечалось выше, является главной причиной хрупких разрушений стальных конструкций. Усугубляют положение, в данном случае, различные дефекты и деформации в элементах стальных конструкций и в сварных соединениях, которые и без воздействия отрицательных температур работают практически на пределе своей несущей способности.

Также хрупкое разрушение может быть следствием неправильного выполнения сварочных работ на строительной площадке, что сказывается при проведении работ, при отрицательных значениях температуры наружного воздуха. Основные причины хрупкого разрушения при сварке представлены ниже:

-применение электродов низкого качества;

-неправильная последовательность наплавления металла;

-отсутствие какой-либо защиты от ветрового воздействия;

-некомпетентный контроль сварных соединений или вовсе его отсутствие.

Хрупкое разрушение при сварке также может произойти и из-за присутствия концентрации напряжений в конструкции, которыми могут быть различные технологические отверстия в конструкциях.

Неправильности, произошедшие во время сборки конструкции на заводах или на монтаже

Основным фактором обрушения конструкции во время монтажа является невыполнение нормативных документов, отклонения от проектной документации, неправильный порядок соединения конструкций между собой во время строительных работ.

Ошибки, которые были сделаны при сборке конструкции, редко являются главным фактором аварийного состояния. Бывает, что серьезные расхождения с проектной или нормативной проявляются со временем, от суммарного влияния сразу множества причин.

Причиной обрушения стальных конструкций может быть также вызвано некачественным созданием их на заводах-изготовителях.

К ним можно отнести:

-применение материалов, которые не соответствуют данным техническим, климатическим и другим условиям;

-низкое качество выполнения работ основных узлов стальных конструкций;

-неправильное хранение стальных конструкций;

-замена профилей металла или замена класса стали без применения расчетов.

Нередко бывает, что стальные конструкции привозят на монтаж уже с наличием различных дефектов, с несовпадением линейных размеров по сравнению с проектом, с некачественными сварными соединениями, с наличием деформаций отдельных элементов конструкции.

Также не следует монтировать металлоконструкции без дополнительных подготовительных работ и проверке качества работ,

предшествующих работам по возведению металлического каркаса, такими работами являются:

- геодезическая разбивка здания на местности;
- устройство фундаментов под металлические колонны.

Во время сборки конструкции на монтаже, работа данной конструкции имеет существенное различие по сравнению с действительной работой во время эксплуатации, поэтому обязательным к выполнению становится проект производства работ.

Например, в определенном моменте возведения конструкции на монтаже еще отсутствуют различные соединительные элементы, которые увеличивают несущую способность здания в целом, и которые служат для его работы в пространстве.

Неправильная последовательность монтирования стальных конструкций на монтаже, не правильно выбранное место крепления конструкции к средствам перемещения конструкции по строительной площадке, могут быть причиной обрушения. Очень важно, чтобы крепление конструкции к стропам осуществлялось в основных узлах.

Аварии также часто происходят и при несвоевременной установке соединительных элементов двух конструкций или неправильного их закрепления. Это может вызвать нагрузки, на которые не работают данные конструкции и произойдет авария.

Еще одной причиной аварий является отсутствие обследования стальных конструкций после застоев в строительном-монтажных работах, особенно это сказывается при нахождении конструкций на открытом воздухе.

Распространенные причины появления дефектов при монтаже представлены ниже:

- неправильная установка конструкций колонн по высоте, что приводит к дополнительным напряжениям;

-неправильная установка узлов в пространстве, что приводит к появлению дополнительных моментов;

-некачественное выполнение сварных соединений;

-установка конструкций внецентренно, относительно точки приложения нагрузки;

-изменение расчетной схемы из-за неправильного выполнения узлов.

Неправильности при эксплуатации конструкции (сооружения)

Из всего многообразия причин возникновения аварий стальных конструкций стропильных ферм, во время эксплуатации, можно выделить следующие:

1. Отсутствует профилактика предупреждения аварий, которая производится с помощью ремонта.

2. Отсутствие каких-либо обследований конструкций;

3. Крепление к существующим конструкциям различных элементов, что может вызвать перегрузку.

4. Неправильное проведение работ по усилению во время работ по реконструкции или технического перевооружения. Может стать причиной аварии, так как конструкции уже находятся под нагрузкой.

5. Отсутствие очистки кровли здания от накопившихся осадков, технических выбросов и др.

6. Невыполнение работ по восстановлению антикоррозионного слоя, утраченного в процессе эксплуатации конструкции. Также может быть связано с отсутствием различных осмотров конструкции.

7. Неправильная технология работ, при заполнении и опустошении разных резервуарных конструкций.

8. Типичная халатность служб, занимающихся эксплуатацией, приводящая к различным последствиям.

8. Аварии, произошедшие в результате усталости металла и вибрации

Из большого количества стальных конструкций, наиболее подверженные усталостным деформациям, являются стальные балки по которым передвигаются мостовые краны. Исходя из данных условий необходимо на всех стадиях, от проектирования до монтажа, разрабатывать эти балки на высочайшем уровне.

Важно отметить, что также необходима точная установка всех нижележащих от балки конструкций (фундаментов, колонн), потому что даже малейшая неточность, больше допустимой, осложнит дальнейший монтаж и изменит работу всей конструкции целиком.

Также важно, что работа балок для мостовых кранов зависит и от постоянной корректировки во время эксплуатационных работ, так как любое отклонение по высоте и длине может послужить причиной для крупной аварии в промышленном здании.

Основные причины аварий подкрановых балок представлены ниже:

Балки мостовых кранов воспринимают большое количество различных видов нагрузок, в том числе крутящий момент и внецентренные силы по обоим направлениям приложения нагрузки.

Эксцентриситет в подкрановых балках появляется по следующим причинам:

- несоответствие установки конструкции крана;
- появление недопустимых зазоров между рельсом и конструкцией;
- внецентренная нагрузка на рельс;

Повреждения и деформации, которые возникают в процессе работы подкрановой балки указаны ниже:

Дефекты затормаживающих конструкций и их соединений.

Трещины в рельсовых конструкциях и дефекты соединения рельсов.

Дефект или полный выход из работы соединений на заклепках и сверхпрочных болтах.

Хрупкое разрушение соединительных элементов балки в верхнем поясе конструкции.

Дефектность оснований, на которые установлены металлические конструкции

Дефекты, аварии или обрушения металлических конструкций могут происходить даже при выполнении всех указаний нормативных источников и проектной документации, отсутствии дефектов при изготовлении и монтаже, правильной эксплуатации металлоконструкции. Это связано с выполнением работ, предшествующих возведению стального каркаса, в частности монтаж фундаментов. При некачественном выполнении работ по возведению фундамента и последующей его деформации, деформации получают также и стальные конструкции. Значит, перед монтажом металлоконструкций необходимо убедиться в правильности устройства фундаментов, а иногда даже требуется проверить технические свойства грунта под фундаментом.

Ниже представлены различные причины возникновения аварийных ситуаций стальных конструкций из-за низких механических характеристик грунта основания:

- разные значения осадок конструкций фундаментов;
- слабое основание, из-за чего происходит выдавливание;
- воздействия отрицательных температур;
- обрушения грунтовых масс и др.

Наиболее опасной деформацией грунта для работы стальных конструкций является осадка, с разными ее значениями, грунтовых масс под подошвой фундамента. Это может являться причиной изменения расчетной схемы конструкции, а также появления различных деформаций в стальных конструкциях. Недостаточная несущая способность грунтов основания могут

стать причиной появления аварийной ситуации или привести к обрушению конструкции.

Непредвиденные причины аварий

Как указывалось в предыдущих пунктах, причиной аварии могут стать различные факторы - от проектирования до эксплуатации, но на практике также встречаются непредвиденные факторы, предугадать которые невозможно. Исследование влияния данного фактора способствует нахождению различных деформаций стальных конструкций, не встречавшихся ранее, а затем и вовсе позволит изготавливать стальные конструкции с учетом случайных факторов воздействия на несущую способность.

Большое количество таких примеров можно подчерпнуть из примеров обрушения стальных конструкций мостов с различным конструктивным исполнением.

1.2 Примеры аварий стальных ферм

1. Обрушение блока стропильных ферм склада руды и концентрата

В июле 1965 г. произошло обрушение смонтированного блока из двух стропильных ферм пролета строящегося здания склада руды и концентрата комплекса аглофабрики металлургического завода. Металлические фермы пролетом 36м имеют ломанный верхний сжатый пояс и вставку в средней части фермы в виде жесткой замкнутой стальной рамы, к нижнему поясу которой крепится транспортерная галерея.

Узлы верхнего пояса фермы в месте примыкания к раме имеют листовые шарниры и поэтому верхний пояс не обладает непрерывной жесткостью из плоскости фермы по всей длине пояса, так как он в плане состоит из трех участков, шарнирно соединенных между собой. Узлы нижнего пояса присоединены к раме также на листовых шарнирах из плоскости фермы.

Такое конструктивное решение следует признать неудачным, так как при монтаже, в случае недостаточной развязки верхнего и нижнего пояса в местах листовых шарниров ферма может терять устойчивость даже при самых малых усилиях.

В соответствии с проектом производства работ монтаж покрытия производился при помощи башенного крана грузоподъемностью 48 т укрупненными блоками из двух стропильных ферм, которые перед подъемом и установкой в проектное положение соединялись между собой железобетонными плитами по нижним поясам жестких рам и временными монтажными связями.

К моменту аварии фермы уже были смонтированы, а блок установлен в проектное положение, и фермы этого блока прикреплены к ж/б колоннам анкерными болтами. Между установленным блоком и фермами было поставлено несколько ж/б плит, прогонов и монтажные связи, которые, как

выяснилось после аварии, были закреплены в узлах или неполным количеством болтов, или болты совсем не были установлены, а некоторые элементы связей держались только на скрутках проволоки.

Недостаточное прикрепление связей не было замечено руководителями монтажа и авторским надзором на исполнении ППР. Обрушение блока стропильных ферм произошло через 14 часов после установки его в проектное положение.

Незадолго до обрушения прекратилась подача электроэнергии, и все монтажники перешли по ж/б плите, установленной между нижними ригелями рам, на ранее смонтированные участки покрытия транспортерной галереи.

Башенный кран отошел на 12 м от оси здания, где произошло обрушение, гусеничный кран также работал не в зоне обрушения. Через несколько минут после прекращения работ на этом участке послышался треск и конструкции начали медленно обрушаться. По показаниям одного из очевидцев, вначале блок качнулся в сторону, после чего начали прогибаться нижние пояса ферм в месте крепления их к транспортерной раме, затем произошло медленное соскальзывание опорных узлов с вершук колонн. После удара опорных узлов ферм о сборные ж/б конструкции бункерной эстакады и последующего соскакивания опорных узлов ферм с уголков колонн произошло полное падение блока стропильных ферм на землю.

Стропильные фермы упали на землю с сохранившимися опорными узлами, при этом блок был пространственно несколько скручен. Со стороны оси Ж конструкции ферм при ударе о бункерную эстакаду были значительно деформированы и повреждены, нижний пояс преломлен.

Как было подсчитано, в момент аварии нагрузки на ферму составляли не более 25% принятых в расчете нормативных нагрузок.

При обследовании обрушившегося блока было установлено следующее:

Стропильные фермы изготовлены из прокатной стали марок ВМ Ст.3пс и, частично, ВМ Ст.3сп, сварка производилась электродами типа Э-42 на заводе-изготовителе конструкций (марка АНО-4) и электродами Э-42А при монтаже (марки СМ11 и ДСК50);

При тщательном осмотре всех деформированных и разрушенных элементов хрупких разрушений основного металла, сварных швов и околошовных зон не обнаружено, все разрывы и деформации имеют признаки пластической стадии разрушения;

Заводские швы в большинстве соединений выполнены удовлетворительно, однако в отдельных местах имеются отклонения от проекта, как например: в ферме по оси 11 раскос приварен со стороны обушка швом катетом меньше проектного на 4мм.

Основной причиной обрушения блока стропильных ферм является недостаточное прикрепление его дополнительными монтажными связями к ранее установленному связевому блоку, поэтому гибкость верхнего ломаного сжатого пояса из плоскости фермы превышала допустимую, вследствие чего и произошла потеря его устойчивости из плоскости фермы.

2. «Обрушение покрытия в двух блоках мартеновского цеха»[2]

В январе 1967 года произошло обрушение части покрытия металлургического завода в городе Днепропетровск.

Во время обследования стальных ферм было обнаружено, что фасонки крепления ферм были с большим количеством повреждений, большая часть расчетных болтовых соединений разрушились. Также обнаружилось, что на кровле здания присутствовало большое количество технической пыли; это указывало на то, что в течение длительного срока не происходило каких-либо работ по эксплуатации и осмотрам конструкций.

Основными причинами аварии являются следующие факторы:

-превышение расчетной нагрузки на покрытие здания от большого количества технической пыли;

-отсутствие соединительных элементов в конструкции, которое допустили монтажники и надзорные органы за строительством, что привело к изменению расчетной схемы фермы.

Одной из предпосылок этих факторов является недостаточное акцентирование в рабочих и проектных документах о порядке выполнения строительно-монтажных работ. Отсутствие в чертежах конструкций металлических детализованных данных указаний, конечно, не являлось главной причиной аварии, но несомненно могло повлиять на нее.

3. Обрушение покрытия бассейна «Дельфин» в г. Чусовой.

В здании плавательного бассейна «Дельфин», расположенного по ул. Сивкова, 11 4 декабря 2005 г. в 14ч 30 мин местного времени произошло обрушение части покрытия помещения, в котором была размещена большая ванна. Обрушились две стальные фермы ФС1 и ФС2 пролетом 21 м с элементами вертикальных и горизонтальных связей, а также ребристые ж/б плиты покрытия размерами 1,5х6 м с элементами совмещенной кровли, вытяжной шахты, конструкциями подвесного потолка и ходовых мостиков.

Обрушение произошло в результате разрыва горизонтальной стыковой накладке и фасонки в монтажном узле нижнего пояса фермы ФС2 . Разрыв произошел в результате потери несущей способности стыковой накладке.

Главным фактором стало уменьшение площади рабочего сечения накладке и фасонки более, чем на 50%, вследствие коррозии металла.

Далее ферма ФС2 преломилась в середине пролета, и началось ее перемещение в пространстве. Одновременно ферма ФС1, увлекаемая падающей фермой ФС2, сорвалась вместе с опорной подушкой со стены, при этом срезалась часть кирпичной кладки, выдавила опорным узлом участок противоположной стены, и произошло массовое обрушение покрытия.

Основной причиной сильной локальной коррозии стало систематическое замачивание этого узла атмосферными осадками из-за нарушений герметичности гидроизоляционного ковра в месте примыкания его к вытяжной шахте. Развитию коррозии металла ферм способствовала также влага, конденсирующаяся на поверхностях конструкций из-за вероятных нарушений температурно-влажностного режима в межферменном пространстве.

Основные дополнительные факторы, способствовавшие аварии:

1) отступления от типового проекта, в частности: замена низколегированной стали поясов ферм на сталь марки ВСтЗсп, замена низколегированной стали горизонтальной стыковой накладке в монтажном узле на углеродистую кипящую сталь марки Ст1кп;

2) замена утеплителя на кровле – керамзитового гравия на фиброцементные плиты, использование в составе кровли гранулированного доменного шлака сложного химического состава, изменение конструкции вытяжной шахты и конструкций опирания этой шахты на фермы покрытия;

3) увеличение фактической постоянной нагрузки на фермы от кровли вследствие увлажнения материалов «кровельного пирога» конденсатной влагой

Отмеченные выше факторы стали возможными из-за многочисленных отступлений от требований действующих СНиП на всех этапах возведения здания.

4. «Обрушение части покрытия главного корпуса обогатительной фабрики в г. Апатиты»[2]

В апреле 1964 года произошла авария, связанная с обрушением части покрытия нескольких соседних пролетов предприятия.

Причиной обрушения стал целый комплекс факторов, связанных с разработкой проектной документации и ошибок, выполненных на

строительной площадке. Особенно важным стало то, что работниками монтажной организации не были установлены некоторые элементы конструкций, которые обеспечивали общую устойчивость каркаса здания. Именно в зоне, где не установили данные конструкции и произошло обрушение покрытия

Также было обнаружено, что главной ошибкой в проекте стало создание неразрезной системы методом приваривания фасонки, соединяющие конструкцию в верхнем поясе фермы, это привело к тому, что перерезывающая нагрузка в около опорных зонах вызвала потерю несущей способности нижнего пояса стальной фермы.

Но все же наибольшее влияние на разрушение оказало халатное проведение работ монтажной организацией и контролирующими строительными процессами органов.

Данное аварийное состояние указало, что отсутствие соединительных элементов между фермами может привести к обрушению большого числа конструкций каркаса здания.

5. «Обрушение сварной стропильной фермы в прокатном цехе магнитогорского металлургического комбината»[2]

В мае 1957 года произошла авария стальной фермы покрытия. Ферма располагалась в середине завода в зоне температурного шва. При обрушении фермы произошел обвал конструкций железобетонного покрытия. Стальные конструкции, которые находились по соседству, при распределении нагрузок во время аварии, оказались в аварийном состоянии.

Авария произошла скоротечно, причем без влияния внешних факторов, только под давлением от веса самой конструкции. Во время аварии не производились производственные процессы, связанные с работой крана.

Каркас здания представляет собой металлическую раму, в которой основные элементы – стойки и балки имеют решетчатый вид. Покрытие

сделано из железобетонных панелей перекрытия, опирающееся на металлический каркас.

Стоит отметить, что численный показатель нагрузки во время обрушения был почти в 1,5 раза меньше расчетного значения.

Расчетная схема опирания стальных ферм на консольные части других ферм конструкции и представляла собой шарнирную балку на двух опорах.

Падение конструкции фермы произошло сперва в месте соединения с колонной внешней оси здания. Соединительная фасонка верхнего пояса фермы с колонной, а также болтовые соединения не были каким-либо образом повреждены. Фасонка крепления нижнего пояса фермы также не была повреждена.

В обоих случаях произошло отсоединение опорных узлов фермы от крепления к колонне.

Конструкция каркаса здания была изготовлена на специализированном заводе-изготовителе, однако из того металла, что имелся в наличии, а не по проектным указаниям. Конструкции изготавливались из более низкого класса стали, но с увеличением площади сечения, но без обоснования расчетами принятого или иного решения по замене.

Осмотр обрушившихся конструкций, а также других конструкций здания показал, что сварка производилась электродами довольно низкого качества.

Большинство сварных соединений было сделано некачественно, вследствие чего появились концентраторы напряжений в швах и образовались трещины.

Данное обрушение выявило, что все металлоконструкции, изготовленные с применением сварочных электродов с не высокими техническими характеристиками должны осматриваться чаще, чем другие конструкции.

Данное аварийное состояние указало на серьезный минус применения стальных стропильных ферм с несущими растянутыми элементами по сравнению тех же конструкций, но с несущими сжатыми стержнями. Объясняется это тем, что при аварии в узле опирания фермы с растянутыми несущими элементами обрушаются, а в фермах со сжатыми несущими элементами изменяется расчетная схема конструкции.

б. «Обрушение стропильных ферм в прессовом цехе металлургического завода имени Ленина в г. Куйбышеве»[2]

В 1955 году на заводе имени Ленина в одном из цехов здания произошло обрушение нескольких стальных ферм покрытия, которые увлекли за собой покрытие здания.

Главными факторами обрушения стальных ферм покрытия являлись ошибки, допущенные строительно-монтажной организацией, а также недостаточный контроль за конструкциями во время эксплуатационных проверок.

Основная причина, приведшая к аварии это некачественное выполнение сварных швов в монтажных узлах в месте опирания фермы на нижележащие конструкции.

Во время осмотра обрушившихся конструкций было выявлено то, что большинство раскосов, нескольких из упавших ферм имели, имели деформации во много раз превосходящие допустимые, что свидетельствует об аварийном состоянии конструкций еще до обрушения.

При усилении деформированных элементов обнаружилось, что имело место отступление от разработанного проекта, а именно уменьшение размера сортамента уголков раскосов.

«Трещины в фасонках были параллельны поясам и начинались у конца одного из сварных швов, который прикреплял раскосы. При изучении условий появления данных трещин в фасонках показало, что они появлялись

от того, что при подъеме горизонтально лежащих ферм или при перетаскивании их фасонки гнулись на весьма ограниченном участке – от концов раскосов до пера уголков пояса»[2].

7. «Обрушение покрытия печного корпуса Куйбышевского цементного завода в г. Жигулевске»[2]

В конце июля 1959 года произошла авария, связанная с обрушением части покрытия на Куйбышевском цементном заводе.

Обрушение произошло рано утром. В течение несколько дней до этого выпадали атмосферные осадки в виде дождя, а после произошла авария нескольких ферм покрытия.

Во время обследования после обрушения конструкций было обнаружено, что соединение упавших ферм покрытия и подстропильных ферм не было повреждено. Конструкция фермы, которая непосредственно опиралась на подстропильные фермы обрушилась независимо от других конструкций.

При обрушении стальных ферм, произошло также падение и железобетонного покрытия, которое увлекло за собой другие фермы. Один из обрушившихся элементов покрытия, при падении, значительно повредил крановую конструкцию предприятия.

Несмотря на то, что конструкции обрушились, не было обнаружено разрушившихся узлов или стержней ферм.

Основные факторы аварии, указанные членами комиссии, являлись следующие:

Сжимающие нагрузки, превышающие расчетные, в элементах фермы. Расчетная схема представляла собой многопролетную неразрезную балку. Поэтому, подобные элементы решетки фермы испытывали разные действия нагрузок. Происходила перегрузка элементов стальной фермы не только от

примененной неудачной расчетной схемы, а также от скопившейся технической пыли на кровле здания.

Еще одним фактором оказалось некачественное выполнение работ по монтажу железобетонных колонн. Было обнаружено большое количество дефектов, превышающих нормативные, таких как несоответствие угла наклона конструкции к отвесу, некачественное выполнение стыка соединения колонны и фундамента. Также было указано еще на ряд незначительных дефектов, которые могли бы повлиять на результирующую нагрузку на стальные фермы.

Стоит отметить тот факт, что экспертная комиссия неверно определила истинный фактор обрушения конструкций покрытия на заводе, а именно превышение расчетных нагрузок от скопления большого количества технической пыли на кровле здания.

И из-за этого, примерно через год, произошло второе обрушение конструкций здания примерно в том же месте, что и ранее.

Во время обследования упавших аварийных конструкций не было замечено полных разрушений элементов ферм, были обнаружены местные деформации одного стержня, а также повреждения сварочных соединений в части конструкции, где имели место деформации.

Сжатые элементы стальных стропильных ферм покрытия имели деформации, превышающие допустимые в несколько раз, и выключились из работы конструкции еще до ее падения. Данный факт указывает на то, что нагрузка на кровлю здания сильно превысила расчетные значения, а именно повышение нагрузки на покрытие за счет скопления технической пыли на кровле здания.

Повсюду были обнаружены большие скопления пыли в различном состоянии – от мелкого зернистого до образований целых комков всевозможных размеров.

Причиной для обрушения конструкций стало перенагружение конструкций из-за большого скопления цементной пыли, чему способствовали следующие факторы:

-неправильно работающее оборудование по изготовлению цемента, вследствие чего образовывались большие скопления пыли на покрытии здания, иногда толщиной до 800мм;

-отсутствие мер по устранению этих упущений во время эксплуатации.

«В последующем, ввелось требование — не допускать скопления цементной пыли на покрытиях зданий цехов цементных заводов»[2].

8. Обрушение стальных конструкций цеха сгустителей Норильского металлургического комбината

В начале 1966 года произошло обрушение покрытие производственного здания в Норильске.

Авария конструкций здания произошла во время проведения строительно-монтажных работ. Основным фактором обрушения стала потеря несущей способности подстропильной фермой. Также не выполненные работы по установке связей между стальными конструкциями явились причиной обрушения всех установленных конструкций покрытия здания.

Произошло хрупкое разрушение конструкции, что было вызвано некачественными сварными работами, а следствие их – появление значительных повреждений сварочных соединений, что усугублялось очень низкой температурой воздуха.

Металлоконструкции были изготовлены в одном из цехов данного производственного здания. Отсутствовал какой-либо контроль за выполнением сварочных соединений, при учете, что собиралась конструкция при низких температурах воздуха. Изготовленные конструкции нельзя было допускать к монтажу, потому что в них уже имелись трещины, что говорит о возможности обрушения по хрупкому сценарию. Некоторые дефекты

пытались исправить непосредственно на монтаже, путем приваривания дополнительных листовых элементов, но в этих элементах, под воздействием температуры тоже образовывались трещины.

9. «Аварийные деформации стропильных ферм в малярно – погрузочном цехе Нижне-Тагильского завода металлоконструкций»[2]

В январе 1957 года произошла авария, связанная с появлением больших прогибов стальной конструкции фермы из-за большого скопления снега на кровле здания.

Авария стальных стропильных ферм покрытия произошла из-за потери несущей способности сжатых элементов фермы, деформации поясов которой превысили допускаемые. Но не произошло обрушения фермы. Они стали подвешенными к стальным конструкциям покрытия. Не произошло смещения ферм с опорных зон. Колонны и другие нижележащие конструкции здания не были подвергнуты повреждениям.

Основной фактор аварии – не до конца продуманная работа элементов конструкции при проектировании, из-за чего происходило перенапряжение отдельных стержней. Также нельзя не отметить, что способствующим фактором являлись обильные выпадения и скопления снега на покрытии здания.

10. «Обрушение стропильных ферм ангара»[2]

В сентябре 1966 года произошло крушение стальных ферм покрытия во время производства работ по возведению конструкций.

При тщательном изучении аварии было замечено, что в чертежах конструкций металлических детализованных было отступление от проекта, в частности было произведено увеличение площади основных несущих элементов, что не могло являться причиной аварии, а скорее наоборот являлось увеличением несущей способности.

Также было выяснено, что строительно – монтажные работы производились с отсутствием ППР. Работы велись по технической документации, разработанной непосредственно монтажной организацией.

Крушение ферм произошло во время монтажа конструкций, последовательность действий, приведших к аварии, указаны ниже:

Первой монтировалась ферма крайнего пролета. Она была установлена в предпроектное положение и была закреплена временными монтажными элементами в узлах верхнего пояса. Далее устанавливалась ферма по соседней оси аналогично предыдущей. Примерно через полчаса начался монтаж связевых конструкций. Во время монтажа вторая смонтированная ферма обрушилась на закрепляющие временные элементы первой фермы, тем самым увлекая за собой еще одну ферму.

При обследовании упавших конструкций было выявлено, что обрушившиеся фермы не имели разрушившихся элементов и сварных швов, что указывало на то, что конструкции были изготовлены на заводе-изготовителе без отклонений. Основной деформацией упавших ферм был изгиб поясных уголков в месте максимального момента.

Также стоит отметить, что в нормативной документации того времени по проектированию проекта производства работ и расчетных показателей с помощью закрепления временными расчалками, практически отсутствуют какие – либо точные показатели. Поэтому поперечное сечение расчалок применялось, в основном, на основании опыта монтажников.

Основной причиной обрушения ферм стало применение расчалок меньшего диаметра, чем предусматривалось по технической документации.

11. Обрушение покрытия во время монтажа в Северодвинске

Летом 1962 года произошло крупное обрушение конструкций покрытия и других нижележащих конструкций во время проведения строительно – монтажных работ.

До того как обрушились конструкции, были установлены в проектное положение все стальные конструкции, а также практически все плиты покрытия.

Во время монтажа последних плит, а точнее во время проведения сварочного соединения плиты с балкой, произошла авария – обрушились стальные фермы, железобетонные плиты и другие конструкции.

При обследовании упавших конструкций, не было выявлено дефектов, связанных с местной или общей потерей устойчивости. Характерными причинами обрушения являлись некачественно выполненные сварные швы, такие как:

- недостаточная площадь шва;
- различные включения;
- непровар конструкций.

Временные закрепления конструкций не повредились, при падении покрытия, что свидетельствует о том, что причиной обрушения не являлись ошибки, связанные с монтажом конструкций.

Материал стальных конструкций и профили их элементов соответствовали проектному.

Были выявлены отклонения в расположении раскосов ферм, в связи с чем уменьшилась площадь сварных швов.

Обрушение произошло, при нагрузке в 1,5 раза меньше расчетной.

По результатам многочисленных обследований и проведенных расчетов были установлены действительные причины обрушения:

- плохо выполненные сварные соединения конструкций при изготовлении на заводе-изготовителе;
- отклонения в чертежах КМД от проектных решений.

12. Обрушение стальных ферм покрытия в теплоэлектростанции в городе Северодвинск

В марте 1964 года произошло обрушение части покрытия ТЭЦ.

Авария произошла из-за несвоевременного устранения неполадок техническим персоналом системы охлаждения электромеханизмов высокой мощности, в результате чего произошло отключения регулирующего генератора и увеличение числа оборотов в минуту турбины. После достижения критического значения оборотов, возник взрыв, а в последствии и пожар.

При пожаре произошел перегрев ферм покрытия, элементы были деформированы, произошла потеря несущей способности и фермы изрядно деформировались, но не обрушились. Произошло обрушение некоторых элементов покрытия здания.

В результате данной аварии пришлось заменить практически все конструкции покрытия здания из-за того, что они стали непригодны в эксплуатации, а восстановить их не представлялось возможным. Также были заменены и электромеханизмы.

13. Авария на Богословском заводе

В конце декабря 1956 года произошло обрушение покрытия здания склада.

Авария произошла из-за превышения расчетной нагрузки вследствие скопления на кровле снега и различных технологических отходов.

В ходе расследования выяснилось, что причиной аварии стали ошибки, допущенные на монтаже:

- недостаточное количество болтов в монтажных узлах;
- деформации элементов конструкций;
- отсутствие связующих элементов между конструкциями.

Это обрушение было вызвано небольшими ошибками при монтаже, но совместное их воздействие, а также наличие обильного снегопада существенно снизили несущую способность конструкций и привели к их обрушению.

14. Авария покрытия на заводе в Череповце

В феврале 1966 года произошла авария стальных ферм покрытия, повлекшая за собой последующее обрушение.

Причиной обрушения стала совокупность многих факторов, упущенных при эксплуатации, изготовлении, монтаже и проектировании стальных конструкций, а именно:

- недостаточный контроль выполненных чертежей конструкций металлических детализованных;
- применение высоколегированных сталей в условиях низких отрицательных температур;
- несанкционированное изменение металлических конструкций и их элементов на монтаже и отсутствие согласования изменений с проектной организацией и заводом-изготовителем;
- отсутствие должного контроля за выполнением строительно-монтажных работ и изготовлением конструкций на заводе.

1.2.1 Примеры аварий других стальных конструкций

1. Авария на Солигорском комбинате

Весной 1963 года произошло обрушение галереи во время проведения строительно – монтажных работ.

Основной причиной массового обрушения конструкций является несоблюдение нормативных положений и проекта производства работ по монтажу.

Обрушение началось с одной из опорных стоек, которая увлекла за собой все стальные конструкции пролета.

В результате обследования обрушившихся конструкций было установлено, что на всех стойках не были установлены основные связевые элементы, что привело к потере устойчивости в результате сжимающих нагрузок.

Некоторые конструкции были смонтированы неверно, в результате чего они не воспринимали даже нагрузку, которая в разы ниже расчетной.

Было нарушено узловое соединений конструкций между собой, и из-за этого изменилась расчетная схема и повысилась гибкость конструкций.

Главной причиной аварии было стало некомпетентное выполнение работ (никто из инженерно – технического состава не имел строительной специальности) мастерами, прорабами и начальниками участков.

Сопутствующим фактором стало отсутствие какой – либо документации на производство работ.

2. Авария на металлургическом заводе в Караганде

Обрушившиеся конструкции представляли собой многопролетную раму. В конце января 1965 года произошла авария.

Произошло обрушение ферм средних пролетов, в результате деформаций нижних поясов ферм. При последующем крушении ферм были смещены опоры соседних ферм, возникла цепная реакция и конструкция обрушилась целиком.

В результате обследования были выявлены несколько причин, которые в комплексе привели к аварии, а именно:

- несоответствие выбора марки стали климатическим условиям (низкие отрицательные температуры);
- некачественно выполненные сварные соединения во время изготовления и на монтаже;

- неисправно работающее отопление здания;
- не были учтены одновременные сочетания нагрузок при проектировании.

В дальнейшем были приняты нормативные документы по проектированию, изготовлению и эксплуатации галерейных конструкций ввиду большого количества аварий.

3. Авария опор ЛЭП

В 1953 году произошла авария, приведшая к обрушению опор линии электропередач, а также к появлению серьезных деформаций у не обрушившихся опор.

В результате обследования были выявлены серьезные ошибки, допущенные во время изготовления и на монтаже:

- дефекты при сварочных работах;
- неправильное расположение отверстий;
- большая разница между диаметром отверстий и диаметром болтов (около 3мм, при нормативной разнице в 1 мм);
- некачественная транспортировка, вследствие чего появление дополнительных деформаций.

Для получения информации об обрушениях было принято решение об испытании подобных опор в специальных условиях, максимально приближенных к реальным.

Основными факторами, приведшими к аварии стали следующие:

- применение решетчатой системы, отличной от проектной, несущая способность которой оказалась ниже требуемой;
- большая разница между диаметром отверстий и диаметром болтов (около 3мм, при нормативной разнице в 1 мм).

4. Авария на заводе в Енакиевске

В апреле 1951 года проводились приемочные работы сооружения – оболочки, предназначенного для хранения воды.

Авария произошла из-за того, что стенки сооружения не выдержали давления воды.

Причиной аварии можно считать неверное проектное решение по назначению толщины элементов стенки. Вследствие чего сооружение потеряло устойчивость и рухнуло.

Вызвано это тем, что в те годы не существовало конкретных методик расчета таких конструкций. Если воспользоваться настоящими методиками расчета, то можно выявить, что конструкция при расчете не была способна выдержать нагрузки.

5. Аварии радиомачт

Зимой 1952 года произошло обрушение нескольких радиомачт.

Обрушились восемь из тринадцати мачт, из-за потери их устойчивости.

Основным фактором, способствующим аварии стало некачественное выполнение строительно-монтажных работ, а именно недостаточное закрепление конструкций временными закрепляющими элементами. Вызвано это было низкой квалификацией рабочих на монтаже

Для исключения возможных подобных аварий проводились испытания проектным институтом.

6. Авария конструкции эстакады в Верхнем Тагиле

В декабре 1958 года произошла авария эстакады, которая вызвала обрушение конструкций одного из пролетов здания.

При падении также были деформированы соседние конструкции и произошло их смещение от проектных осей.

Обрушение произошло в результате хрупкого разрушения стальных конструкций. Способствовала этому очень низкая отрицательная температура наружного воздуха, около минус 40 градусов.

В результате обследования всех конструкций здания было выявлено, что марка стали имела свойства, близкие к проектным, но с точки зрения современных расчетов данная сталь (кипящая) неспособна работать в условиях низких температур.

Данная авария, одна из первых, послужила причиной рассмотрения применения низколегированных сталей при эксплуатации в низких температурах.

7. Авария на комбинате в Кривом Роге

В 1962 году обрушились стальные конструкции двух пролетов.

Обрушение произошло из-за того, что завод-изготовитель составил документацию и изготовил конструкции не в соответствии с проектом.

Элементы конструкций были смонтированы по указанным чертежам конструкций металлических детализировочных.

Но из-за некачественного изготовления несущая способность конструкций была близка к критической нагрузке, и было достаточно небольшого дополнительного воздействия, чтобы произошла авария.

8. Авария на комбинате в Качканаре

В ноябре 1964 года произошла авария стальных конструкций здания горного комбината.

Произошло обрушение огромной части стальных конструкций, более 50% всех конструкций.

В ходе расследования обрушения не было выявлено недостатков в изготовлении конструкций, наоборот площади некоторых поперечных

сечений основных несущих элементов превышали проектные, марка стали была принята более высокого класса.

Также не было выявлено расчетных упущений при проектировании.

Основным фактором обрушения стали конструктивные недочеты поддерживающих колонн, при минимальном воздействии на которые произошло обрушение.

В дальнейшем были произведены испытания и перерасчитаны основные несущие элементы конструкций галереи. В связи с этим также были осмотрены и другие галереи, выполненные по данному проекту.

В результате большинство этих конструкций дополнительно усилили и привеле в нормальное эксплуатационное состояние.

9. Авария газгольдера

Осенью 1964 года возникла аварийная ситуация газгольдера, в результате которой он полностью обрушился.

Из результатов обследования следует, что сооружение было выполнено по всем нормам тех лет.

Причинами аварии стоит считать отсутствие должной эксплуатации конструкций, а также воздействие иных факторов, таких как ослабление материала конструкции из-за влияния химических процессов.

Анализируя большое количество аварий, представленных выше, стоит отметить, что большинство их происходит из-за несоблюдения нормативных положений при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Также, одним из факторов аварий является неизученность работы конструкций в тех или иных условиях, а также влияние различных видов нагрузок и их сочетаний.

Огромное значение играет качественная эксплуатация стальных конструкций, так как, при обследованиях не всегда выявляются те или иные

факторы, которые могут способствовать аварийному состоянию или обрушению конструкций.

Аварии зданий или отдельных конструктивных элементов редко происходят из-за какого-то одного фактора (не считая грубых нарушений при проектировании, изготовлении, монтаже или эксплуатации).

Лишь при сочетании дополнительных нагрузок или ослаблении конструкций могут произойти аварии или обрушения зданий и сооружений со стальным каркасом.

Немаловажное значение играет применение марок стали, которые нормально эксплуатируются в определенных климатических условиях, например в зонах с низкими отрицательными температурами необходимо использовать низколегированные стали, так как они менее хладноломкие и препятствуют хрупкому обрушению конструкций.

Большое количество аварий произошло из-за ошибок при монтаже и изготовлении конструкций ввиду недостаточной квалификации рабочих и инженерно-технического персонала. Также стоит уделить внимание контролю качества выполненных работ или изготовленных конструкций.

Некоторые аварии произошли только из-за того, что во времена их проектирования не существовало или было мало информации о методиках расчета, монтажа и эксплуатации стальных конструкций.

Также, одним из факторов обрушения стальных конструкций является применение расчетных схем, работа которых не изучена в полной мере, например применение стальных ферм покрытия с опорным растянутым раскосом, при аварийном состоянии которого обрушилось покрытие здания из-за хрупкого характера разрушения.

Каждая авария преподносит материалы для изучения работы конструкций и их элементов в условиях максимального нагружения. Поэтому необходимо тщательно изучать все факторы появления аварийной ситуации или обрушения.

Иногда большое влияние оказывают решения экспертной комиссии после обрушения, например неправильное выявление причин обрушения способствовало более крупному обрушению через несколько лет на одном из заводов.

1.2.2 Исследование аварий стальных конструкций

Исследование аварий довольно сложный процесс, так как включает в себя большое количество мероприятий для выявления истинной причины аварийной ситуации или обрушения конструкций, принятию мер по усилению, восстановлению или замене конструкций или их элементов, а также предотвращения подобных аварий в будущем.

Прежде всего, каждая авария должна рассматриваться только экспертной комиссией, в которую не должны входить возможные участники происшествия. Выявление факторов, приведших к аварии необходимо осуществлять в следующей последовательности:

- выявление всех обстоятельств аварийной ситуации;
- подробное изучение всей документации по данному зданию или сооружению;
- определение действительных нагрузок и режимов эксплуатации здания;
- испытания металла для выявления его технических и физико-химических характеристик;
- обследование аварийных конструкций и конструкций соседних пролетов;
- проведение расчетов с учетом действительных нагрузок;
- вынесение заключения о аварийной ситуации.

Выявление всех обстоятельств аварийной ситуации.

На данном этапе необходимо тщательно изучить основные и второстепенные факторы, которые могли бы привести к аварии. Нужно

определить точное время аварии и при каких внешних условиях она произошла. Также необходимо определить, были ли какие-либо дефекты конструкций или их элементов и определить эксплуатационные нагрузки.

На завершающем этапе нужно опросить всех очевидцев аварии.

Изучение документации.

Очень важный этап, так как на нем уже можно определить причину аварии, связанную с недоработками в проектной документации или документации, составленной заводом-изготовителем.

Также следует определить соответствие конструкций проектным и нормативным документам.

Определение действительных нагрузок.

На данном этапе необходимо сделать замеры скоплений различных технических отходов и снега на покрытии здания, если таковые имеются. Некоторые аварии произошли именно из-за перегрузки конструкций при эксплуатации.

Также стоит обратить внимание на технологические процессы здания, действие которых могло привести к ослаблению материалов конструкций (повышенные или низкие температуры, влажностный режим, наличие вибрационных машин и оборудования).

Испытания металла.

Испытание металла конструкций и исследование его характеристик позволяет определить фактические значения сопротивления материала. Также определяется, были ли выполнены конструкции из той стали, которая предложена по проекту.

Также определяются возможные механические дефекты и деформации, возникшие в процессе изготовления, монтажа или эксплуатации.

Обследование конструкций.

Ё Целью обследования является:

- установление соответствия смонтированных конструкций проектной документации;

- определение характера обрушения;

- определение дефектов сварных швов;

- определение параметров эксплуатации здания.

Сперва стоит производить обследование аварийных конструкций, а только после этого обследования конструкций соседних пролетов.

Проведение расчетов.

Главной задачей расчетов является определение состояния конструкций непосредственно в момент аварии.

Определяется несущая способность основных элементов и монтажных узлов.

Устанавливается фактическая работа конструкций, в зависимости от расчетной схемы.

Заключение об аварийной ситуации.

Принимая во внимание все собранные сведения, комиссией составляется заключение об истинных причинах аварии.

1.3 Анализ существующих методов усиления сжатых стержней ферм

В процессе эксплуатации стальных конструкций, их элементы могут повреждаться, деформироваться или вовсе иметь микро разрушения, что в свою очередь сильно сказывается на сроке жизни таких конструкций. Один из методов увеличения или восстановления несущей способности стальных элементов является усиление.

Усиление это комплекс работ по повышению технических характеристик всей конструкции или ее составляющих элементов. В связи с большим количеством повреждений и деформаций стальных стропильных ферм, представленных в предыдущем пункте, встает вопрос об использовании усиления в стальных фермах.

«Условная классификация причин усиления строительных стальных ферм представлена на рис. 4. В соответствии с ней существующие причины усиления стальных стропильных ферм можно разделить на»[14]:

- усиление перед реконструкцией, надстройкой или техническим перевооружением;
- усиление, связанное с появлением аварийной ситуации конструкций.

В зависимости от различных условий эксплуатации, усиление может быть следующим:

- непостоянным;
- неотложным;
- постоянным.



Рисунок 4 – Схема причин усиления стальных конструкций

«Временному усилению подвергаются те конструкции, чья эксплуатация должна начинаться до их капитального усиления. Способы данного усиления упрощены, что можно объяснить недолгим сроком службы конструкции и крайне коротким сроком работ по усилению. Обычно в качестве материалов подобного усиления применяют канаты, тросы, тязи из круглого железа; присоединение элементов на болтах»[15].

«К неотложно-аварийному усилению прибегают в экстренных случаях. В целом, оно имеет те же особенности, что и временное. Однако, есть одно серьёзное отличие: усиливаемая конструкция может находиться в момент усиления в предельном состоянии»[15].

«Капитальное усиление предполагает долгий срок службы усиленной конструкции. Стандартным материалом усиления в этом случае выступает строительная сталь. Соединение основных и усиливающих элементов производится, в основном, на сварке. Существующие традиционные приёмы усиления ферм по конструктивному признаку можно разделить на усиление в целом и местное усиление (рис. 4)»[15].

Усиление в целом включает:

- изменение расчетных и конструктивных схем усиливаемой конструкции;
- усиление конструкции путем увеличения пространственной жесткости.

«Усиление изменением расчётных и конструктивных схем является наиболее действенным в тех случаях, когда необходимо усилить большое количество элементов конструкции. Принцип такого усиления заключен в том, что изменением конструктивных и расчётных схем достигается перераспределением усилий в конструкциях, которое обеспечивает более рациональную их работу»[15].

«Усиление ферм посредством увеличения пространственной жёсткости достигается путем постановки дополнительных связей, тяжей, увеличением сечения стержней и т.п. Необходимость увеличения пространственной жёсткости конструкции может быть вызвана неудовлетворительной развязкой всего сооружения или конкретных его элементов, устройством подвесного транспорта и т.д.»[15].

При усилении стальных конструкций ферм покрытия чаще всего применяют метод усиления отдельных элементов для восстановления несущей способности всей конструкции, связано это ,прежде всего, со следующими факторами:

- малым количеством усиливаемых элементов;
- несложностью выполнения технологических операций, при проведении усиления.

При проведении работ по местному усилению стальных ферм возможны следующие операции:

- работы по усилению узлов и стыков;
- работы по усилению элементов конструкции ферм.

Усиление узлов и стыков может выполняться методом увеличения расчетного сечения, путем приварки дополнительных элементов, либо увеличением размеров сварных соединений.

Усиление элементов конструкций ферм, таких как раскосы и стойки может производиться как отдельный вид работ, а может при усилении фермы в целом. При усилении элементов конструкции выделяют два наиболее применяемых метода:

а) метод увеличения сечений;

б) метод компенсации сечения, вышедшего из работы, путем приварки дополнительных элементов.

«Метод увеличения сечения – один из наиболее часто и эффективно применяемых методов. Суть его заключается в присоединении дополнительных, стержневых элементов усиления к существующим стержням и включении их в общую работу по восприятию усилий, возникающих в элементах от внешних воздействий»[15].

Классификация приемов усиления
сварных стальных ферм (по Б.И.Десятову)

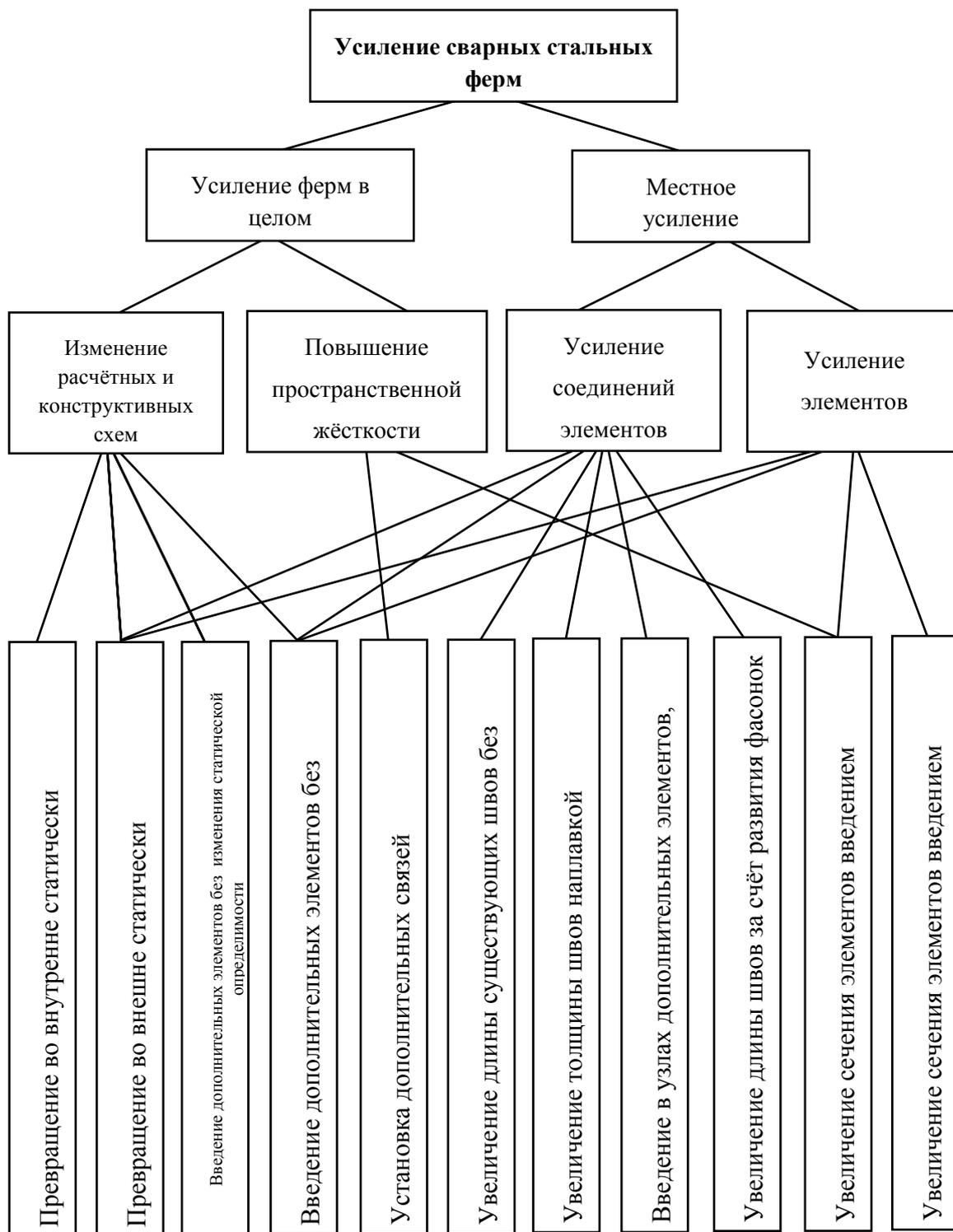


Рис. 5. Классификация приемов усиления сварных стальных ферм.

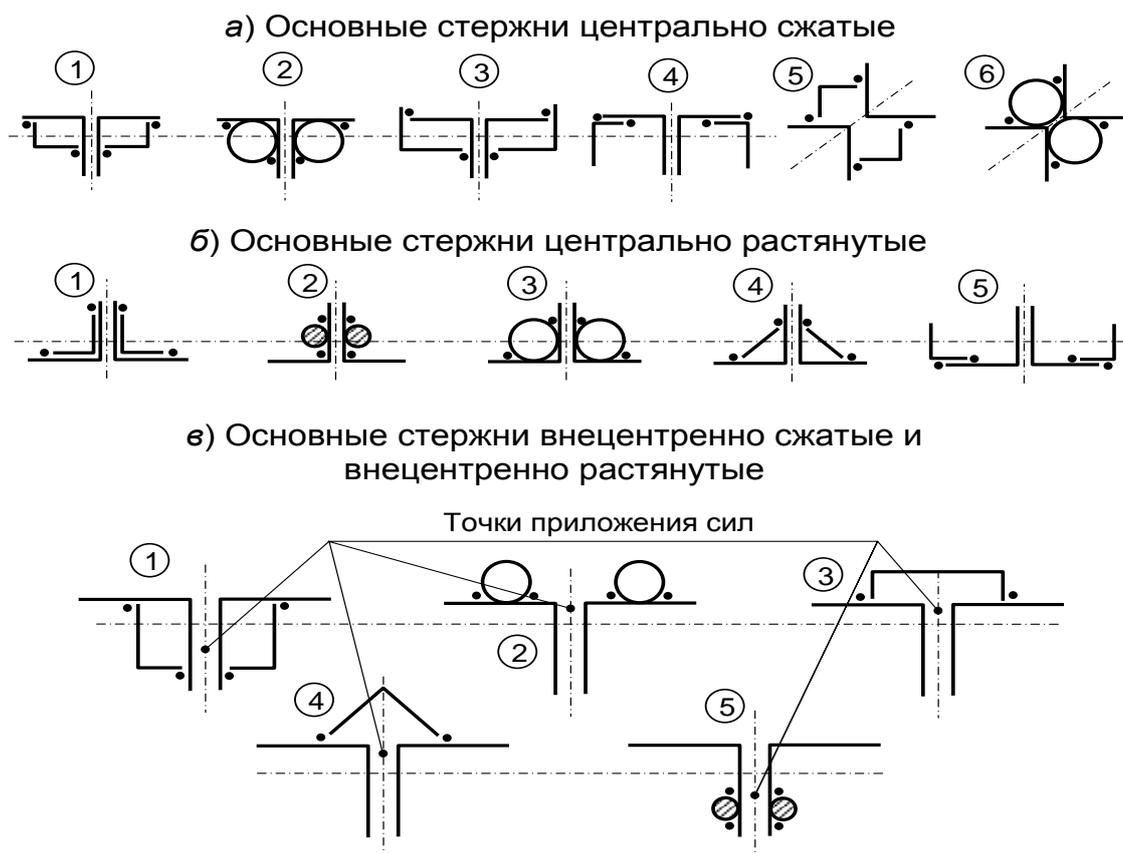


Рисунок 6. – Различные методы усиления составных стержней.

Элементы усиления стальных конструкций, в основном крепятся на сварке, но на данный момент нет общего мнения о том, каких размеров применять сварные швы.

Автор, Б. И. Десятов считает «возможным в случае отсутствия опасности хрупкого разрушения применение прерывистых швов»[15].

Подбор метода усиления связан с работой конкретной конструкции или ее элемента. Необходимо тщательно проработать вопрос усиления конструкции, чтобы данные работы не привели к обратному эффекту-снижению несущей способности из-за создания эксцентриситета или его увеличения при усилении.

Усиление сжатых и растянутых стержней, с центральным приложением нагрузки следует производить методом компенсации не работающего сечения или методом увеличения сечения, с помощью приварки к ним дополнительных усиливающих элементов.

Усиление стержней со внецентренным приложением нагрузки следует производить методом приваривания дополнительных усиливающих элементов так, чтобы смещенный центр тяжести был перпендикулярен линии действия силы.

1.3.1 Существующие методики определения напряжённо-деформированного состояния стержней ферм, подвергаемых усилению методом увеличения сечения.

Работы по исследованию напряженно-деформированного состояния работы сжатых стоек были проведены Н.С. Стрелецким[18].

Наибольший интерес с точки зрения дальнейшего исследования напряженно-деформированного состояния усиливаемых увеличением стержней ферм представляют собой работы Б.И. Десятова[15], И.С. Реброва[19,20], В.М. Колесникова[21], И.К. Родионова[22-25].

«Вопросы устойчивости сжатых стержней ферм усиливаемых под нагрузкой»[21] были впервые рассмотрены В.М. Колесниковым. Автором были проанализированы принятые методики расчета, представленным в проекте «Указания по проектированию усилений стальных конструкций зданий и промышленных сооружений»[21].

Колесников В. М. предположил, что усиление сжатых деформированных стержней можно производить без разгрузки конструкции, то есть при расчетных значениях, но не должны превышать их.

Колесников В.М. также выявил основные закономерности при «совместной работе основных и усиливающих элементов при дальнейшем усилении, после увеличения нагрузки»[21]. Методика расчета усиленных под нагрузкой сжатых стержней была разработана после анализа совместной работы усиливаемых и усиливающих элементов. В данной методике предполагается производить проверку устойчивости усиленных элементов после основных работ.

Колесников В.М., после анализа экспериментов по усилению различных деформированных стержней, сделал вывод о том, что усиление можно производить при нагрузке равной 80% от критической.

Работы по исследованию напряженного состояния усиливаемых под нагрузкой сжатых стержней, выполненные В.М. Колесниковым, без сомнения очень ценны, но в данных исследованиях не проработана методика определения воздействия процессов при сварке, а именно влияние теплового воздействия.

Вдобавок, в работе Колесникова В.М. не проработан вопрос воздействия на работу сжатых деформированных стержней в момент проведения работ по усилению

Таблица 1 – Методики расчета при усилении

Авторы методик расчета	Условия устойчивости центрально и внецентренно сжатых стержней, усиленных под нагрузкой	Величины предельно допустимых при усилении усилий (из условия устойчивости)	
		Для центрально сжатых стержней	Для внецентренно сжатых стержней
Проектсталь-конструкция, проект «Указаний...»]	$\frac{N_0^y}{F_0 \varphi_0} + \frac{N_d}{\varphi_0 + F_y \varphi_{об}} \leq mR \quad (1.1)$	$N_0^o \leq m\varphi_0 RF_0 \quad (1.2)$	
		при $\varphi_{ia} \geq \varphi_0 \quad (1.3)$	
Колесников В.М.	$\frac{N_0^y + N_d}{\varphi_0 + F_y \varphi_{об}} \leq mR \quad (1.4)$	$N_0^o \leq 0,8m\varphi_0 RF_0 \quad (1.5)$	
Десятов Б.И.	$\frac{N}{\varphi_{ai}^o F} \leq mR \quad (1.6)$	$N_0^o \leq 0,6m\varphi_0 RF_0 \quad (1.7)$	$N_0^o \leq 0,6m\varphi_{ai}^i RF_0 \quad (1.8)$

Ребров И.С.	$\frac{N}{\varphi_{\text{ай}}^{\circ} F} \leq m m_1 R, \quad (1.9)$ $m_1 = 0,9 \text{ (0)}$	$N_0^{\circ} \leq m \varphi_0 R F_0 \quad (1.10)$	$N_0^{\circ} \leq m \varphi_{\text{ай}}^{\text{і}} R F_0 \quad (1.11)$
-------------	---	---	--

В формулах табл. 1 приняты следующие обозначения:

N_0^y – усилие в стержне в момент усиления;

N_d – приращение усилия в стержне после усиления;

R – расчётное сопротивление материала на сжатие, растяжение, изгиб, определенное по пределу текучести;

φ_0 – минимальный коэффициент продольного изгиба центрально сжатого стержня до его усиления;

$\varphi_{\text{об}}$ – минимальный коэффициент продольного изгиба центрально сжатого стержня после усиления;

F_0, F_y – площадь сечения соответственно основного стержня и элементов усиления;

m – коэффициент условий работы усиливаемого стержня.

«Исследования усиливаемых под нагрузкой сжатых элементов ферм, а также узловых прикреплений этих элементов увеличением длины сварных швов»[15] были проведены Б.И. Десятовым. Автором была произведена оценка влияния нагрузок, действующих в момент усиления, и эксцентриситетов, появляющихся в результате усиления на несущую способность усиленных стержней. Также было подтверждено перераспределении напряжений в сечении усиленного элемента при дальнейшем после усиления увеличении нагрузки.

«Также Б.И. Десятовым совместно с А.Г. Иммерманом была разработана методика расчета несущей способности сжатых и растянутых элементов»[26], вошедшая в «Руководство по усилению элементов металлоконструкций с применением сварки»[27]. В данных рекомендациях проверка устойчивости сжатых усиленных стержней ведется по формуле (1.6.)

(табл. 1), где $\varphi_{\text{ат}}^{\circ}$ – минимальный коэффициент продольного изгиба усиленного стержня; F – площадь усиленного сечения. Данная методика расчета позволяет учесть возможность отрицательного влияния сварки на усиленный элемент стержня, выражающегося в уменьшении величины несущей способности. Таким образом она отражает действительную работу усиленного элемента. В данных работах был поднят вопрос только об отрицательных воздействиях сварки на элемент, однако сварочный процесс – регулируемый, что даёт повод говорить о целесообразности поиска технологий сварки, улучшающих работу стержней как в процессе их усиления, так и усиленных.

В работе Б.И. Десятовым был рассмотрен «вопрос порядка наложения сварных швов при присоединении элементов усиления к стержням. Как наиболее совершенный был предложен вариант с наложением сварных швов от концов к середине. Также Б.И. Десятовым совместно с А.Г.Иммерманом, предлагается иной вариант порядка наложения сварных швов от середины к концам. Этот способ сварки был разработан с целью уравнивания деформаций в усиленном стержне. Вопросы о влиянии последовательности наложения, протяженности и катетов сварных швов на напряженно-деформированное состояние сжатых стержней не рассматривался».

«Сварка непременно, уже в момент усиления, влияет на работу усиливаемых стержней»[15]. В связи с этим можно сказать, что недостатком данной работы является не проработанность вопроса о влиянии сварки на усиление стержней. Выявленный коэффициент ослабления в данной работе принимался на основе практических наблюдений и равнялся 0,6 или 60%

Экспериментальные исследования работы сжатых усиленных образцов, проведенные Б.И. Десятовым, показали что, «в процессе наложения сварных связующих швов, происходило нарастание прогиба и потери устойчивости усиливаемого стержня, из-за того, что последующие сварные швы были наложены без остывания предыдущих. В связи с этим при испытании остальных образцов во время наложения сварных швов и их остывания в

средних по длине сечений устанавливались распорки, уменьшающие вдвое гибкость стержней и препятствующие нарастанию прогибов в процессе сварки. Установка распорок искажает картину работы усиливаемых стержней в процессе усиления и не даёт возможности оценить действительное влияние, которое оказывает наложение связующих сварных швов на поведение сжатых стержней в процессе их усиления и в дальнейшем, при увеличении нагрузки»[15].

Рассматривая работы Десятова Б.И.[15,26], важно отметить, что не был решен вопрос о влиянии усиления отдельных сжатых стержней ферм на работу остальных элементов, а также влиянии усиления на работу конструкции стальной стропильной фермы в целом.

Целью экспериментальных и теоретических исследований Реброва И. С. является «решить проблемы устойчивости и прочности сжатых стержней стальных конструкций, которые были усилены под нагрузкой»[19,20].

Например, автором подверглись рассмотрению вопросы «напряженно-деформированного состояния центрально- и внецентренно-сжатых стержней стальных стропильных ферм, симметрично и несимметрично усиленных под нагрузкой»[19,20].

Автор также подвергает анализу особенности напряженно-деформированного состояния усиливаемых элементов стальных конструкций, основываясь на численные расчеты (программа «RIG»). Безошибочность работы данной программы можно подтвердить большим числом тестовых расчетов: а конкретно, автор подтверждает сопоставление данных о развитии сварочных напряжений и деформаций на примере сварки полос, тавров, двутавров, коробчатых сечений, экспериментально исследованных в ИЭС им. Е.О. Патона. Подобный подход, в указанном случае, не является достаточно корректным: развитие сварочных напряжений

и деформаций в ненапряженных элементах заметно отлично от случаев сварки элементов с начальными напряжениями от нагрузки».

И.С. Ребров приводит пример результатов *расчетного* (при помощи программного комплекса «RUSS») анализа, особенности работы усиливаемых стержневых конструкций. Автор делает вывод об увеличении прогибов ферм при усилении их сжатых поясов. Данный, полученный теоретическим путем результат не имеет экспериментального подтверждения автором на конструкции.

И.С. Ребров акцентирует, что «при несимметричных схемах усиления вследствие смещения центров тяжести сечений сварочные деформации могут играть как положительную, так и отрицательную роль в зависимости от соотношений знаков и величин начальных и результирующих эксцентриситетов».

1.4 Исследования, выполненные в области усиления стержней стальных ферм

Из многих работ по усилению сжатых деформированных стержней стропильных ферм можно отметить работы Родионова И.К.[22-25]. Экспериментально полученные данные свидетельствуют о том, что возможно усиление сжатых стержней без предварительной разгрузки, что сильно сказывается на экономической составляющей проведения работ по усилению.

Также стоит отметить, что в данной работе впервые на практике были рассмотрены вопросы, касающиеся теплового воздействия на усиливаемые элементы ферм во время сварочных работ.

Были определены коэффициенты ослабления сечения для определенных размеров и видов деформаций, то есть при какой нагрузке можно производить работы по усилению.

1.5 Сварочные напряжения и деформации при усилении стержней

Рассматривая работы Реброва И.С.[19,20], была предложена «методика расчета устойчивости усиленных сжатых элементов (формула 1.9, табл. 1). В данной методике была предпринята попытка учета отрицательного влияния остаточных сварочных прогибов на работу стержней после усиления: прогибы от сварки были учтены только как увеличивающие эксцентриситеты, которые имелись в сжатых элементах.

Весьма значительные по размеру экспериментальные исследования были выполнены И.С. Ребровым на примере стержневых моделей и натуральных стержней. Конкретное внимание в данных исследованиях было отведено вопросам, касающимся технологии проведения усиления (сварки). Во время проведения эксперимента усиливающие элементы присоединялись по концам сплошными швами и в промежутках – прерывистыми (коэффициент прерывистости от 0,2 до 0,3). Порядком наплавки было принято направление снизу вверх: нижние сплошные, за ними связующие прерывистые, завершающими – сплошные верхние, концевые. Таким образом, в результате эксперимента, была рассмотрена только одна из существующих технологических схем».

Ребровым И. С.[19] был сделан «вывод о реальности проведения усиления сжатых стержней при начальной нагрузке, не превышающей наименьшую расчётную критическую для сжатого стержня без введения дополнительных коэффициентов (формулы 1.10, 1.11, табл. 1). Указанный вывод, в этом случае, является некорректным. Величина данной нагрузки в большей степени, находится в зависимости от технологических параметров усиления (сварки): величины сварных швов, порядка их наплавки (и по сечению, и по длине)». И на примере теории, и на примере эксперимента, данные вопросы автором не были исследованы.

В указанном случае, некорректность подобного вывода была отмечена и научным редактором[19], профессором, доктором технических наук

Лашенко М.И., который подчеркнул в своем редакционном примечании следующее: «с мнением автора о предельно допустимой нагрузке согласиться нельзя. При достижении в основном (усиливаемом) стержне нагрузки, отвечающей её критическому значению, потеря устойчивости может произойти в момент усиления».

Также стоит акцентировать внимание на том, что в [19,20] не подвергался экспериментальному исследованию «вопрос о работе сжатых стержней, усиливаемых в составе ферм. Не подвергался исследованию и вопрос, касающийся влияния производимого усиления на работу остальных элементов ферм (примыкающих фасонок, смежных стержней)».

Родионовым И.К. были выполнены теоретические и экспериментальные исследования «влияния сварочных технологий на напряженно-деформированное состояние нагруженных стержней стальных ферм»[22-25]. Автором получены отсутствующие в других работах критерии определения предельных уровней напряжений сжатия и растяжения в стержневых элементах ферм, при которых возможно их усиление с применением сварки.

Также в работах[22,23] были описаны методики определения тепловых ослаблений сваркой сечений сжатых и растянутых элементов стальных ферм.

Разработанные рекомендации в [22-25] автором, позволяют применять безопасные сварочные технологии усиления эксплуатируемых стальных ферм.

В [22]разработаны рациональные сварочные технологии усиления стержней ферм при максимально возможном уровне нагружения металла стальных ферм.

1.6 Выводы по главе 1

1. Наиболее часто аварии производственных зданий связаны с обрушением стальных ферм покрытия.

2. Причины обрушений - перегрузка, наличие дефектов.

3. Значительный процент сжатых стержней с дефектами в виде местных погибей сжатых стержней.

4. Основное внимание в известных работах уделено исследованию напряженного состояния усиливаемых методом увеличения сечений сжатых прямолинейных и имеющих общие деформации сжатых и растянутых стержней.

В этой связи целью данной диссертации является получение начальной информации о влиянии схем и нагрузки усиления на работу сжатых стержней из парных уголков с местным смалкованием полок, усиливаемых с применением сварки.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи экспериментального и теоретического характера:

1. Испытание эталонных стержней (без деформаций).
2. Испытание деформированных стержней без усиления.
3. Испытание деформированных стержней с усилением под нагрузкой.
4. Теоретическое обоснование полученных экспериментальным путем результатов.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЖАТЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СТЕРЖНЕЙ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ

2.1 Данные об испытуемых образцах

Цель испытания стержневых моделей: получить информацию о действительной работе сжатых стержней из парных уголков с местным смалкованием полки, усиливаемых увеличением сечения с применением сварки.

Стержни были изготовлены из двух уголков, сваренных втавр, сечением 40х4, маркой стали С245 в количестве 9 штук, из которых 3 стержня без деформаций (эталонные), 6 стержней со смалкованной полкой одного из уголков

Стержни для испытаний были поделены на три серии:

1 серия – стержни без деформаций (эталонные стержни)

2 серия – деформированные стержни без усиления

3 серия – деформированные стержни с усилением

Стержни 3-й серии также были поделены, в зависимости от элемента усиления, 2 стержня усиливались полосой 40х4, 2 других уголком 40х4.

Усиление стержней производилось при нагрузке равной 80% от критической.

Данные об испытуемых стержнях представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Стержни для испытаний

№ серий	Тип сечения стержней	Геометр.длина стержней и размер сортамента	Кол-во стержней в серии	Вид начальных деформаций	Наличие усиления
1	Тавровое	L=1000см 2L 40х4	3	Без деформаций	Нет
2			2	Местное смалкование полки уголка с f =20 мм	Нет

3			4	Местное смалкование полки уголка с $f=20$ мм	Есть
---	--	--	---	--	------

Изготовление образцов происходило, в специализированном цехе по производству металлоконструкций, из парных уголков 2L40x4, соединенные между собой прокладками из листовой стали; некоторые стержни искусственно деформировались местно: смалкование полки величиной 20 мм;

Было изготовлено девять опытных образцов. Данные образцы были поделены на три серии.

Стержни первой серии являлись эталонными и изготавливались без деформаций в количестве трех штук (рис. 7,8).

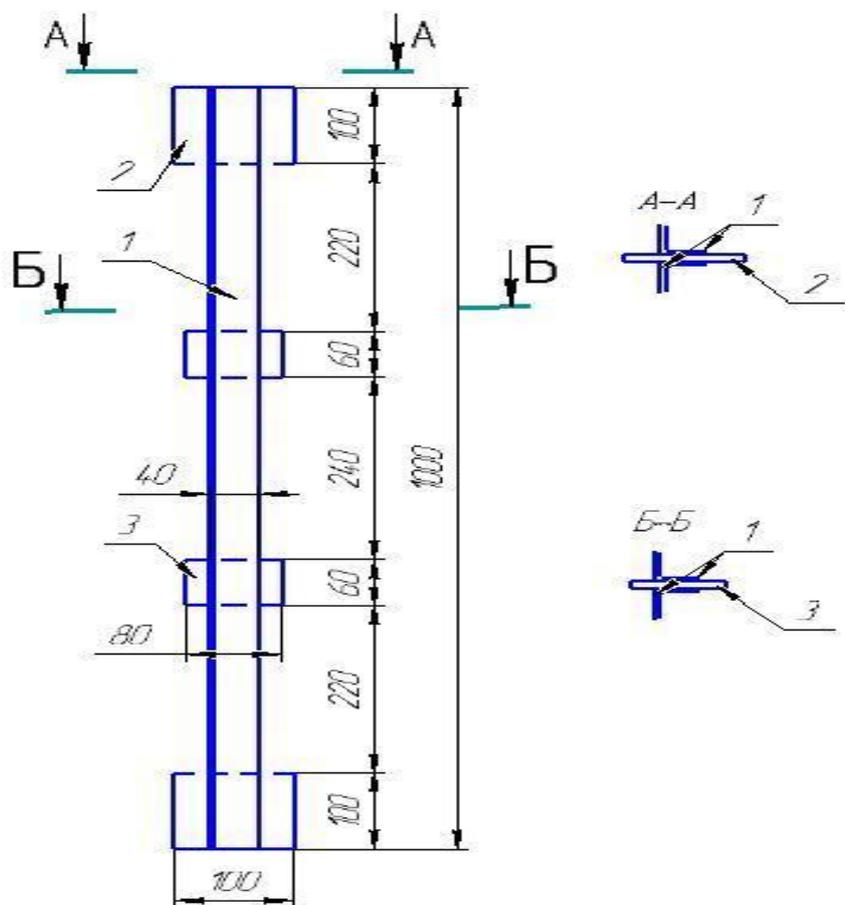


Рисунок 7 - Эталонный стержень



Рисунок 8 - Эталонный стержень до испытаний

Образцы второй и третьей серии были изготовлены с деформациями, а именно, со смалкованием одной из полок уголка (рис.9, 10).

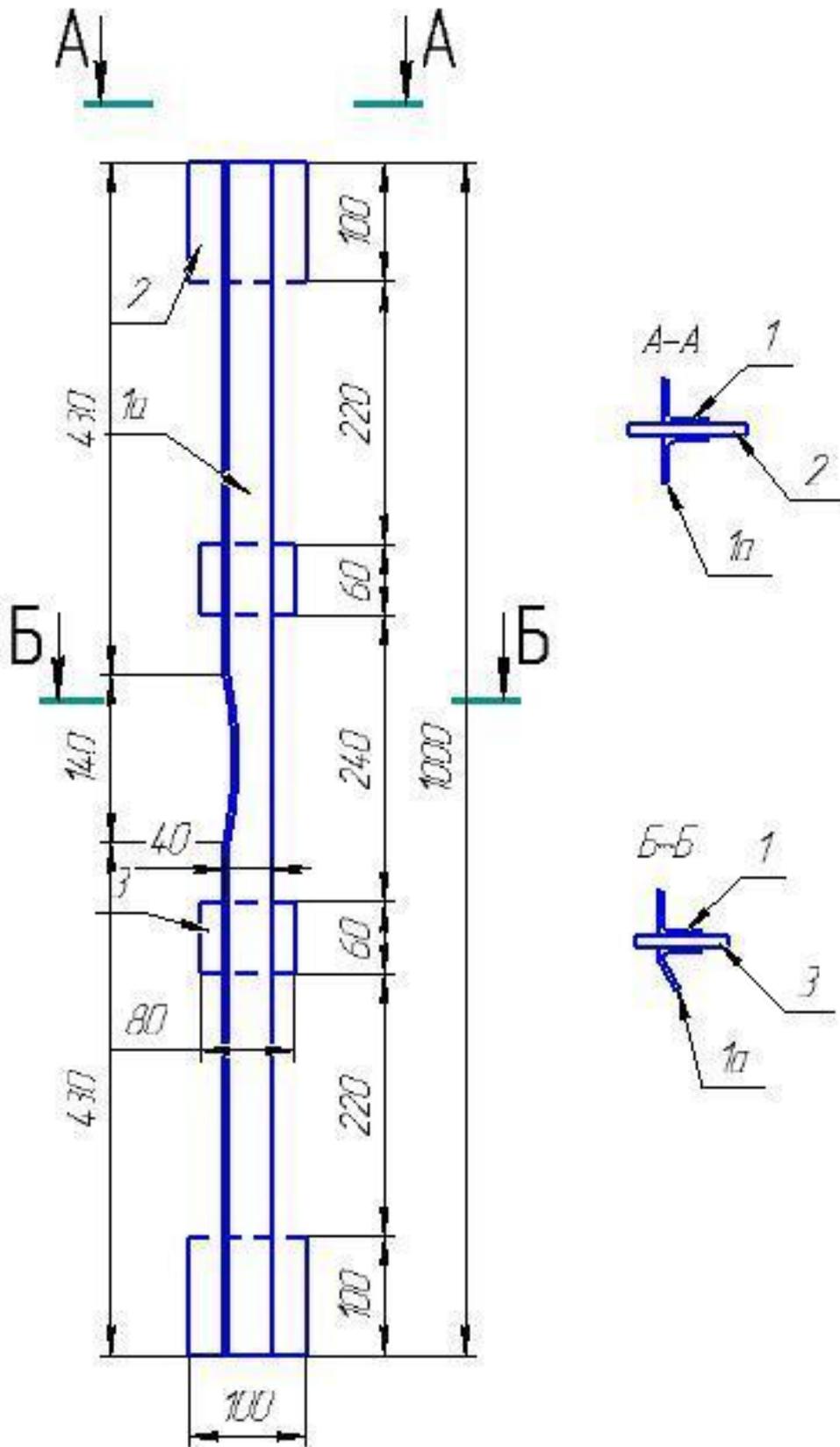


Рисунок 9 - Деформированный стержень



Рисунок 10 - Деформированный стержень до испытаний

Усиливающими элементами являлись уголки того же сортамента и полосовая сталь 40x4, марка стали была аналогична марке стали стержней.

По результатам испытаний на растяжение вид стали уголков был классифицирован как сталь класса С245 (марки СтЗсп) по ГОСТ 27772-88.

Испытание стержней производилось на специальном прессе, к верхней части которого приклеивался первый шарнир, а в нижней части был выполнен паз для установки второго шарнира.

Методики проведения испытания были различны для стержней различных серий.

Испытание стержней 1-й и 2-й серий проводилось в следующем порядке: устанавливались шарнирные базы к опорам прессы, осуществлялось центрирование с помощью отвеса, затем стержень устанавливался между этими базами, после чего производилось нагружение ступенями по 250 кг до потери устойчивости. Потеря устойчивости определялась по моменту появления изгибных деформаций. По шкале прессы определялась критическая нагрузка.

Усиление стержней 3 серии с местным смалкованием полки одного из уголков производилось приваркой в зоне прогиба пластины или уголка, шириной равной полке основного уголка. Технические решения приведены на рис. 11, 12.

Согласно схеме усиления, пластина или уголок приваривались к деформированной выгнутой полке уголка длиной несколько больше волны погиби.

Усиление выполнялось:

– с привариванием элемента усиления под нагрузкой.

Нагрузка усиления равнялась 7500 кг, что составляет 80% несущей способности деформированного сжатого стержня.

Катет и длина сварных швов составляли $h_{ш} = 4$ мм и $l_{ш} = 50$ мм. Сварка велась вручную электродами типа Э-46.

В процессе испытаний для всех стержней-моделей производилась фиксация величин критических сил по измерительной шкале прессы.

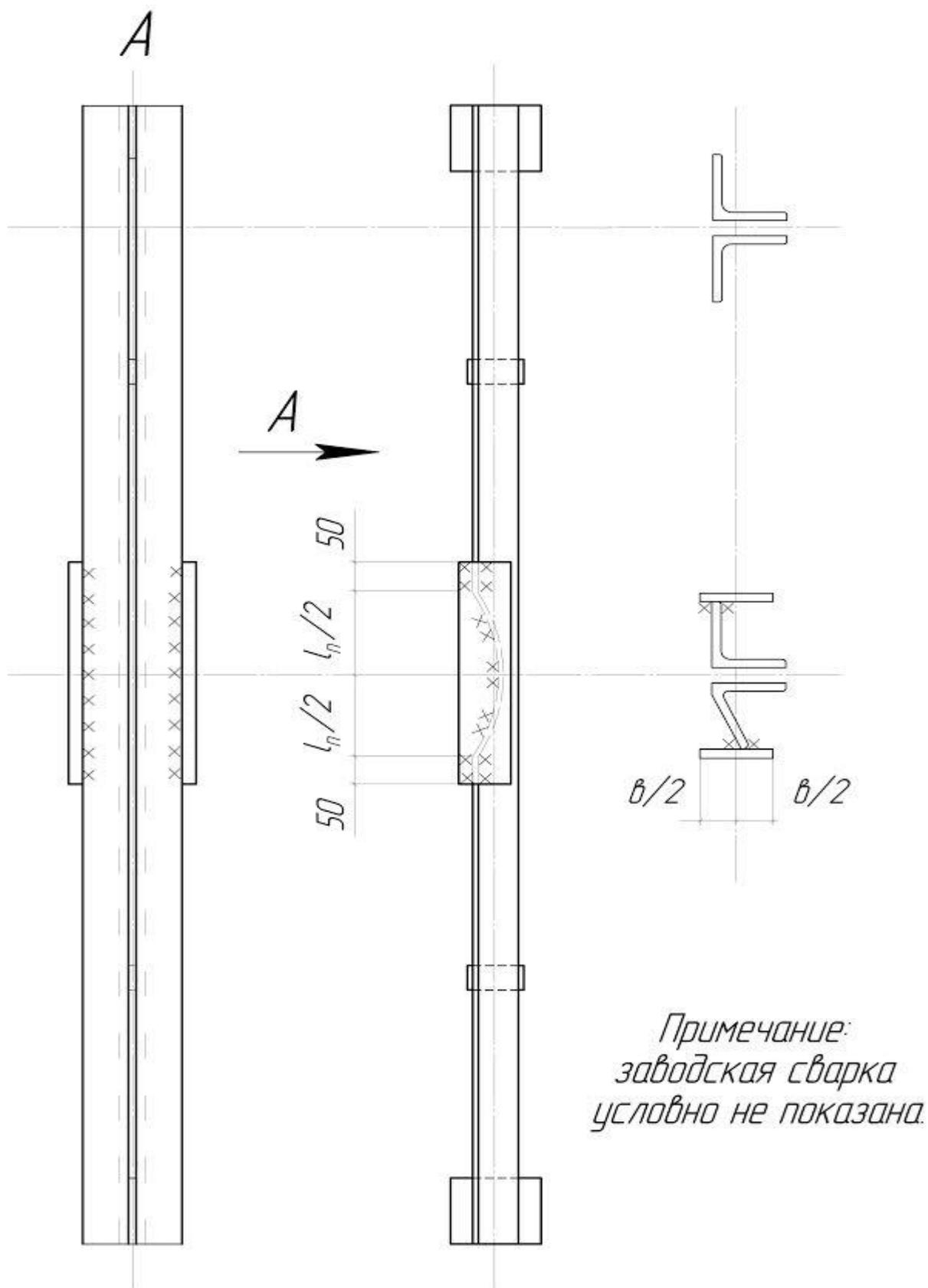


Рисунок 11 - Схема усиления полосой

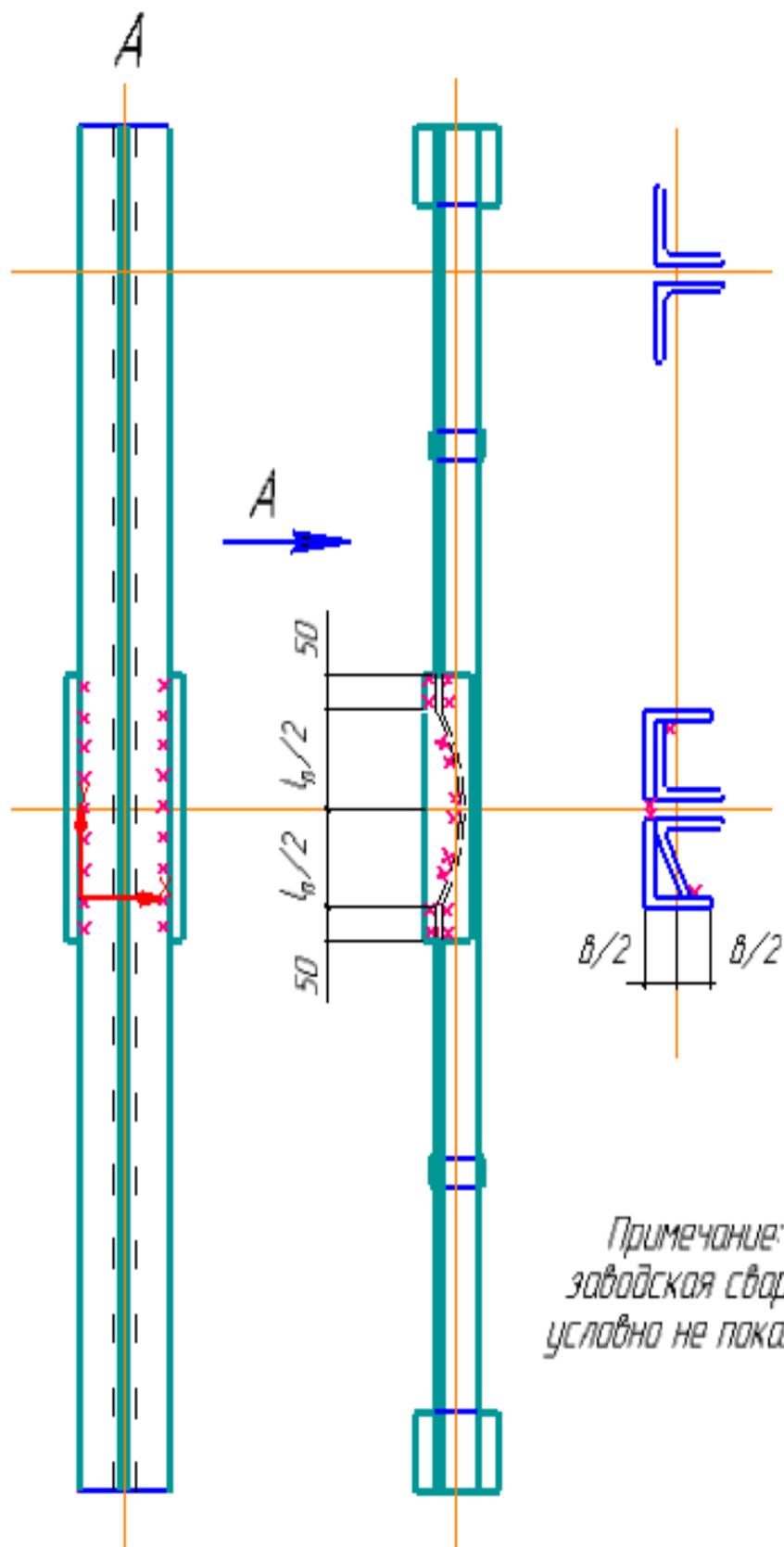


Рисунок 12 - Схема усиления уголком

2.2 Методики проведения эксперимента центральных и внецентренно – сжатых стержней

Испытание стержней 1-й серии (эталонные стержни) проводилось в следующем порядке:

1. Верхняя шарнирная опора приваривается (прихватки) к верхней плите прессы.
2. Верхняя шарнирная опора выставляется на верхней плите прессы по отвесу.
3. Пробными нагружениями (порядка 30% от **теоретической несущей способности**) производится центрирование стержня.
4. Корректировку показаний производить перемещением верхней шарнирной опоры.
5. Отцентрировав стержень, верхняя шарнирная опора приклеивается к плите прессы.
6. Далее производить нагружение стержня ступенями по 250 кг до потери устойчивости. Зафиксировать критическую силу. За момент потери устойчивости считать рост кривизны стержня.
7. Остальные два эталонных стержня ставить между опорами и нагружать до потери устойчивости согласно п. 8.
8. Определить несущую способность эталонных стержней теоретически по «формуле:

$$N = \varphi_e A \sigma_T, [28]$$

где:

σ_T – предел текучести стали;

A – действительная площадь поперечного сечения 2-х уголков;

φ_e – коэффициент продольного изгиба, определенный по табл. 74[28] в зависимости от λ_{min} и $m_{пр} = 0$.»

9. Сравнить результаты эксперимента и теории.

Расчетная схема для испытания образцов с эталонными стержнями таврового сечения представлена на рис.13.

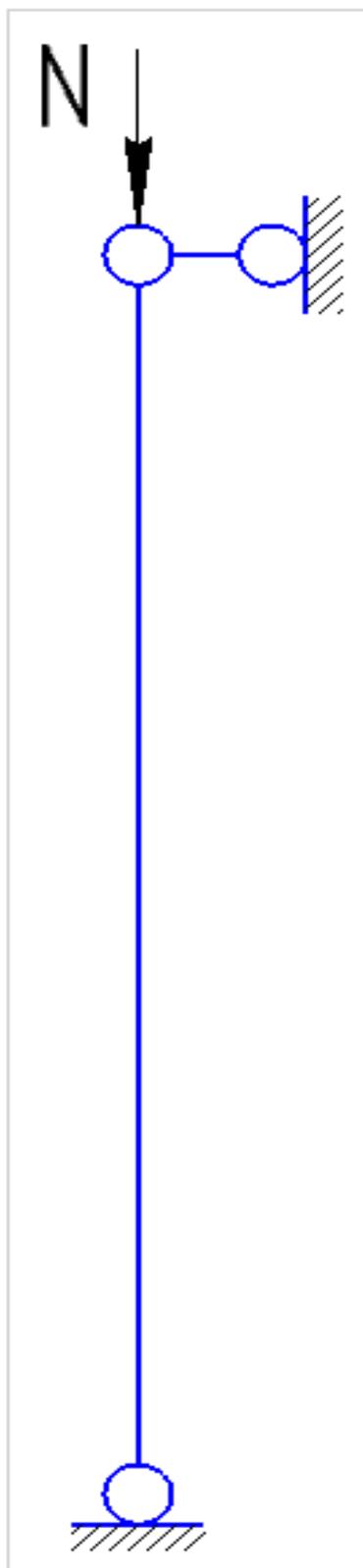


Рисунок 13 – Расчетная схема для испытания образцов

Деформированные стержни (2-я серия)

Основная цель испытаний: отработать методику теоретического определения критических сил внецентренно-сжатых стержней.

1. Выставить между опорами и нагружать согласно п. 9 предыдущего раздела до потери устойчивости.
10. Определить несущую способность деформированных стержней теоретически по «формуле

$$N = \varphi_e A \sigma_T, [28]$$

где:

σ_T – предел текучести стали;

A – действительная площадь поперечного сечения 2-х уголков;

φ_e – коэффициент продольного изгиба, определенный по табл. 74[28] в зависимости от λ_{min} и $m_{пр}$.»

11. Сравнить результаты эксперимента и теории.

Деформированные стержни (3-я серия)

Стержни со смалкованием одной из полок, усиливаемые пластинами

Основная цель испытаний: отработать методику теоретического определения критических сил усиленных стержней.

1. Выставить между опорами и нагружать согласно п. 9 предыдущего раздела до нагрузки, равной порядка 0,9 минимальной критической силы для деформированных стержней.
2. Прикрепить на прихватках пластины усиления, согласно схемы (рис. 11).
3. Произвести наплавку соединительных швов длиной $l_{погиби} + 50 \times 2$ мм и катетом 3-4 мм.
4. После остывания нагружать усиленные стержни ступенями по 250 кг до потери устойчивости. Зафиксировать критические силы.
5. Сравнить результаты эксперимента и теории..

6. Сделать вывод об эффективности принятой схемы усиления.

Деформированные стержни (3-я серия)

Стержни со смалкованием одной из полок, усиливаемые обрезам
уголков

1. Выставить между опорами и нагружать согласно п. 9 предыдущего раздела до нагрузки, равной порядка 0,9 минимальной критической силы для деформированных стержней.
2. Прикрепить на прихватках пластины усиления, согласно схемы.
3. Произвести наплавку соединительных швов длиной $l_{погиби} + 50 \times 2$ мм и катетом 3-4 мм.
4. После остывания нагружать усиленные стержни ступенями по 250 кг до потери устойчивости. Зафиксировать критические силы.
5. Сравнить результаты эксперимента и теории.
6. Сделать вывод об эффективности принятой схемы усиления.

2.3 Результаты испытаний стержней

Конечные результаты испытания стержней представлены в таблице 3.

Таблица 3- результаты испытания стержней, сравнение с теоретическими данными

№ серии	Вид начал.деформ. стержней	Кол-во стержней в серии	Наличие усилен.	Критическая нагрузка, кг	
				Эксперимент.	Теоретич.
1	Без деформаций	3	нет	11600	11300
2	Местное малкование полки с $f=20$ мм	2	нет	8850	9328
3		2	Усилен. полосой	11300	-
		2	Усилен. уголком	12050	-

2.4 Выводы по главе 2

1. Местное смалкование полки $f = 20$ мм приводит к снижению несущей способности стержня (24%).

2. Усиление пластиной с сечением, равным сечению полки уголков усиливаемого стержня, не компенсирует полностью потерю несущей способности (- 3%).

3. Усиление производилось при нагрузке $N=7500$ кг, что составляет 80% от теоретически полученных результатов $N=8200$ кг.

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1 Определение несущей способности сжатого недеформированного стержня

Расчет несущей способности не деформированного стержня производился тремя методами:

1. Расчет по СП как для центрально-сжатого стержня[29].
2. Расчет по СНиП как для центрально-сжатого стержня[28].
3. Расчет по СП как для внецентренно-сжатого, при относительном эксцентриситете равным нулю[29].

Расчетная формула для всех трех методов $N = \varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c$ [28,29]

Расчетная схема представлена на рисунке 13, раздела 2.

Геометрические характеристики сечения из двух уголков 2L40x4, сваренных в тавр:

- площадь сечения $A = 2 \cdot 3,08 = 6,16 \text{ см}^2$ [30];
- радиус инерции $i_x = 1,22 \text{ см}$ [30];
- геометрическая длина стержня $l_0 = 100 \text{ см}$;
- предел текучести принят равным: $\sigma_m = 24 \text{ кН} / \text{см}^2$ Сталь класса

C245[31].

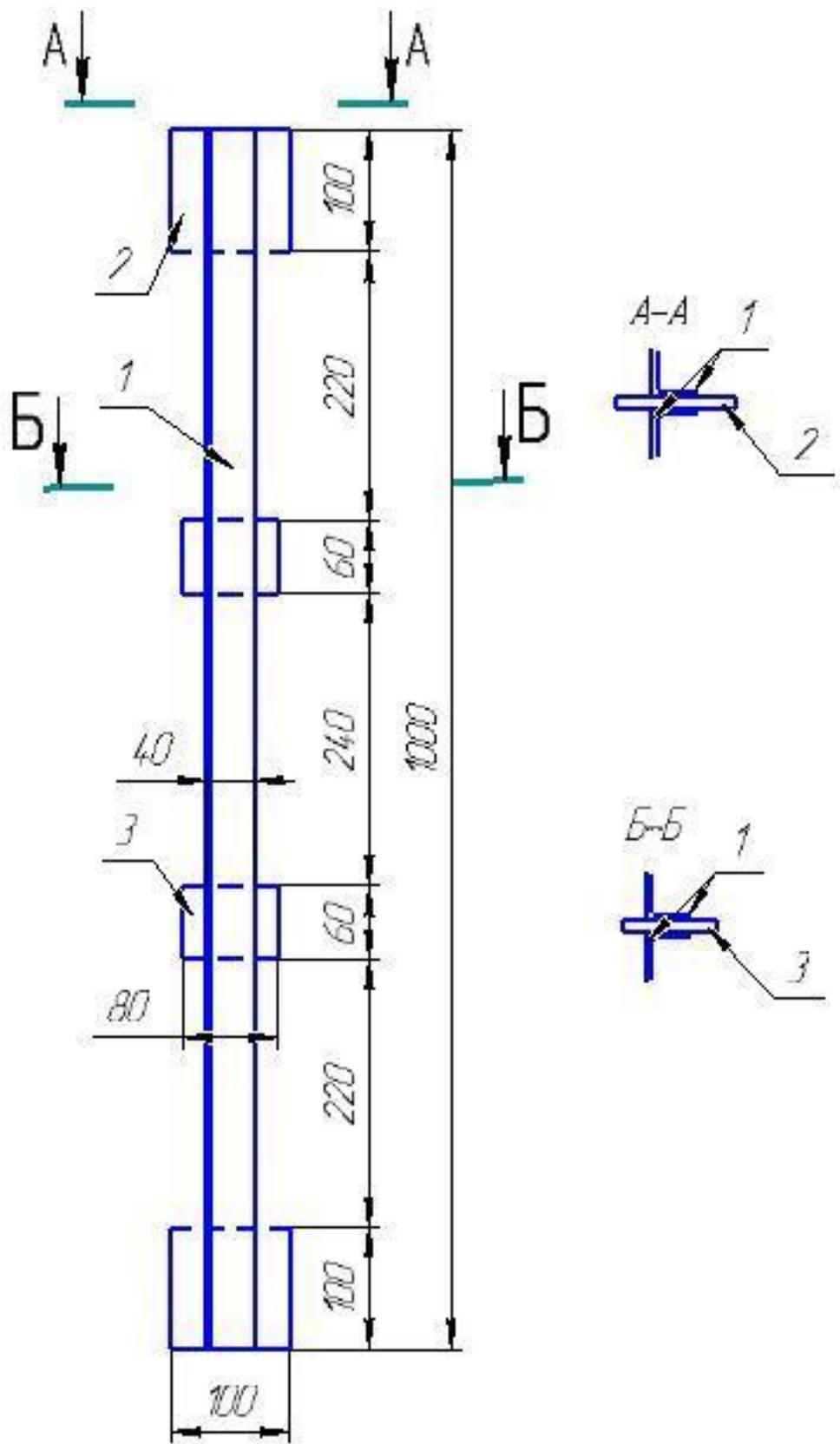


Рисунок 14 – Вид эталонного стержня.

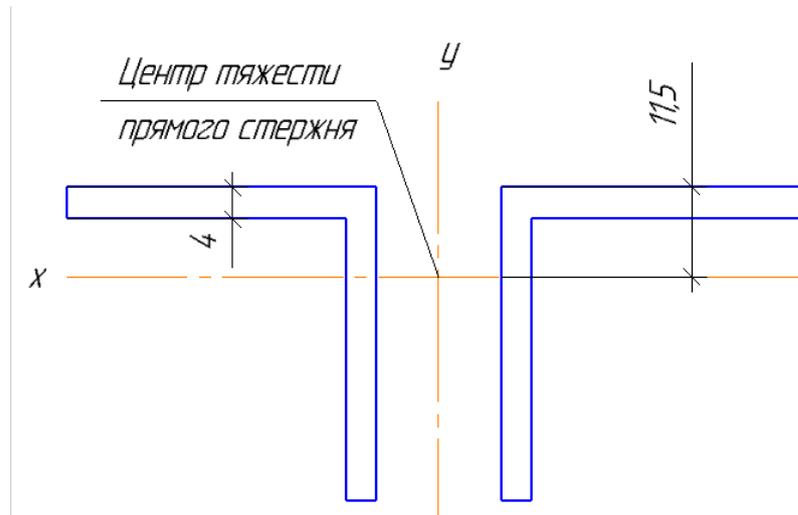


Рисунок 15 – Сечение эталонного стержня.

Результаты расчета несущей способности:

-гибкость в плоскости перпендикулярной оси «х»:

$$\lambda_{max} = \frac{l_0}{i_x} = \frac{l_x}{i_x} = \frac{100}{1,22} = 81,97; [28,29]$$

-приведенная гибкость определяется как:

$$\bar{\lambda}_\delta = \lambda_{max} \sqrt{\frac{\sigma_\delta}{A}} = 81,97 \sqrt{\frac{24}{2,1 \cdot 10^4}} = 2,77 [28,29]$$

-коэффициент продольного изгиба для данного вида сечения определяется по[28,29]:

- 1) По СП, как для центрально – сжатого стержня $\varphi = 0,603 [29]$
- 2) По СНиП, как для центрально – сжатого стержня $\varphi = 0,686 [28]$
- 3) По СП, как для внецентренно – сжатого стержня, при $m_{ef}=0$, $\varphi = 0,763 [29]$

Несущая способность стержня определяется как:

По первому случаю $[N] = \varphi \cdot A \cdot \sigma_m = 0,603 \cdot 6,16 \cdot 24 = 8915 \text{кз}$, [29]

По второму случаю $[N] = \varphi \cdot A \cdot \sigma_m = 0,686 \cdot 6,16 \cdot 24 = 10142 \text{кз}$, [28]

По третьему случаю $[N] = \varphi \cdot A \cdot \sigma_m = 0,767 \cdot 6,16 \cdot 24 = 11300 \text{ кг}$, [29]

Сравнивая полученные результаты принимаем $N_{\text{теор}} = 11300 \text{ кг}$, что является наиболее близким к экспериментальному значению $N_{\text{эксп}} = 11600 \text{ кг}$.

Разница между теоретическими исследованиями и экспериментальными данными составляет 2,5%, что приемлемо для постановочного эксперимента.

3.2. Расчет несущей способности стержня со смалкованной полкой

Рассчитываемый стержень представляет собой стержень со смалкованной полкой $f = 20$ мм одного из уголков (рис. 16).

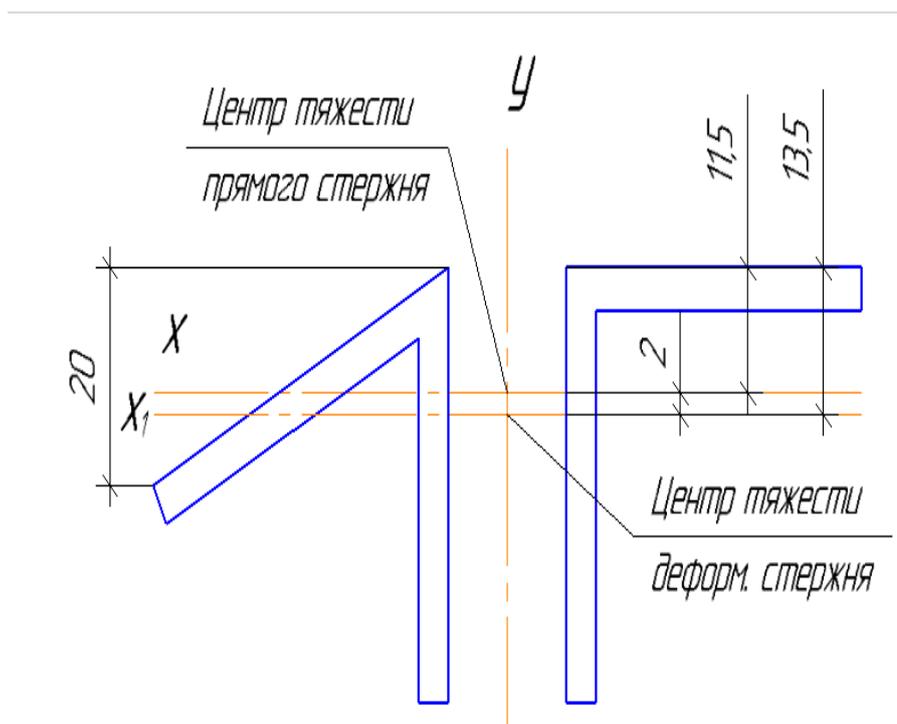


Рисунок 16 – Деформированный стержень.

$$y'_{ц.т.} = e_y = \frac{\sum S_x}{\sum A} = \frac{3.6 \cdot 0.4 \cdot 1.05 + 3.3 \cdot 0.4 \cdot 0.2 + 2 \cdot 4 \cdot 0.4 \cdot 0.2}{0.4 \cdot (3.6 + 4) \cdot 2} = 1.35 \text{ см}, [28]-$$

расстояние от центра тяжести до наиболее сжатого волокна деформированного стержня

$$y''_{ц.т.} = e_y = \frac{\sum S_x}{\sum A} = \frac{2 \cdot (3.6 \cdot 0.4 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.4 \cdot 0.2)}{0.4 \cdot (3.6 + 4) \cdot 2} = 1.15 \text{ см} [28]-$$

расстояние от центра тяжести до наиболее сжатого волокна не деформированного стержня

Определяем эксцентриситет:

$$e = y'_{ц.т.} - y''_{ц.т.} = 1.35 - 1.15 = 0.2 \text{ см}$$

Расчет производился по п. 5.27 СНиП[28] по формуле $N = \varphi_e$

$\cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c$, где:

« φ_e – коэффициент продольного изгиба (табл. 74 СНиП), при внецентренном сжатии, определяется в зависимости от условной гибкости и приведенного относительного эксцентриситета $m_{ef}=\eta m$, где m – относительный эксцентриситет; η – коэфф. влияния формы сечения (табл. 73 СНиП)[28].

Относительный эксцентриситет определяется по формуле:
 $m=e \cdot A/W_c$, где e – эксцентриситет, W_c – момент сопротивления для наиболее сжатого волокна[28].

$$W_c=I_x/y'_{ц.г.}=2 \cdot 4.58/1.35=6.78 \text{ см}^3$$

$$m=0.2 \cdot 6.16/6.78=0.182$$

Коэффициент влияния формы сечения для типа сечения 10, при $A_f/A_w=1$, определяется по формуле $\eta=1,8+0,12m$ [28].

$$\eta=1.8+0.12 \cdot 0.182=1.82$$

$$m_{ef}=1.82 \cdot 0.135=0.25$$

Определяем φ_e , в зависимости от $\bar{\lambda}_o = 2,77$ и $m_{ef}=0.25$ по таблице 74[28].

$$\varphi_e=0,631, \text{ отсюда:}$$

$$N=0,631 \cdot 6,16 \cdot 24 \cdot 1=9328 \text{ кг}$$

Сравниваем полученные результаты $N_{теор}=9328 \text{ кг}$, и $N_{эксп}=8850 \text{ кг}$. Разница между теоретическими исследованиями и экспериментальными данными составляет 5%, что приемлемо для постановочного эксперимента.

3.3 Расчет предельно допустимой нагрузки деформированного стержня с учетом ослабления сечения при сварке

При усилении деформированных стержней в момент сварки сечение элемента в изотермах 600C° временно выключается из работы, поэтому был произведен расчет на определение площади теплового ослабления.

Принимаем минимальный катет шва $k_f = 4\text{мм}$. Определяем требуемые характеристики режима сварки:

-погонное тепловложение определяется как:

$$q_n = \frac{0,24 \cdot \eta \cdot U \cdot I}{V},$$

Данные для расчета:

- ток $I=300\text{А}$;

-напряжение $U=20\text{В}$;

-скорость сварки $0,2\text{см/сек}$;

-толщина усиливаемого и усиленного элементов равны 4мм ;

Для исключения прожога металла сваркой воспользуемся формулой определения максимального катета шва:

$$k_f = \sqrt{\frac{q_n}{16000}};$$

Значение k_f не должно превышать следующего выражения:

$k_{f, \text{msx}} = 1,2t_{\text{min}}$, где t_{min} -наименьшая толщина свариваемых элементов.

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot 300}{0,2} = 7560 \text{ кал/см}$$

Тепловложение определяется по следующей формуле:

$$q_n^{\circ} = q_n \cdot 2\delta_o / (2\delta_o + \delta_y), \text{ где}$$

δ_o и δ_y —толщины соответственно основного элемента и элемента

усиления

$$q_n^{\circ} = 7560 \cdot 2 \cdot 0,4 / (2 \cdot 0,4 + 0,4) = 2520 \text{ кал.}$$

Ширина пятна ослабления основного элемента определяется как (рис. 17):

$$x_{св}^0 = \frac{q_n^0}{3200 \cdot \delta_0} = \frac{2520}{3200 \cdot 0,4} = 1,97 \text{ см} \approx 2,0 \text{ см} ,$$

Площадь ослабления сечения в момент сварки равно:

$$A_{св. \text{ осл.}} = 2 \cdot x_{\text{max}}^0 \cdot \delta_0 = 1 \text{ см}^2$$

Полная площадь усиленного сечения равна $A = 6,32 \text{ см}^2$

Рабочая площадь сечения определяется по следующей формуле:

$$A_{н} = A - A_{св} = 6,32 - 1 = 5,32 \text{ см}^2 ,$$

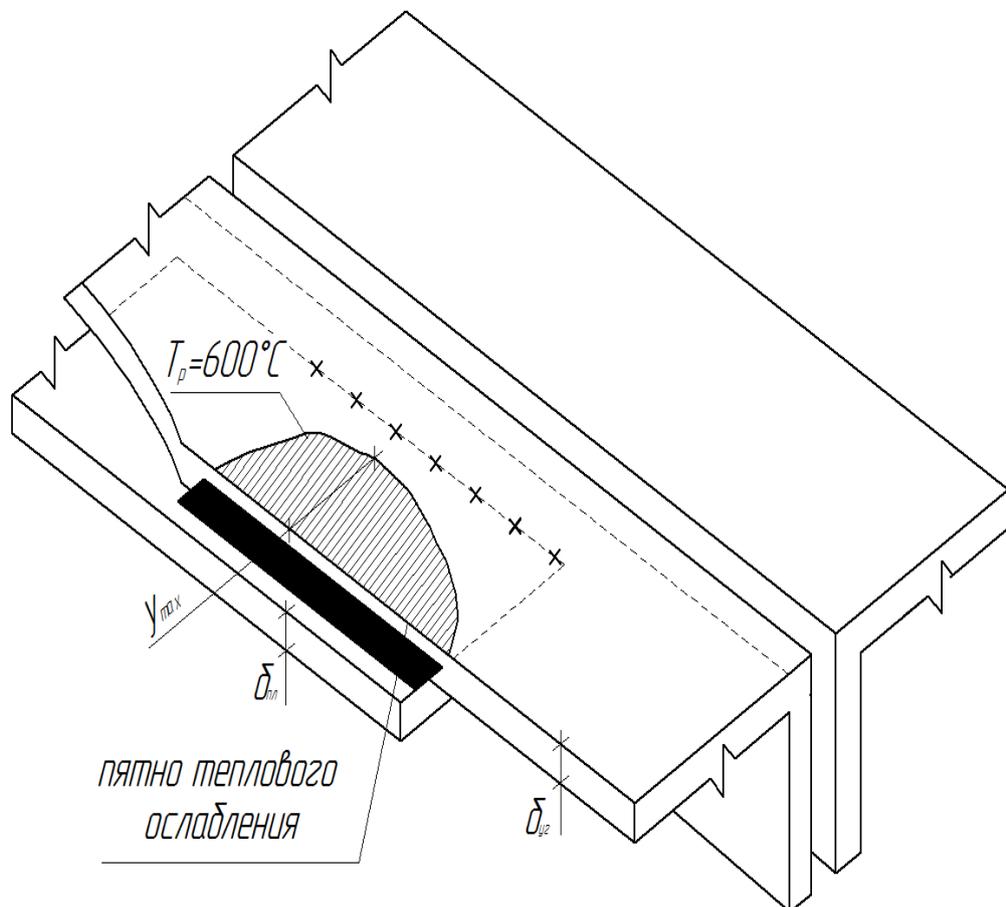


Рисунок 17 - Тепловое ослабление усиливаемого стержня

Несущая способность деформированного стержня в момент усиления:

$N_{\text{осл.}} = \varphi_e \cdot (A - A_{\text{tot}}) \cdot R_y \cdot \gamma_c$, сравниваем с несущей способностью стержня без учета теплового ослабления $N = \varphi_e \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c$.

Соотношение $K=(N-N_{\text{осл}})/N$ будет являться коэффициентом ослабления сечения при сварке.

Сокращая выражение получаем:

$K=(A-A_{\text{св}})/A$, подставляем полученные значения в формулу и получаем:

$K=(6,16-5,32)/6,76=0,124$, умножаем на 100%

$K_{\%}=K \cdot 100\%=12,4\%$ - величина ослабления несущей способности стержня во время сварки.

3.4 Выводы по главе 3

Полученные в результате расчета значения несущей способности оказались близкими к значениям экспериментальных данных:

-несущая способность не деформированного стержня по теоретическим данным составляет 11300 кг, по результатам эксперимента – 11600кг.

-несущая способность деформированного стержня по теоретическим данным составляет 9328кг, по результатам эксперимента – 8850кг.

Был рассчитан коэффициент теплового ослабления сечения, при применении сварки, значение коэффициента $K=0,124$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Местное смалкование полки значительно снижает несущую способность стержня из парных уголков (снижение около 24%).
2. Повышение утраченной несущей способности деформированных сжатых стержней из парных уголков, при усилении, следует производить путем компенсации вышедшего из работы сечения, с помощью приваривания к ним дополнительных элементов.
3. Данная методика усиления обеспечивает надежность стропильных ферм покрытия из парных уголков.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ СТАТЬИ

1. Н.К. Степанов О методике проведения экспериментального исследования работы стержней стропильных ферм, с местными погибами уголков, усиливаемых с применением сварки. Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и разработки в эпоху глобализации». 25 ноября 2016г., г. Пермь, РФ.

2. Родионов И. К., Степанов Н. К., Родионов И.И. К вопросу исследования работы сжатых стержней стропильных ферм, с местными погибами уголков, усиливаемых под нагрузкой с применением сварки. Международная научно-практическая конференция «Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения» (Шифр:KON-144). Международный центр инновационных исследований «OMEGASCIENCE». 13 декабря 2016 г., г. Омск, РФ.

3. Ефименко Э.Р., Степанов Н.К., Родионов И.К. ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ РАБОТЫ СТЕРЖНЕЙ С МЕСТНЫМИ ПОГИБАМИ УГОЛКОВ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ «Новые задачи технических наук и пути их решения». 13 мая 2017г., г. Самара, РФ.

4. Н.К. Степанов «ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ УГОЛКОВ С МЕСТНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ УГОЛКОВ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ. «Дни студенческой науки», ТГУ г. Тольятти, РФ.

Список использованной литературы

1. Бамбуров А. В. Магистерская диссертация на тему «Исследование напряженного состояния усиливаемых с применением сварки деформированных сжатых стержней», 2016г., ТГУ, г. Тольятти, РФ.
2. Беляев Б. И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Б. И. Беляев, В. С. Корниенко. - Москва : Стройиздат, 1968. - 206 с. : ил. - Библиогр.: с. 202-203.
3. Гроздов В.Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия
4. Металлические конструкции : учеб. для вузов. В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий / В. В. Горев [и др.] ; под ред. В. В. Горева. - Москва : Высш. шк., 1999. - 527, [1] с.
5. Москалев Н. С. Металлические конструкции : учеб. для студ., обуч. по спец. 290300 "Промышленное и гражданское строительство" направления 653500 "Строительство" / Н. С. Москалев, Я. А. Пронозин. - Гриф УМО. - Москва : АСВ, 2010. - 341 с. : ил. - Библиогр.: с. 336. - Прил.: с. 269-335. - ISBN 978-5-93093-500-9 : 328-40.
6. Дмитриев Ф.Д., Крушение инженерных сооружений. – М.: Стройиздат, 1953.
7. Мизюмский И.А., Аварии и крушения стальных конструкций и исследование причин разрушения сварных стыков уголков. Кандидатская диссертация, ЛИСИ, 1959.
8. Лашенко М. Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений / М. Н. Лашенко. - Ленинград : Стройиздат, 1969. - 183 с. : ил. - Библиогр.: с. 179-182
9. Сахновский М.М., Титов А.М. Уроки аварий стальных конструкций. Киев: Буд1вельник, 1969, 200 с.
10. Шкинев А. Н. Аварии в строительстве / А. Н. Шкинев. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - Москва : Стройиздат, 1984. - 318, [1] с. : ил.

11. Аугустин Я., Шледзевский Е., Аварии стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1978
12. В.А. Полимонов, А.В. Калугин, В.В. Коркодинов, Л.П. Абашева, Б.И. Десятов Анализ причин аварий покрытия бассейна «Дельфин» в г. Чусовой
13. Бельский М. Р. Усиление стальных конструкций / М. Р. Бельский, А. Н. Лебедев. - Киев : Будівельник, 1981. - 115, [3] с. : ил. - (Библиотека строителя. Инженеру-проектировщику). - Библиогр.: с. 117. - Прил.: с. 112-116
14. Валь В. Н. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции / В. Н. Валь, Е. В. Горохов, Б. Ю. Уваров. - Москва : Стройиздат, 1987. - 217, [2] с. - (Наука - строительному производству). - Библиогр.: с. 216-218.
15. Десятов Б.И. Исследование работы усиливаемых под нагрузкой элементов сварных стальных ферм. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1968.
16. Иванов Ю. В. Реконструкция зданий и сооружений : усиление, восстановление, ремонт : учеб. пособие для студ. обуч. по направлению 653500 "Строительство" / Ю. В. Иванов. - Изд. 2-е, перераб. и доп. ; Гриф УМО. - Москва : АСВ, 2009. - 312 с. : ил. - Библиогр.: с. 152-154. - Прил.: с. 155-310. - ISBN 978-5-93093-647-6 : 420-30.
17. Ясинский Ф. С. Избранные работы по устойчивости сжатых стержней / Ф. С. Ясинский. - Москва ; Ленинград : Гостехиздат, 1952. - 427 с. : ил. - (Библиотека русской науки). - Библиогр.: с. 421-424.
18. Стрелецкий Н.С. Работа сжатых стоек, Госстройиздат, 1959.

- 19.Ребров И. С. Работа сжатых элементов стальных конструкций, усиленных под нагрузкой / И. С. Ребров. - Ленинград : Стройиздат, 1976. - 176 с. : ил. - Библиогр.: с. 174-175. - 10-00.
- 20.Ребров И. С. Усиление стержневых металлических конструкций : проектирование и расчет / И. С. Ребров. - Ленинград : Стройиздат, 1988. - 288 с. : ил. - Библиогр.: с. 281-284. - Предм. указ.: с. 285-286
- 21.Колесников, В.М. Исследование работы некоторых стальных конструкций и отдельных элементов, усиленных под нагрузкой Текст. / В. М. Колесников. Автореферат дис. . канд. техн. наук. - Л., 1967. - 24 с.
- 22.Родионов И.К. К вопросу об оптимальной технологии усиления сжатых стержней уголковых ферм покрытия. В межвуз. сб. науч. трудов «Наука, техника и образование Тольятти и Волжского региона», вып. 4, ч.2. Политехнический институт, 2001. С.464–465.
- 23.Родионов И.К. О некоторых вопросах усиления методом увеличения сечения сжатых стержней стальных уголковых ферм. В межвуз. сб. науч. трудов «Наука, техника и образование Тольятти и Волжского региона», ч.2. Политехнический институт, 2000. С.165–169.
- 24.Родионов И.К. Сварочные деформации, метод «фиктивных температур» и усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия. Труды междунар. научно-технич. конфер. (Резниковские чтения). Теплофиз. и технолог.аспекты повыш. эффектив. машиностр. производ. ТГУ, Тольятти, 2015, с. 118-123.
- 25.Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм производственных зданий. «Сварочное производство» №4, 2009, с. 25-29.
- 26.Иммерман, А.Г. Расчет усиленных под нагрузкой сжатых элементов сварных стальных ферм Текст. / А.Г. Иммерман, Б.И. Десятов //

- Металлические конструкции. Сб. тр. МИСИ. М.,1970.-№85.-С. 147-151.
- 27.Руководство по усилению элементов металлоконструкций с применением сварки. ЦНИИпроектстальконструкция. М.: 1979, 15 с.
- 28.СНиП II-23-81 . Стальные конструкции / Госстрой СССР Текст. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1980.
- 29.СП 16.13330.2011 Стальные конструкции / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – институт ОАО НИЦ «Строительство», ЦНИИПСК им. Мельникова и др., 2011.
- 30.ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные / Украинский научно – исследовательский институт металлов, 1993.
- 31.ГОСТ 27772-88 Прокат для строительных стальных конструкций / Минчермет СССР, Госстрой СССР, Минмонтажспецстрой СССР, АН СССР, 1988.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Рисунок А1 – эталонный стержень до испытаний



Рисунок А2 – эталонный стержень после испытаний

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Рисунок Б1 – деформированный стержень до испытаний (без усиления)



Рисунок Б1 – деформированный стержень после испытаний (без усиления)

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Рисунок В1 – деформированный стержень до присоединения усиливающего элемента



Рисунок В2 – деформированный стержень после присоединения усиливающего элемента



Рисунок В3 – деформированный стержень после потери устойчивости

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Рисунок Г1 – деформированный стержень, усиленный уголком



Рисунок Г2 – деформированный стержень, усиленный уголком, после потери устойчивости

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д1 - изготовленные стержни

№ серии	Тип сечения стержней	Геометр.длина стержней и размер сортамента	Кол-во стержней в серии	Вид начальных деформаций	Наличие усиления
1	Тавровое	L=1000см 2L 40x4	3	Без деформаций	Нет
2			2	Местное смалкование полки уголка с f=20 мм	Нет
3			4	Местное смалкование полки уголка с f=20 мм	Есть

Таблица Д2 - испытанные стержни

№ серии	Вид начал.деформ. стержней	Кол-во стержней в серии	Наличие усилен.	Критическая нагрузка, кг	
				Эксперимент.	Теоретич.
1	Без деформаций	3	нет	11600	11300
2	Местное смалкование полки с f=20 мм	2	нет	8850	9328
3		2	Усилен. полосой	11300	-
		2	Усилен. уголком	12050	-

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

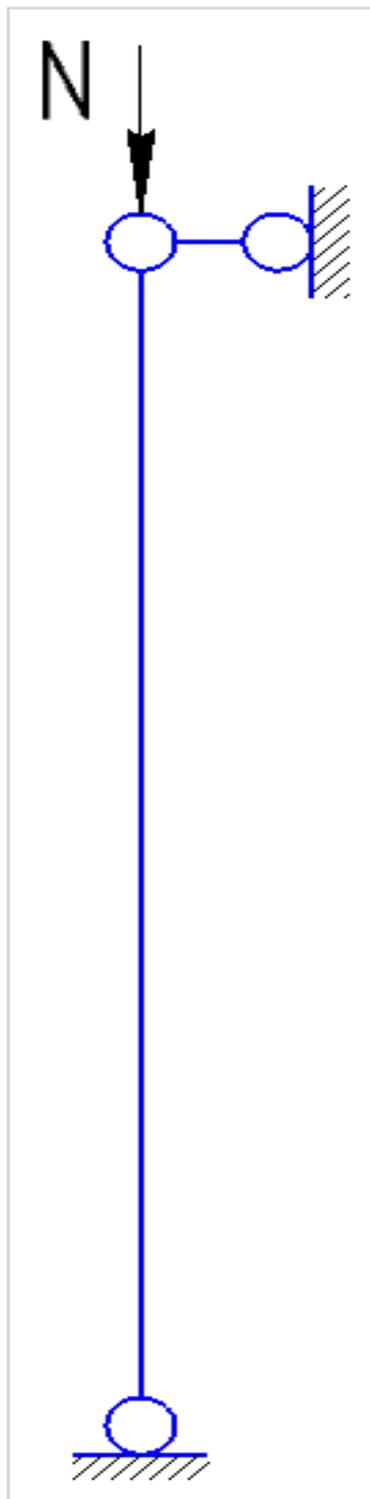


Рисунок Е1 – расчетная схема.